

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет

В і с н и к
Криворізького національного
університету

Збірник наукових праць

Випуск 57

Кривий Ріг 2023

Редакційна колегія: **Ступнік М.І.**, д-р техн. наук, проф. (головний редактор); **Бровко Д.В.**, д-р техн. наук, проф. (заступник головного редактора); **Азарян А.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Березовський А.А.**, д-р геол. наук, проф.; **Варава Л.М.**, д-р екон. наук, проф.; **Вілкул Ю.Г.**, д-р техн. наук, проф.; **Губін Г.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Жуков С.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Зінченко О.А.**, д-р екон. наук, проф.; **Зубов Д.А.**, д-р техн. наук, проф., Охрид, Македонія; **Ільяс Ніколає**, д-р техн. наук, проф., Петрошани, Румунія; **Калініченко В.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Ковальчук В.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Коробко В.М.**, д-р техн. наук, проф., Массачусетс, США; **Котов І.А.**, д-р техн. наук, доц.; **Кіяновський М.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Купін А.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Лапшин О.Є.**, д-р техн. наук, проф.; **Монастирський Ю.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Моркун В.С.**, д-р техн. наук, проф.; **Олійник Т.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Паламар А.Ю.**, канд. техн. наук, доц.; **Перебудов В.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Пікільняк А.В.**, канд. техн. наук, доц.; **Савельєв С. Г.**, д-р техн. наук, проф.; **Сінчук О.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Сидоренко В.Д.**, д-р техн. наук, проф.; **Ткаченко А.М.**, д-р екон. наук, проф.; **Толмачов С.Т.**, д-р техн. наук, проф.; **Турило А.М.**, д-р екон. наук, проф.; **Учитель О.Д.**, д-р техн. наук, проф.; **Шахно А.Ю.**, д-р екон. наук, доц.; **Шишкін О.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Федоренко П.Й.**, д-р техн. наук, проф.; **Щокін В.П.**, 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 № 57 рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет Вченою радою Криворізького національного університету (протокол № 4 від 28.11.2023 року).

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

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Криворізький національний університет
Вісник Криворізького національного університету
Збірник наукових праць

Засновано у 2003 р.

Випуск 57, 2023

Кривий Ріг
Зміст

<i>Ступнік М.І., Калініченко В.О., Шепель О.Л.</i> Багатоваріантне фізичне моделювання впливу випуску руди на напружено-деформований стан гірського масиву	3
<i>Сінчук О.М., Берідзе Т.М., Касаткіна І.В., Пересунько І.І.</i> Етіологія ефектів моніторингу в парадигмі оцінювання стратегії розвитку залізрудного підприємства	8
<i>Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Савенко В.О., Аришака Д.А.</i> Рівень розрахункового сейсмічного впливу при оцінюванні сейсмостійкості будівель і споруд	11
<i>Льченко О.В., Сербіна А.О.</i> Аналіз досвіду використання віртуального навчального середовища ВНЗ	17
<i>Куліковська О. Є., Ковалишин О.Ф., Ступень Р.М., Рій І. Ф.</i> Результати використання інформації екомоніторингу Кривбасу для картографування стану довкілля міського середовища	22
<i>Мищенко В.Ю.</i> Дослідження можливості підвищення енергоефективності руднотермічної печі шляхом вибору доцільного діаметру розпаду електродів	31
<i>Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Савенко В.О., Белков О.А., Гаркуша А.І., Кокович А.В.</i> Напружено-деформований стан плитно-пального фундаменту	37
<i>Сінчук І.О., Котякова М.Г.</i> Підхід до покращення якісних показників електроенергії залізрудних підприємств	43
<i>Шрам О.А., Качан Ю.Г.</i> Визначення доцільних засобів накопичення електроенергії в мережах промислових підприємств	52
<i>Самойлов А.І., Редька А.М.</i> Оптимізація режимів гравітаційного збагачення вугілля	59
<i>Вдовиченко І.Н.</i> Алгоритм аналізу результатів анкетування студентів з метою забезпечення якості вищої освіти	64
<i>Олійник Т.А., Вільгельм М.М.</i> Особливості коагуляції частинок та адсорбція реагентів на поверхні пінного продукту флотації	70
<i>Пижик А.М., Пижик М.М., Пащенко О., Пижик С.А.</i> Технологія складування безрудних гірських порід у виробленому просторі виведеного з експлуатації кар'єру	77
<i>Олійник Т.А., Невзоров В. В.</i> Тонке грохочення як спосіб вирішення технологічних питань при виробництві високоякісних залізрудних концентратів	80
<i>Пищикова О.В., Настич А.І.</i> Розробка рекомендації щодо створення опитувальника для визначення стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці	88
<i>Мамонов К. А., Доброходова О. В., Канівець О. М.</i> Особливості використання земель: моніторингові аспекти ...	94
<i>Турило А.М., Турило А.А., Короленко Р.В.</i> Інноватика: сутність і характерні особливості	99
<i>Дрешняк Н.С.</i> Підвищення точності унормування питомих витрат енергії вугільною шахтою	103
<i>Жуков С.О., Єременко Г.І., Костянський О.М., Костянська Г.О.</i> Забезпечення ефективного зниження забруднення атмосферного повітря викидами пилу з автодоріг в околицях залізрудних кар'єрів Кривбасу	110
<i>Малих Д.Ю., Єременко Г.І., Тітов Д.А.</i> Особливості імпульсного вибухового навантаження породного масиву, що руйнується групами розосереджених зарядів	116
<i>Берідзе Т.М., Касаткіна І.В., Бойко С.М.</i> Дослідження критеріїв оцінювання якісних показників електропостачання промислових підприємств	121
АНОТАЦІЇ	
<i>А н о т а ц і ї</i>	128

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

БАГАТОВАРІАНТНЕ ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ВИПУСКУ РУДИ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ГІРСЬКОГО МАСИВУ

Мета. Метою даної роботи є лабораторні дослідження процесу випуску руди і його впливу на показники вилучення руди, стійкість конструктивних елементів блоку та продуктивність праці по блоку.

Методи. Використані наступні методи: аналіз актуальних досліджень взаємодії процесу випуску руди з блоків та процесу формування напружено-деформованого стану масиву; фізичне моделювання протікання та послідовності випуску руди на моделях, що імітують частину підповерху блоку; методи аналізу та оброблення результатів дослідів.

Наукова новизна. В результаті лабораторних досліджень випуску руди встановлені нові закономірності випуску, врахування яких дозволяє обґрунтувати вплив вторинного розпушення на величину гірського тиску в нижній частині приймального горизонту. Встановлені параметри впливу концентрації гірничих робіт на тривалість технологічної підготовки і відпрацювання блоків, і, як наслідок, можливість часткового управління гірничим тиском. Встановлений взаємозв'язок між кутами падіння рудних покладів і кількісними та якісними показниками вилучення руди.

Практична значимість. На основі проведених лабораторних досліджень випуску руди з моделей блоків, що імітують різні кути падіння розроблений ефективний зонний рівномірно-послідовний режим випуску руди.

Результати. Встановлені закономірності впливу режимів випуску на показники вилучення руди з блоків. В роботі наведено основні результати фізичного моделювання режиму випуску обваленої руди рівномірними дозами з кількох випускних отворів, що знаходяться на одному ряду, комбінованого та рівномірно-послідовного режимів, що забезпечують кращі показники вилучення руди порівняно з іншими режимами випуску.

Ключові слова: руда, технологія, випуск, тиск, режим, експеримент, дослідження.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-3-8

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. На практиці застосовується багато систем підземної розробки корисних копалин [1]. Вибір тієї чи іншої технології підземної розробки залежить від багатьох факторів та процесів. Основним з них є процес випуску відбитої руди з блоку [2], який характеризується передусім певними показниками вилучення руди [3]. При застосуванні в підземних умовах систем розробки поверхового й підповерхового обвалення руди та вміщуючих порід саме раціональний режим випуску руди забезпечує відносну рівномірність напружено-деформованого стану масиву, значні обсяги випущеної чистої руди, а також кращі якісні і кількісні показники вилучення руди. Отже, розроблення ефективних технологій відпрацювання рудних покладів, а також режимів випуску руди є актуальними науково-технічними завданнями.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання покращення процесу випуску руди в підземних умовах при різних системах розробки досліджувались останнім часом низкою відомих вчених [4-8]. Були встановлені нові залежності процесу випуску руди та гірничого тиску на великих глибинах. Запропоновано нові варіанти систем розробки корисних копалин [9-11].

Багатьма авторами пропонується при випуску руди із блоків при системах розробки підповерхового обвалення руди та вміщуючих порід забезпечувати квазігоризонтальне положення контакту руди та пустих порід, що відповідно знижуватиме ступінь засмічення [12, 13].

Низкою авторів доведено, що збільшення інтенсивності підземних робіт у блоці сприятиме зниженню тиску на нижню частину блоку, що відпрацьовується [9, 10, 14-16]. Важливою умовою для підвищення інтенсивності відпрацювання блоку є порядок випуску руди [9, 12, 14]. Спостерігається збільшення гірничого тиску на нижню частину блоку при рівномірно-послідовному випуску руди у незадіяних виробках випуску.

Отже, існує необхідність розробки ефективних технологій, в яких застосовуватимуться всі ефективні підходи до випуску руди з метою покращення його показників, а також управління напружено-деформованим станом масиву.

Постановка задачі. Таким чином, необхідно розглянути ключові складові процесу випуску руди при підземній розробці родовищ корисних копалин системами розробки поверхового та підповерхового обвалення руди та вміщуючих порід.

Викладення матеріалу та результати. При застосуванні варіантів систем розробки поверхового та підповерхового обвалення руди та вміщуючих порід одним з найважливіших процесів є випуск руди. При цьому зі збільшенням глибини розробки родовищ погіршуються показники вилучення руди [17]. На практиці встановлено, що втрати в гребенях, як на лежачому боці, так і в нижній частині блоку знижуються зі збільшенням продуктивності засобів доставки та інтенсивності випуску, завдяки зниженню тиску в межах фігури випуску [14-16].

Для дослідження впливу гірничого тиску в налягаючих породах на показники вилучення руди та стан виробок доставки, що розташовані в нижній частині блоку було сплановано три серії лабораторних експериментів з випуску руди на фізичних моделях. Моделі представляли собою об'ємні фігури, показані на рис. 1а, б, в, виконані у масштабі 1:100, що імітують собою частину очисного блоку. Бокові стінки моделей кріпляться до основи на шарнірах для моделювання різного кута нахилу площини, імітуючої породний масив лежачого боку рудного покладу.

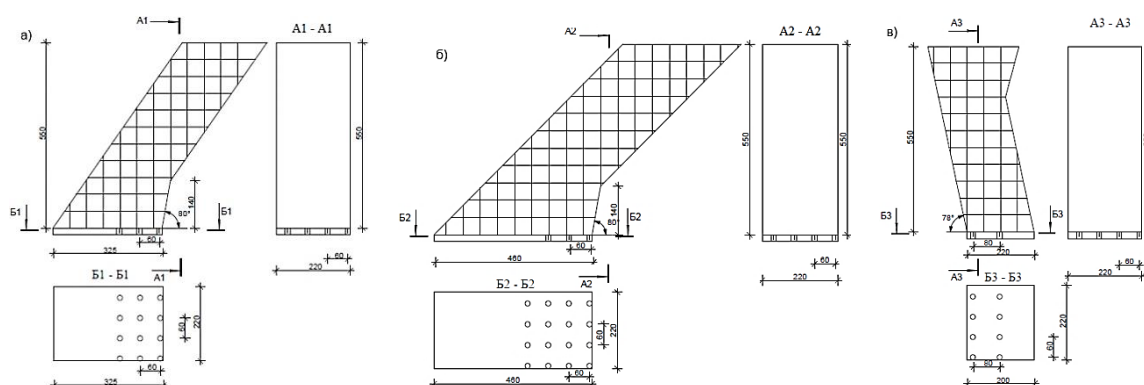


Рис. 1. Експериментальні стенди для фізичного моделювання випуску руди

У днищі моделей виконані отвори у формі випускних воронок. Випускні отвори біля передніх стінок виконані у формі півкіл. Передні стінки виконані зі скла, на яких, нанесені сітки ліній розміром 5х5 см. У якості сипучого матеріалу для заповнення моделей використовувалася магнетитова руда та подрібнений граніт, гранулометричний склад яких наведений в табл. 1.

Таблиця 1

Гранулометричний склад руди та подрібненого граніту

Сипкий матеріал	Вміст фракцій, %, при крупності фракцій, мм				
	-7+5	-5+3	-3+2	-2+1	-1+0,5
Руда	5	40	25	25	5
Подрібнений граніт	5	40	25	25	5

Досліди виконувались з високою засипки магнетитової руди 40 см. На горизонтальній площині магнетитової руди, яка сформована після засипання, над кожною дучкою викладалися мітки. Застосовувались мітки одного типу, представлені частинками алюмінієвого дроту, по виходу яких через випускні отвори визначався початок засмічення. Потім до верхньої частини всі моделі заповнювалися подрібненим гранітом, імітуючим породи, які засмічують руди. Також руда відокремлювалася по горизонталі смугами крейди, що давало змогу стежити за процесом утворення фігур випуску та розпушення. Дози випуску в кожній стадії коливались у межах 80-200 г.

Після засипання моделей починався процес випуску, який здійснювався до початку засмічення. Особливості випуску фіксували крізь передню скляну стінку. Після випуску доз чистої незасміченої руди починалося засмічення. Вихід хоча б однієї з міток із випускного отвору означав припинення випуску руди з цього отвору.

Зважування засипаної і вилученої руди, а також вкладання міток відбувалося для кожного дослідів. На достовірність отриманих результатів позитивно впливав постійний гранулометричний склад руди та пустої породи. Вихідні дані моделей приведені в табл. 2.

Вихідні дані досліджень

Найменування показника	Номер досліду		
	1	2	3
Кут нахилу бокової стінки, град.	55	45	78
Горизонтальна потужність покладу, см	25	35	20
Потужність зони очисних робіт, см	32,5	46	20
Кут випуску руди, град.	77-78		
Висота засипки магнетитової руди, см	40		
Відстань між рядами дучок, см	6	6	8
Відстань між дучками, см	6		

Дослід №1 (модель на рис. 1а) проводився із застосуванням комбінованого режиму випуску руди з похилою боковою стінкою з кутом 55 градусів. Випуск руди здійснювався з випускних отворів, що імітували роботу у двох паралельних виробках скреперування рівномірними дозами, при цьому візуально спостерігався горизонтальний та вертикальний контакти руди з пустою породою, показані на рис. 2.

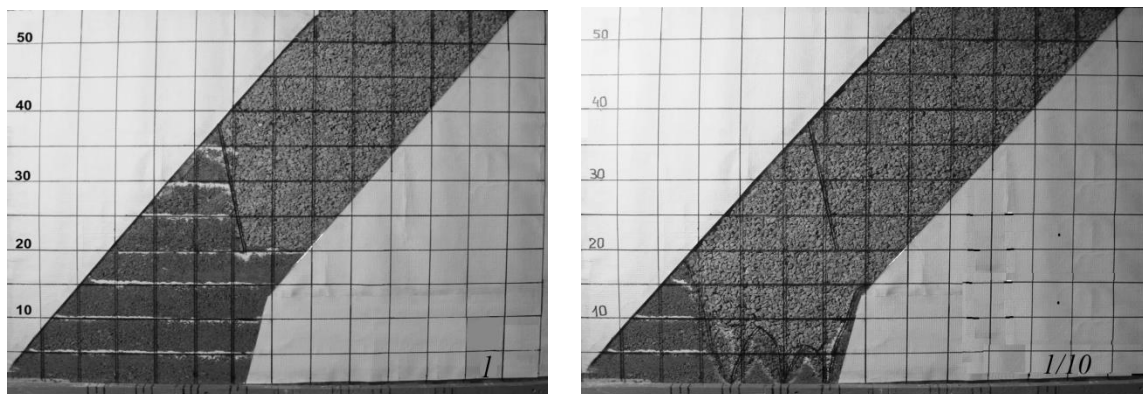


Рис. 2. Початкова та заключна стадії випуску обваленої руди першого досліджу

Випуск проводився до початку засмічення з 3-х рядів дучок, в одному ряду по 4 дучки, всього в роботі 12 дучок. Перша доза приймалася 100 г з кожної дучки. З усіх випускних дучок біля скла випускалося по 80 г руди. Це робилося для утворення зони вторинного розпушення. Наступні дози випуску руди здійснювалися по 200 г з кожної дучки, з випускних дучок біля скла 150-160 г що зумовлює однакове формування фігури випуску руди над дучками розташованими біля скла та тими, що розташовані в центрі потужності зони ведення випуску руди.

До певної миті випуск руди проводився тільки з дучок 2-го та 3-го ряду для більш швидкого посування руди до рівня висоти 1-го ряду дучок, але враховуючи те, що трикутник висячого боку та породи над другим рядом дучок більше, з 2-го ряду дучок виконувалося більше доз випуску руди ніж з 3-го. Після формування горизонтальної площини контакту руди та пустої породи починався випуск руди з усіх дучок рівномірно-послідовно до початку засмічення, що фіксувалося виходом з випускних отворів міток.

Дослід №2 (модель на рис. 1б) проводився в тих же умовах, що і дослід №1 з горизонтальним та вертикальним контактами руди з пустою породою, але з похилою боковою стінкою під кутом 45 градусів та із збільшеною потужністю покладу, що імітувався. Випуск руди здійснювався за допомогою випускних отворів, що імітували роботи у двох паралельних виробках скреперування рівномірними дозами, що показано на рис. 3.

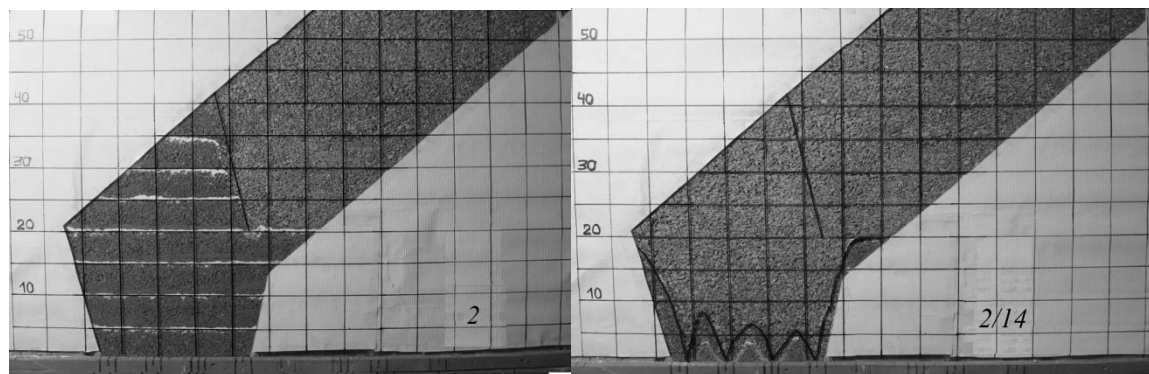


Рис. 3. Початкова та заключна стадії випуску обваленої руди другого досліджу

Випуск проводився до початку засмічення з 4-х рядів дучок, в одному ряді 4 дучки, всього в роботі 16 дучок. Всі дози приймалися по 200 г з кожної дучки. З усіх випускних дучок біля скла випускалося по 150 г руди. З початку випуск руди виконувався з 2-го та 3-го рядів випускних отворів для вирівнювання породи трикутника висячого боку до рівня випуску руди з 4-го ряду дучок. Під час чого кількість доз з 2-го ряду дучок більша за кількість доз з 3-го ряду дучок, що зумовлено присутністю трикутника висячого боку та різною кількістю породи над рядами дучок. Далі працювали 2-им, 3-ім та 4-им рядами дучок до формування горизонтальної площини контакту руди та пустої породи. Після чого включався в роботу 1-й ряд дучок. Потім випускалася руда з усіх дучок рівномірно-послідовно до початку засмічення.

Дослід №3 (модель на рис. 1в) проводився із застосуванням зонного рівномірно-послідовного режиму випуску руди з похилою боковою стінкою з кутом 78 градусів. В моделі створено умови горизонтального контакту руди з пустою породою, а також вертикального, що зумовлено наявністю трикутника висячого боку, що показано на рис. 4. Випуск руди здійснювався з двох рядів дучок, тобто з восьми випускних отворів рівномірними дозами і виконувався у наступній послідовності: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8. Руда, що розміщена над другим рядом дучок випускалася швидше до початку засмічення, що фіксувалося виходом міток з випускних отворів, далі працювали лише першим рядом дучок до початку засмічення.

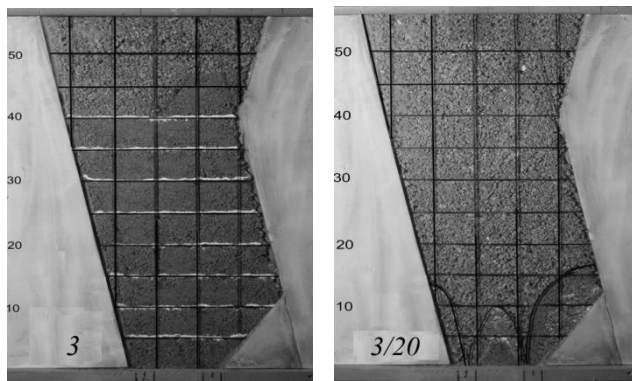


Рис. 4. Початкова та заключна стадії випуску обваленої руди третього дослід

процесу випуску руди було встановлено, що втрати руди на похилій боковій стінці суттєво зменшилися у порівнянні з проведеними дослідом №1, №2. Це пояснюється тим, що кут нахилу бокової стінки 78 градусів відповідає куту випуску руди, який в природніх умовах становить 77-78 градусів.

Після проведення кожного дослідів підраховувався відсоток вилучення чистої

руди. Для аналізу отримані дані заносились в табл. 3.

Таблиця 3
Основні показники вилучення руди, що отримані в досліді

Найменування показника	Номер дослід		
	1	2	3
Кількість засипаної руди, г	22265	33732	30500
Кількість випущеної руди, г	15810	25700	24436
Відносна вилучення чистої руди, %	71.1	76.18	80.1
Кількість засипаної пустої породи, г	54275	58750	53110

дає нам присутність дії тиску пустої породи, що рухається в межах висоти моделі. Трикутник висячого боку під дією тиску пустих порід зміщується до висячого боку відносно розташування рядів дучок, що в свою чергу дає можливість для більш продуктивної роботи 3-ім рядом дучок. Аналогічна ситуація простежується і в досліді №2.

У ході досліджень встановлено діапазон кутів падіння рудних покладів, що здійснюють суттєвий вплив на кількісні показники втрат руди у процесі застосування зонного режиму випуску, що представлений на рис. 5.

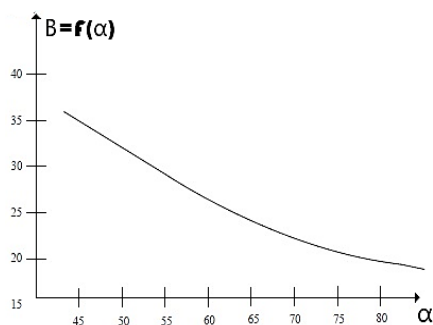


Рис. 5. Графік залежності втрат руди від кута падіння покладу

В роботі наведено основні результати фізичного моделювання режиму випуску обваленої руди рівномірними дозами з кількох випускних отворів, що знаходяться на одному ряду, комбінованого та рівномірно-послідовного режимів, що забезпечують кращі показники вилучення порівняно з іншими режимами випуску руди.

Встановлено, що застосування зонного комбінованого режиму випуску руди із випускних виробок, що знаходяться на одному ряду, почергово до початку засмічення, дозволяє зменшити втрати руди. Також доведено, що найбільший вплив на показники вилучення руди відбувається при зміні кута падіння рудного покладу. Так при кутах падіння покладу 45-55 градусів втрати руди змінюються в межах 24,9-18,9%, а при кутах падіння покладу 76-79 градусів втрати руди зменшуються і складають 9,1-10,6%, що пояснюється тим, що кут нахилу бокової стінки 76-79 градусів перевищує природний кут витікання відбитої руди.

Висновки та напрямки подальших досліджень. На основі виконаних досліджень випуску відбитої руди з очисних блоків при різних кутах падіння можна рекомендувати ефективний зонний рівномірно-послідовний режим випуску руди, який буде сприяти загальному підвищенню продуктивності відпрацювання підповерхів блоків. Таким чином, результати виконаних досліджень дозволяють значно підвищити ефективність відпрацювання запасів руди як в окремому очисному блоці, так і в цілому по шахті.

Напрямок подальших досліджень полягає у розробленні ефективної технології розробки родовищ, що дозволить підвищити показники вилучення руди при випуску та покращити керування гірничим тиском в межах блоку, що відпрацьовується.

Список літератури

1. **Калініченко В.О., Ступнік М.І., Колосов В.О.** Підземна розробка рудних родовищ. Підручник. Кривий Ріг: 2017. – 352 с.
2. **Hustrulid W.A.** Underground mining methods: Engineering fundamentals and international case studies / W.A. Hustrulid, W.A. Hustrulid, R.L. Bullock, R.C. Bullock. – SME: 2001. – 721 p.
3. **Калініченко О.В.** Підвищення показників вилучення залізних руд при випуску обваленої рудної маси на контакт з твердіючим штучним масивом / О.В. Калініченко // Вісник Криворізького національного університету. – 2017. – Вип. 45. – С. 118-122.
4. **Калініченко В.О.** Дослідження показників вилучення руди на основі фізичного моделювання її випуску для умов глибоких горизонтів шахт Кривбасу / Калініченко В.О., Косенко А.В., Хівренко О.Я. // Якість мінеральної сировини. – 2017. – Т. 1 – С. 143-155.
5. **Косенко А.В.** Комп'ютерне моделювання інтенсифікації технологічного процесу випуску руди під обваленими пустими породами / Косенко А.В., Тарасютін В.М., Шепель О.Л. // Гірничий Вісник. – 2018. – Вип. 104. – С. 92-96.
6. **Тарасютін В.М.** Фізичне моделювання технологічного процесу випуску руди для умов глибоких горизонтів шахт Кривбасу / Тарасютін В.М., Косенко А.В. // Розвиток промисловості та суспільства: Міжнародна науковотехнічна конференція (м.Кривий Ріг, Україна, 24-26 травня 2017 року). – Кривий Ріг: КНУ – 2017. – С. 67.
7. **Косенко А.В.** Визначення впливу інтенсифікації технологічного процесу випуску рудної маси на величину тиску в межах фігури випуску на основі комп'ютерного моделювання / А.В. Косенко // Молодий вчений. – 2017. – №9. – С. 455-458.
8. **Ступнік М.І.** Закономірності формування випуску під подушкою переуцільненого шару при підземному видобутку руди // Металургійна і гірничорудна промисловість. – Дніпропетровськ, 2011. – С. 64–66.
9. **Римарчук Б.І.** Про питання зниження гірничого тиску при випуску руди з обвалених блоків / Б.І. Римарчук, О.Л. Шепель, М.В. Худик // Вісник Криворізького національного університету. – 2020. – № 50. – С. 82–87. doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-82-87.
10. **Shepel, O., Rymarchuk, B.** About a question of a decrease of a rock pressure at an ore drawing from the brought down blocks. Multi-authored monograph. – Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2020. – 514 p. (181–197). <https://doi.org/10.31713/m912>.
11. **Pysmennyi, S., Shvager, N., Shepel, O., Kovbyk, K., Dolgikh, O.** (2020). Development of resource-saving technology when mining ore bodies by blocks under rock pressure. E3S Web of Conferences, 166, art. no. 02006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016602006>.
12. **Хоменко О.Є., Кононенко М.М., Косенко А.В.** Процеси підземної розробки рудних родовищ: підручник; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро: НТУ «ДІП», 2022. 206 с. <https://doi.org/10.33271/dut.002>.
13. **Косенко А.В.** Дослідження технологічного процесу випуску руди на основі фізичного моделювання / А.В. Косенко, В.М. Тарасютін // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського: Серія «Технічні науки». – 2018. – Том 29 (68). – № 4. – С. 73–79.
14. **Шепель О.Л.** Дослідження питання зниження гірничого тиску при випуску руди за різних умов, що впливають / Шепель О.Л., Худик М.В., Косенко А.В. // Вісник Криворізького національного університету. – 2022. – Вип. 54. – С. 131-137. (Index Copernicus, Research Bible, Academic Keys).
15. **Khomenko O.** Classification of Theories about Rock Pressure / O. Khomenko, M. Kononenko, J. Bilegsaikhan // Solid State Phenomena. – 2018. – № 227. – P. 157–167.
16. **Корж В. А.** Розробка ресурсозберігаючих технологій очисної виїмки на основі закономірностей випуску руди з неоднорідними випадковими властивостями: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.15.02. – Кривий Ріг, 2001.
17. **Ступнік М.І.** Розробка та дослідження технології відпрацювання запасів блоків із застосуванням комбінованого високоінтенсивного випуску руди / М.І. Ступнік, В.О. Калініченко, О.Я. Хівренко, О.В. Калініченко, М.А. Грищенко, В.О. Теляпнов // Вісник Криворізького національного університету. – 2016. – № 43. – С. 3-6

О.М. СІНЧУК, д-р техн. наук, проф., Т.М. БЕРІДЗЕ, д-р економ. наук, проф.,
І.В. КАСАТКІНА, І.І. ПЕРЕСУНЬКО, кандидати техн. наук, доценти
Криворізький національний університет

ЕТИОЛОГІЯ ЕФЕКТІВ МОНІТОРИНГУ В ПАРАДИГМІ ОЦІНЮВАННЯ СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗОРУДНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Мета. Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування щодо методики побудови управлінської моделі оцінювання реалізації економічної стратегії підприємств на застосуванні етіологічних ефектів моніторингу, як складової стратегічного управління підприємством.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач і аналізу статистичних даних використано аналітичні методи для дослідження системи обліку, контролю і аналізу інформації для підвищення ефективності управління підприємствами гірничорудної промисловості.

Наукова новизна. Вперше запропоновано методику побудови управлінської моделі промислового підприємства на основі застосування етіології основних ефектів моніторингу показників економічної діяльності виробничого процесу які охоплюють усі аспекти діяльності підприємства. Основу методики складає змістовна інтерпретація співвідношень темпів росту показників, що у найбільшій мірі відповідають відомим критеріям успішності.

Практична значимість. За результатами проведених досліджень можна зробити висновок про те що, рівень зростання показників ефективності означає ріст продуктивності виробництва, отже показники виходу (товарна продукція, реалізована продукція) більші за показники оснащення, каталізатора та суб'єктивного фактору. Виконані аналітичні розрахунки підтвердили ефективність використання моніторингу показників економічної діяльності підприємства та є основою для подальшого вирішення проблеми з ефективного управління усіма ланками виробничого процесу. Наведений у статті статистичний матеріал підтверджує ці висновки. Практика застосування запропонованої методики на гірничих підприємствах показала її дієвість.

Результати. Впровадження методики оцінювання економічної стратегії для забезпечення удосконалення управлінських рішень для підприємств гірничорудного комплексу Криворізького регіону показала свою дієвість. Методика забезпечується виділенням системних характеристик підприємства: вхід, вихід, оснащення, упорядкованість, каталізатор, суб'єктивний фактор. Методика базується на основних показниках, що визначаються за результатами моніторингу, відображають стан підприємства на поточний момент і дозволяють простежити динаміку руху показників економічної діяльності підприємства. Ця методика буде сприяти у прийнятті раціональних управлінських рішень щодо вироблення ефективної економічної політики підприємства.

Ключові слова: управління, стратегія, система, модель, показник, моніторинг.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-8-11

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Постійне прискорення динаміки складних виробничих систем за умов постіндустріального розвитку, детермінує зростання ступеню конкурентної боротьби на внутрішніх та зовнішніх ринках та ентропії в їх діяльності. Вирішення першочергових управлінських завдань передбачає використання сучасних методик оцінювання результатів стратегічного розвитку залізрудних підприємств.

Забезпечення ефективності управління діяльністю підприємства – проблема, що потребує використання різноманітних підходів та концепцій. Управління залізрудними підприємствами в умовах глобалізації процесів технічної взаємодії і турбулентності, потребує від керівництва підприємств використання дієвого, методичного інструментарію щодо обробки управлінської інформації.

Аналіз досліджень і публікацій. Стратегічне управління орієнтовано, перш за все, на розробку практичних рекомендацій, використовуючи при цьому не лише власні моделі та інструментальні розробки, а і досягнення інших наук [1-3]. В останній час великого поширення набула думка, що для нейтралізації негативної реакції співробітників та ефективної реалізації стратегії необхідно залучення усього персоналу до розробки стратегічних рішень, роз'яснення персоналу суті і переваг стратегічного управління у порівнянні з іншими системами управління, а також запровадження системи оплати праці, відповідно до затрачених зусиль робітників [4]. В свою чергу А. Слоан розглядає проблему зміни системи управління підприємством, досліджуючи механізми формування і запровадження стратегічних рішень [6]. Лохман Н.В. пропонує використання GAP –аналіз досягнення цілей організації та використання відповідної комп'ютерної програми [7]. Системи статистичного моніторингу в якості найважливішої складової управління економічними об'єктами не достатньо висвітлені у науковій літературі [8]. В

роботах Галіціна В. К визначені напрями формування методології удосконалення управлінських рішень, основні підходи до моделювання економічної політики підприємства [9].

Постановка задачі. Аналіз результатів діяльності підприємств гірничорудного комплексу (ГРК) Криворізького регіону виявив на поточний час загальні проблеми їх функціонування. Складності з покриттям своїх обов'язків і нерациональна організаційна структура призводять до негативних наслідків. Ефективне управління підприємствами ГРК ускладнюється недосконалою системою обліку, контролю і аналізу інформації. Втрачається можливість своєчасного управлінського реагування на внутрішні проблеми та зовнішні загрози і можливості щодо фінансової стійкості та ефективності в цілому [8].

Плиnnість умов ведення бізнесу та експонентне прискорення техніко-економічного розвитку за умов постіндустріальності, обумовлює необхідність продовження досліджень в області створення принципово нових методів і засобів інтегрування інформації, для забезпечення оптимальних організаційних умов щодо прийняття управлінських рішень.

Викладення матеріалу та результати. Загальна спрямованість підприємства на підвищення його організованості, ефективності, фінансової стійкості тощо може бути описана шляхом формулювання певних цільових установок. При цьому слід зазначити динамічний характер підприємства як системи, а відповідно і його стратегії і тактики, що призводить до необхідності формулювати не «цілі-стану», а «цілі-напряму». Цільові установки можуть бути виражені шляхом упорядкування двох і більше показників стану і результатів діяльності підприємства, а мета буде полягати в підтримці цього порядку.

Свідомо конструюючи і контролюючи динаміку показників, можна не тільки визначити напрям руху підприємства, а й керувати цим рухом для досягнення поставлених цілей [9, 10].

Забезпечення раціонального управління повинно, на нашу думку, ґрунтуватися на статистичних показниках і відповідних методиках аналізу економічного стану підприємства, прогнозування тощо.

З позицій системного аналізу, методика має відповідати змісту системи: вхід, процесор, вихід. При проведенні моніторингу, в системі стратегічного управління, таку послідовність рекомендується застосовувати при визначенні організаційно-методологічних заходів і способів реалізації моніторингу [11, 12].

На вході – це завдання аналізу та відбору вихідної інформації. Побудова інформаційної складової зводиться до впорядкування відібраних показників, виходячи зі змістовної інтерпретації співвідношення темпів їх зростання. Вибирається те співвідношення темпів (з двох можливих), яке найбільшою мірою відповідає відомим критеріям успішності підприємницької діяльності.

Процесор визначає аналіз співвідношень, загальний економічний стан підприємства і направленість його розвитку, тобто управлінську складову.

Вихід - виділяються завдання інтерпретації отриманих показників і оцінок, виявлення проблем та чинників, що їх породжують.

Системні характеристики підприємства забезпечують виділення наступних складових: вихід, оснащення, суб'єктивний фактор, упорядкованість, каталізатор [13].

Введемо наступні позначення: v_x - параметри входу; v_{ix} - параметри виходу; $осн$ - параметри оснащення; $вп$ - параметри впорядкованості; $кат$ - параметри каталізатора; $сф$ - параметри суб'єктивного фактора; I - темп зростання будь-якого параметра.

Визначені складові можна вважати параметрами управлінської моделі. Використовуючи наступні залежності

$$I(v_{ix}) > I(v_p); I(v_x) > I(v_p); I(осн) > I(v_p); I(кат) > I(v_p); I(сф) > I(v_p).$$

сформована матриця переваг (табл. 1) [13]. У матриці буквами позначені нормативні співвідношення, знаком «+» нормативні співвідношення швидких темпів росту, «-» повільних.

Таблиця 1

Матриця зв'язків між параметрами моделі

Параметри	Вхід	Вихід	Оснащення	Впорядк.	Каталізатор	Суб. фактор
Вхід		-	Б	Д	+	Б
Вихід	А		А	А,Д	А,В,Г	А,Г
Оснащення	-	-		Д	В	В
Впорядкування	-	-	-		-	-
Каталізатор	-	-	-	Д		Г
Суб. фактор	-	-	-	Д	-	

Примітка. А – співвідношення: вихід > оснащення, вихід > вхід, вихід > каталізатор, вихід > суб'єктивний фактор; Б – співвідношення: оснащення > суб'єктивний фактор, вхід > суб'єктивний фактор, вхід > оснащення; В – співвідношення: оснащення > каталізатор, вихід > каталізатор; Г – співвідношення: вихід > каталізатор > суб'єктивний фактор; Д – співвідношення – вихід, вхід, оснащення, каталізатор, суб'єктивний фактор > впорядкування [13]

Сформована матриця переваг дає підстави для побудови графа переваг (рис 1), який більш наглядно відображає формування параметрів управлінської моделі.

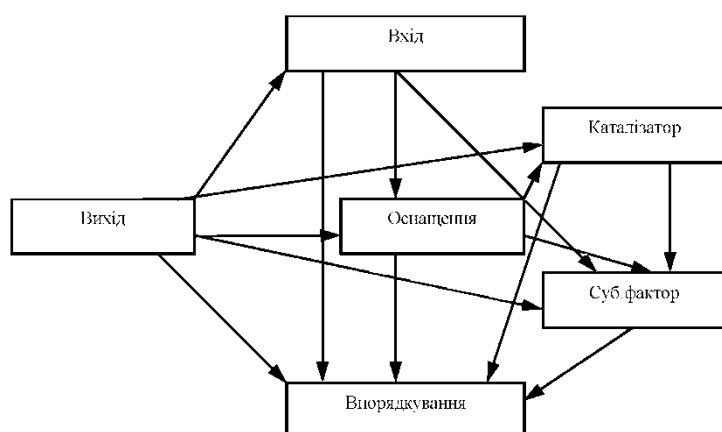


Рис.1. Граф переваг управлінської моделі

Розглянутий підхід узгоджується з принципами і критеріями моніторингу. Тому, оцінювання раціонального управління може визначатись через оцінку наближення фактичного і нормативного установленого темпів зростання [13]. Цю оцінку можна розрахувати наступним чином (1-3)

$$Y = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n(n-1)} = 1 - \frac{M(P, H)}{n(n-1)}, \quad (1)$$

де Y – оцінка реалізації економічної політики підприємства; n – число показників в упорядкуванні (в моделі); m_i – кількість інверсій у фактичному порядку для показника, що має перший ранг (займає i -те місце) в моделі

$$m_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}, \quad (2)$$

де $M(P, H)$ – сума інверсій у реальному порядку показників (P) відносно нормативного порядку (H), заданого в моделі;

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } r_i > r_j \text{ при } i < j \text{ та} \\ \text{якщо } r_i < r_j \text{ при } i > j; \\ 0, \text{ в інших випадках} \end{cases} \quad (3)$$

де r_i і r_j ранги i -го і j -го показників в фактичному упорядкуванні.

Оцінка Y змінюється у діапазоні від 0 до 1. Збіг фактичного і нормативного установленого вказує на найвищий рівень реалізації економічної політики, всі нормативно встановлені співвідношення темпів зростання показників фактично виконуються ($Y=1$). $Y=0$ – фактичний порядок показників повністю протилежний нормативному [13].

Були проведені розрахунки для ПАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат» (ЦГЗК) щодо співвідношення параметрів (рис.2).



Рис.2. Співвідношення параметрів у 2006-2010 роках

Зростання показників ефективності означає ріст ефективності виробництва, отже показники виходу (товарна продукція, реалізована продукція) більші за показники оснащення, каталізатора та суб'єктивного фактору. Але в 2007-2009 роках дане співвідношення не виконується. Показники виходу є меншими за показники входу, це пов'язано з ціновою політикою, яка була запрова-

джена на підприємствах гірничорудного комплексу, ціна не відповідала собівартості продукції. У 2010 році зазначені співвідношення досягли нормативних значень, що свідчить про дієвість прийнятих управлінських рішень. Як показує аналіз отриманих результатів, менеджменту підприємства слід звернути увагу на екологічну складову – показник сплачених штрафів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Практика застосування методики оцінювання економічної стратегії для забезпечення удосконалення управлінських рішень для підприємств гірничорудного комплексу підприємств Криворізького регіону показала свою дієвість. Методика забезпечується виділенням системних характеристик підприємства: вхід, вихід, оснащення, упорядкованість, каталізатор, суб'єктивний фактор. Методика базується на основних показниках, що визначаються за результатами моніторингу, відображають стан підприємства на поточний момент і дозволяють простежити динаміку руху показників економічної діяльності підприємства.

Аналіз отриманих результатів може бути використаний при прийнятті раціональних управлінських рішень щодо вироблення ефективної економічної політики підприємства.

Список літератури

1. **Смолін І.В.** Стратегічне планування розвитку організації: монографія / **І.В. Смолін**. – К.: Київ, торг.-екон. ун-т, 2004. – 344 с.
2. **Наливайко А.П.** Теорія стратегії підприємства. Сучаний стан та напрямки розвитку: монографія / **А.П. Наливайко**. – К.: КНЕУ, 2001. – 227 с.
3. **Котеленец Б. А.** Экономическая устойчивость предприятий ВКХ : монография / **Б. А. Котеленец, Я. В. Леонов, С. М. Полянский**. – Харьков : «Основа», 2001. – 185 с.
4. **Круглова О. А.** Системний підхід до організації моніторингу на підприємстві / **О. А. Круглова, В. О. Козуб** // БІЗНЕСІНФОРМ. – № 9. – 2014. – С. 307-311.
5. **Хабер І.Б.** Модель гнучкого проекту / Сучасні проблеми моделювання соціально-економічних систем: Тези доповідей II міжнародної науковопрактичної конференції 8-9 квітня 2010 р. – Х.:ФОП Александрова К.М.; ВД «ІНЖЕК», 2010. – С.206-208.
6. **Sloan A.P., Jr.** My Years with General Motors. Doubleday, Garden City, N.Y., 1964.
7. **Лохман Н. В.** GAP- аналіз досягнення цілей організаційної діяльності підприємства. / **Н. В Лохман** // Development strategy of science and education. Collection of scientific articles Fidelite editions Namur, Belgique - 2017 - 106 -109с.
8. **Смачило Т. В.** Інформаційне забезпечення організації моніторингу підтримки та прийняття управлінських рішень : дис. ... канд. екон. наук : 08.03.02 / Тетяна Володарівна Смачило. – Тернопіль, 2002. – 194 с.
9. **Галіцин В. К.** Системи моніторингу : монографія / **В. К. Галіцин**. –К. : КНЕУ, 2000. – 231 с
10. **Масленникова Н. Ю.** Понятие и сущность мониторинга с позиции системного подхода [електронний ресурс] / **Н. Ю. Масленникова, О. К. Слинкова**. – режим доступу : [http:// cyberleninka.ru/article/n/ponyatie-i-suschnost-monitoringa-spozitsii-sistemnogo-podhoda](http://cyberleninka.ru/article/n/ponyatie-i-suschnost-monitoringa-spozitsii-sistemnogo-podhoda)
11. **Тищенко А.Н.** Генезис управленческих стратегий транснациональных корпораций: у монографії : Корпоратції та інтегровані структури: проблеми науки та практики / **А.Н. Тищенко, В.А. Зинченко, И.Л. Райнин**. – Х. : ВД «ІНЖЕК», 2007. – С.50-75.
12. **Мороз О. М.** Система мониторинга предприятия как фактор повышения его эффективности [електронний ресурс] / **О. М. Мороз, А. А. Галба**. – режим доступу : [http://intkonf.org/ ken-moroz-om-galba-aa-sistema-monitoringa-predpriyatiya-kakfaktor-povyisheniya-eyo-effektivnosti/](http://intkonf.org/ken-moroz-om-galba-aa-sistema-monitoringa-predpriyatiya-kakfaktor-povyisheniya-eyo-effektivnosti/)
13. **Берідзе Т. М.** Статистичний моніторинг в системі стратегічного управління підприємством : монографія. Кременчук : ПП Щербатих О. В., 2016. 332 с.

УДК 624.04

Р.О. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук, проф., **Д.А. КРІШКО**, канд. техн. наук, ст. викладач, **В.О. САВЕНКО**, канд. техн. наук, наук. співробітник, **Д.А. АРИШАКА**, магістрант Криворізький національний університет

РІВЕНЬ РОЗРАХУНКОВОГО СЕЙСМІЧНОГО ВПЛИВУ ПРИ ОЦІНЮВАННІ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Мета. Обґрунтування розрахункового рівня сейсмічного навантаження для розрахунку будівель і споруд, що зводяться та експлуатуються в особливих умовах, відмінних від умов масової забудови.

Методи дослідження. Включають в себе побудову математичних моделей систем, що розглядаються, їх чисе-

льний і аналітичний аналіз, а також зіставлення одержуваних результатів з наявними наслідками минулих землетрусів та розроблення пропозицій щодо використання отриманих результатів в інженерній практиці. Застосовано умову еквівалентності при застосуванні методів теорії надійності та методів теорії сейсмічної надійності та методів теорії сейсмічного ризику, що спрощує завдання рівня сейсмічного впливу при багаторівневому проектуванні.

Наукова новизна. Розглянуто методику завдання розрахункового рівня сейсмічного впливу для споруд, що експлуатуються в особливих умовах (відмінних від умов будівництва та експлуатації об'єктів масової забудови). Запропоновано рекомендації щодо завдання розрахункового рівня сейсмічного впливу для багаторівневого проектування з урахуванням повторюваності землетрусів, а також терміну служби та відповідальності споруди і дано оцінку рівня розрахункового впливу для проектування висотних будівель. Розглянуто методику оцінки коефіцієнтів сполучень сейсмічного та інших навантажень.

Практична значимість. Теоретичний аналіз надійності та ризику в сейсмостійкому будівництві доведено до практичних пропозицій у відповідні нормативні документи, а також у розробленні програмних засобів для визначення розрахункових сейсмічних прискорень.

Результати. Розглянуто методику завдання розрахункового рівня сейсмічного впливу для споруд, що експлуатуються в особливих умовах (відмінних від умов будівництва та експлуатації об'єктів масової забудови). Розглянуто рекомендації щодо завдання розрахункового рівня сейсмічного впливу для багаторівневого проектування з урахуванням повторюваності землетрусів, терміну служби та відповідальності споруди. Розглянуто рекомендації та дано оцінку рівня розрахункового впливу для проектування висотних будівель. Розглянуто методику оцінювання коефіцієнтів поєднань сейсмічного та інших навантажень.

Ключові слова: сейсмічне навантаження, рівня сейсмічного впливу, висотні будівлі, землетруси.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-11-17

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Для оцінки сейсмостійкості споруд використовується лінійно-спектральний метод оцінювання сейсмостійкості споруд, що ґрунтується на спектральному розкладанні рівнянь руху за власними формами коливань і оцінюванні інерційних сейсмічних навантажень за кожною формою. Нормативний варіант лінійно-спектрального методу розроблено стосовно розрахунку об'єктів масового будівництва і дає прийнятні оцінки сейсмостійкості саме для цих об'єктів у середніх сейсмогеологічних умовах. Зараз доводиться мати справу з будівлями, які будуються та експлуатуються в незвичайних умовах, що суттєво відрізняються від середнього рівня. Ці відмінності можуть полягати в повторюваності розрахункових сейсмічних впливів, повторюваності інших навантажень (вітрових, снігових, транспортних тощо), терміні служби споруди, її значущості та ступені відповідальності, величині збитку від руйнування. До числа будівель і споруд із такими особливостями належать будівлі підвищеної поверховості, споруди зі спеціальними системами сейсмосахисту, що включають сейсмоізоляцію і сейсмогасіння, тощо. Зазначені особливості призводять до необхідності уточнення розрахункового рівня сейсмічного впливу і визначають актуальність обраної теми [1-5].

Аналіз досліджень і публікацій. Питанню обґрунтування рівня сейсмічного впливу приділялася першорядна увага в теорії сейсмостійкості, починаючи від перших досліджень японських фахівців Ф. Омори і Н. Мононобе до наших днів. Великий внесок у розв'язання проблеми зробили І.Л. Корчинський, С.В. Медведєв, К.С. Заврієв, О.Г. Назаров, Ш.Г. Напетварідзе, О.О. Савінов, Я.М. Айзенберг, Г.М. Карцивадзе, М. Біо, Г. Гаузнер та ін. До основоположних праць, що враховують випадковий характер сейсмічного впливу, належать дослідження А.Д. Абакарова, Я.М. Айзенберга, М.Ф. Барштейна, В.В. Болотіна, І.І. Голденבלата, Г.М. Карцивадзе, М.О. Ніколаєнко, О.О. Савінова та інших фахівців. За кордоном цими питаннями займалися Г. Хаузнера, М. Біо, Е. Ванмарке, Н. Ньюмарка, Е. Розенблюта та інші основоположники сучасної науки про сейсмостійке будівництво. Серйозні дослідження проблеми з позицій статистичної динаміки та теорії надійності виконано О.М. Бірбраєром, О.А. Петровим, І.Й. Бойком, В.Б. Швецом, В.Л. Седіним, О.О. Петраковим, С.Г. Шульманом, Г.С. Шульманом, Ю.В. Альбертом та іншими вченими. Значна кількість досліджень присвячена проблемам сейсмічного ризику та сейсмічної вразливості. Ці питання висвітлено в працях М.А. Клячка, А.П. Синіцина, Р.О. Тімченка, Г.Л. Коффа, С. Шаха, Р. Дуарте [6-24].

У роботах Г. Кюрнрейтера, а також у книжках О.М. Єлисеєва, О.М. Уздіна і Т.А. Белаш зроблено спроби розглянути завдання забезпечення сейсмостійкості споруди з позицій математичної теорії ухвалення рішень. На основі досліджень останніх 30 років склалося сучасне розуміння інженерних вимог до сейсмостійкого будівництва в цілому. Ці вимоги сформовано в роботах Я.М. Айзенберга, Дж. Барра, І.І. Голденבלата, Д. Довріка, Л.С. Килимника,

М.А. Ніколаєнка, С.В. Полякова, Р. Порка, М. Фардіса та інших фахівців. Нині вони враховані в нормативі [25]. Згідно з цими вимогами конструкція повинна зберігати експлуатаційні властивості при відносно частих і слабких землетрусах, мати мінімізований обсяг ушкоджень при землетрусах середньої сили і повторюваності, а також забезпечити збереження життя людей і цінного обладнання при рідкісних руйнівних землетрусах.

Відповідно до цієї концепції необхідно проводити кілька розрахунків конструкції на землетруси різної сили і повторюваності за різних граничних станів. Велика кількість досліджень з цього питання призвела до того, що різні автори вкладають різний зміст у поняття сейсмічної надійності та сейсмічного ризику. При цьому методи обґрунтування розрахункових навантажень з позиції теорії надійності та ризику не узгоджені між собою. Рекомендації щодо завдання розрахункових навантажень на споруди різного ступеня відповідальності не мають необхідного обґрунтування.

Постановка задачі. Обґрунтування розрахункового рівня сейсмічного навантаження для розрахунку будівель і споруд, що зводяться та експлуатуються в особливих умовах, відмінних від умов масової забудови.

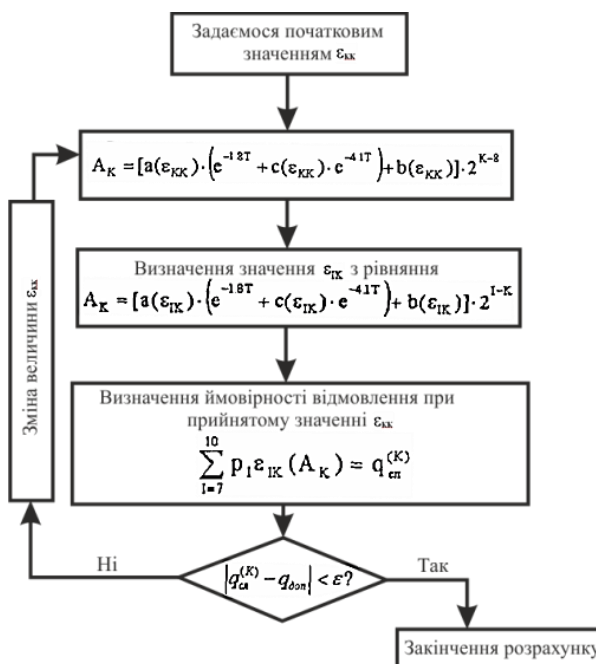
Викладення матеріалу та результати. Умови експлуатації багатьох споруд відрізняються від середніх умов експлуатації споруд масового будівництва. Для розрахунку таких споруд необхідне послідовне використання принципів багаторівневого проектування. На першому етапі це зводиться до подвійного розрахунку конструкції на дію проектного землетрусу і максимального розрахункового землетрусу. При цьому нормування рівня сейсмічного впливу (розрахункових прискорень денної поверхні) з позицій теорії надійності виходить з обмеження ймовірності перевищення прискореннями розрахункового значення за термін служби споруди, а рівняння для визначення розрахункового прискорення A_K має вигляд

$$\sum_{I=7}^{10} p_I \cdot \varepsilon_{IK} \cdot (A_K) = q_{cl}^{(K)}, \quad (1)$$

де p_I – ймовірність виникнення за термін служби T землетрусу силою I балів, ε_{IK} – ймовірність того, що під час землетрусу силою I балів буде перевищено розрахунковий рівень прискорень A_K для землетрусу силою K балів; $q_{cl}^{(K)}$ – припустима ймовірність відмови, тобто перевищення прискоренням розрахункового рівня A_K за термін служби споруди T . Алгоритм методики визначення рівня сейсмічного впливу наведено на рис. 1. Формулу, що пов'язує величину A_K з ймовірністю ε_{IK} , наведену на рис. 1.

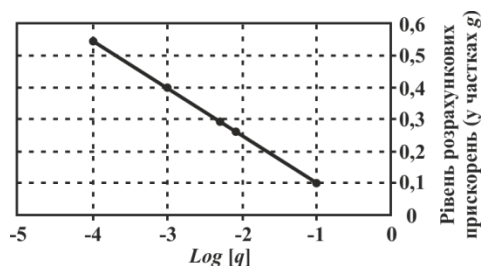
Рис.1. Алгоритм методики визначення розрахункового рівня сейсмічного впливу

Нині повсюдно здійснюється перехід до багаторівневого проектування, що вимагає розрахунку проектного землетрусу і максимального розрахункового землетрусу. Під час проектування гостро постає питання про завдання сейсмічного впливу для проектного землетрусу і максимального розрахункового землетрусу. Для оцінки рівня впливу під час проектного землетрусу і максимального розрахункового землетрусу необхідно задатись допустимою ймовірністю його перевищення. Основоположним при цьому є той факт, що нормативні розрахунки об'єктів масового будівництва для середніх сейсмологічних умов дають прийнятні з інженерної точки зору результати. Тому ймовірності перевищення рівнів проектного землетрусу і максимального розрахункового землетрусу для зазначених споруд можна вважати допустимими. Як базову, розглянуто оцінку рівня впливу для вихідних даних, наведених у табл. 1. Залежність розрахункового прискорення від допустимої ймовірності його перевищення наведено на рис. 2.



Вихідні дані для оцінки рівня сейсмічного впливу

Термін служби споруди, роки	Переважний період впливу, с	Повторюваність землетрусів силою I балів у роках			
		$I = 7$	$I = 8$	$I = 9$	$I = 10$
50	0,4	200	1000	6000	∞

Рис.2. Залежність рівня розрахункових прискорень від імовірності відмови $[q]$ для базових даних

Отримані оцінки величини $[q]$ на базі рівняння (1) дають змогу визначати розрахунковий рівень сейсмічного впливу залежно від сейсмічної небезпеки території та терміну служби споруди. Для розв'язання цього завдання в роботі використано традиційне положення про те, що число струсів заданої сили за певний інтервал часу розподілено за законом Пуассона. Під ситуаційною сейсмічністю розуміють рівні сейсмічної небезпеки на розглянутій території за трьома картами загального сейсмічного районування. Нині, проєктуючи споруди масової забудови, наприклад, на основі карти В, не враховують сейсмічність за картами А і С.

Необхідність такого врахування неодноразово зазначалася в літературі. Виконані дослідження дають змогу розв'язати це завдання. За результатами досліджень було надано такі рекомендації:

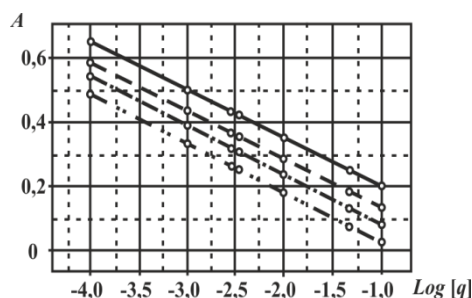
під час проєктування необхідно враховувати, що рівень розрахункових прискорень істотно залежить від повторюваності землетрусів, тобто від комбінацій сейсмічної інтенсивності за картами А, Б і С;

розрахунок за однією з карт районування не можна вважати прийнятним;

як вихідну інформацію під час проєктування слід використовувати повторюваність максимальної сейсмічності за картами загального сейсмічного районування, а не задану розрахункову сейсмічність за обраною картою.

Виконані дослідження дають змогу задавати розрахунковий рівень сейсмічного впливу залежно від терміну служби споруди. Якщо розглянути, наприклад, вежу для передавання сигналів сотового зв'язку (термін служби дорівнює 20 років), будівлю вокзалу дорівнює 50 років), і великий міст дорівнює 300 років), то рівні розрахункового проєктного землетрусу становитимуть для середніх сейсмологічних умов відповідно $0,4 \text{ м/с}^2$, 1 м/с^2 і 2 м/с^2 проти 1 м/с^2 за чинними нормативами.

На рис. 3 нанесено залежності прискорень A від логарифма допустимої ймовірності їх перевищення за різних термінів служби. Як видно з рисунка, термін служби споруди помітно впливає на величину розрахункового впливу і має враховуватися під час проєктування.

Рис.3. Залежність розрахункового прискорення A від логарифма допустимої ймовірності $[q]$ для споруд з різним терміном служби T_{life}

Звернемося тепер до оцінки рівня розрахункового впливу на особливо відповідальні споруди. До таких споруд належать великі греблі, вокзали великих пасажирських станцій, промислові будівлі з вибухонебезпечним або екологічно небезпечним виробництвом тощо. Основною особливістю цих споруд є їхня висока відповідальність (за прийнятими міжнародними вимогами допустима вірогідність відмови та термін служби споруди (він збільшений від 80 до 300 років). На рис. 3 показано залежність розрахункового прискорення A від допустимої ймовірності $[q]$ для споруд із різним терміном служби. Порівняно з базовою залежністю (рис. 2) отримані результати дають змогу зробити такі висновки:

під час розрахунку на максимальний розрахунковий землетрус слід враховувати силу максимально можливого землетрусу на майданчику будівництва, врахування ситуаційної сейсмічності не є необхідним. У всіх розглянутих випадках розрахункове прискорення при $[q] = 10^{-6}$, що становило близько $0,55 g$. Цей результат отримано в роботі математично;

під час розрахунку від проєктного землетрусу слід враховувати ситуаційну сейсмічність за

картами загального сейсмічного районування. У виконаних прикладах за $I = 0,05$ розрахункове прискорення проектного землетрусу змінюється від $0,15 g$ до $0,2 g$.

Висотне будівництво дедалі ширше починає застосовуватися у високосейсмічних районах. Одним з основних питань забезпечення сейсмостійкості висотних будівель є коректне завдання розрахункового рівня сейсмічного впливу, що визначає ступінь антисейсмічного посилення споруди. Оскільки соціальний ризик висотного будівництва за інших рівних умов істотно вищий за звичайний, розрахунковий рівень сейсмічного впливу на висотні будівлі має бути підвищений. Якщо як характеристики соціального ризику прийняти ймовірність K загибелі заданої кількості людей за термін служби споруди, то можна записати

$$R = H \cdot q, \quad (2)$$

де H – кількість людей, очікувана в будівлі під час землетрусу; q – ймовірність руйнівного землетрусу (відмови). Якщо прийняти, що величина H пропорційна поверховості будівлі, то умова збалансованості ризику призведе до необхідності знижувати ймовірність відмови пропорційно поверховості.

Сказане дає змогу задавати розрахункові рівні сейсмічного впливу залежно від поверховості висотного будівництва. На розрахункові навантаження для висотних будівель впливають два фактори – вищий термін служби і вищий період резонансних коливань порівняно з об'єктами масового будівництва.

Виконаний аналіз дозволив установити наступне:

розрахунковий сейсмічний вплив зростає на висотні будівлі приблизно на 10% на кожні 5 поверхів понад п'ять. Це зростання зумовлене збільшенням ризику загибелі людей для багатоповерхових будівель;

збільшення впливу має місце тільки для рівня проектного землетрусу. Він зумовлений підвищенням терміну служби висотних будівель порівняно з малоповерховими.

враховуючи, що висотні будівлі належать до числа споруд підвищеної відповідальності, з одного боку, та те, що лімітуючими впливами для них є довгоперіодні землетруси, які не враховані належною мірою в спектральних кривих нормативу, слід рекомендувати виконувати послідовний розрахунок висотних будівель на дію проектного землетрусу та максимального розрахункового землетрусу;

ситуаційна сейсмічність відіграє визначальну роль під час оцінювання рівня сейсмічного впливу і має враховуватися під час проектування висотних будівель.

Висновки та напрямок подальших досліджень: Умови експлуатації багатьох споруд відрізняються від середніх умов експлуатації споруд масового будівництва. Для розрахунку таких споруд необхідне послідовне використання принципів багаторівневого проектування. Отримано рівняння, що визначають зв'язок між розрахунковим прискоренням A і припустимою ймовірністю його перевищення, що дало змогу дослідити залежність розрахункових прискорень від терміну служби споруди T , ступеня відповідальності споруди та ситуаційної сейсмічності на майданчику будівництва.

Встановлено, що: ситуаційна сейсмічність визначальним чином впливає на розрахунковий рівень сейсмічного навантаження; за однієї й тієї самої розрахункової сейсмічності рівень розрахункових прискорень істотно залежить від повторюваності землетрусів, тобто від комбінацій сейсмічної інтенсивності за картами A , B і C . Завдання рівня розрахункового впливу за однією з карт районування, як це прийнято в нормативі для об'єктів масового будівництва, у загальному випадку не можна вважати прийнятним; термін служби споруди істотно впливає на розрахунковий рівень сейсмічного впливу. Під час будівництва споруд зі строком служби 20-30 років, таких як промислові будівлі та споруди для розроблення корисних копалин, опори сотового зв'язку тощо, рівень розрахункового навантаження може бути знижено в 1.5-2 рази залежно від ступеня відповідальності споруди та ситуаційної сейсмічності.

Розглянуто методику оцінки сейсмічного навантаження на висотні будівлі, яка виходить з того, що ймовірність відмови прийнято обирати пропорційною до числа поверхів. При цьому на розрахункові прискорення для висотних будівель впливають два фактори – більш високий термін служби і більш високий період резонансних коливань. Виконаний аналіз дав змогу встановити, що розрахункове сейсмічне навантаження зростає на висотні будівлі приблизно на 10% на кожні 5 поверхів понад п'ять.

Список літератури

1. **Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Мілько К.В.** Будівництво будівель та споруд у сейсмічних районах // Сталій розвиток промисловості та суспільства: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції (22-25 травня 2013 р.). – Кривий Ріг, 2013. – Т. 1. – С. 102-103.
2. **Проектування будівель та споруд у сейсмічних районах / Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, С. О. Попов, Л. В. Кадол, Р. Д. Казнадій** // Розвиток промисловості та суспільства: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції (25-27 травня 2016 р.). – Кривий Ріг, 2016. – С. 173.
3. **Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Казнадій Р.В.** Каркас сейсмостійкої багатоповерхової будівлі // Актуальні питання проблеми створення та експлуатації технічних систем – 2017: Матеріали Міжвузівської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів (21 квітня 2017 р.). – Кривий Ріг, 2017. – С. 63-64.
4. **Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Казнадій Р.В.** Конструктивні методи забезпечення сейсмостійкості будівель // Розвиток промисловості та суспільства: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції (24-26 травня 2017 р.). – Кривий Ріг, 2017. – С. 182.
5. **Використання енергопоглиначів для каркасів будівель і споруд / Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, А. В. Богатинський, М. О. Кравченко** // Современные проблемы строительства. – 2013. – № 16 – С. 47-52.
6. **Остриков Г.М., Максимов Ю.С.** Стальные сейсмокаркасы многоэтажных зданий. – 1985. – 120 с.
7. **Сахаров О.А.** Задание уровня расчетной сейсмической нагрузки при проектировании высотных зданий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2007. – №1. – С. 16-19.
8. **Давыдова Г.В., Белаш Т.А., Сахаров О.А.** Модель сейсмического воздействия для статистического моделирования колебаний сейсмоизолированных систем // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2009. – № 2. – С. 101-107.
9. **Комплекс исследований для анализа сейсмической надежности эксплуатируемых сооружений / А. А. Долгая, И. О. Кузнецова, А. М. Уздин, О. А. Сахаров** // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 1999. – № 2. – С. 24-26.
10. **Сейсмическое микрорайонирование строительных площадок для сейсмостойкого проектирования зданий и сооружений в сейсмических районах Украины / А. В. Кендзера, К. В. Егунов, Н. Г. Марьенков и др.** // Наука та будівництво. – 2015. – № 4. – С. 12-18.
11. **Обозов В.И., Толстых М.А.** Анализ напряженно-деформированного состояния фундаментной плиты на просадочных грунтах при сейсмических воздействиях // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2011. – № 1. – С. 20-23.
12. **Домбровский Я.И.** Изменение напряженно-деформированного состояния грунта межсвайного пространства при сейсмических воздействиях // Будівельні конструкції. – 2011. – Вип. 75. – Кн. 1. – С. 292-297.
13. **Уздин А.М., Фрезе М.В.** Об эффективности применения экранов в грунте для сейсмозащиты зданий и сооружений // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2011. – № 1. – С. 17-19.
14. **Немчинов Ю.И.** Сейсмостойкость зданий и сооружений. – 2008. – 480 с.
15. **Заалишвили В.Б.** Сейсмическое микрорайонирование территории городов, населенных пунктов и больших строительных площадок. – 2009. – 350 с.
16. **Уздин А.М., Сандович Т.А., Самихмин Аль-Насер-Мохомад.** Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений. – 1993. – 176 с.
17. **Павленко О.В.** Сейсмические волны в грунтовых слоях: нелинейное поведение грунта при сильных землетрясениях последних лет. – 2009. – 260 с.
18. **Вознесенский Е.А.** Динамическая неустойчивость грунтов: монография. – 2014. – 264 с.
19. **Степанчук Н.В., Червинский Я.Н.** Влияние армирования грунтов на изменение напряженнодеформированного состояния грунтового массива при сейсмических воздействиях // Будівельні конструкції. – 2011. – Вип. 75. – Кн. 2. – С. 622-630.
20. **Ишихара К.** Поведение грунтов при землетрясениях. – 2006. – 384 с.
21. **Ставницер Л.Р.** Сейсмостойкость оснований и фундаментов: монография. – 2010. – 448 с.
23. **Preistley M.J.N., Calvi G.M., Kowalsky M.J.** Displacement-Based Seismic Design of Structures. – 2007. – 721 p.
23. **Verruijt A.** Soil Dynamics. – 2009. – 427 p.
24. **Zotsenko N., Vynnykov Yu., Zotsenko V.** Soil-cement piles by boring-mixing technology. – Energy, energy saving and rational nature use. – 2015. – P. 192-253.
25. **ДБН В.1.1 – 14:2014.** Будівництво у сейсмічних районах України. – 2014. – 110 с.

**АНАЛІЗ ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ ВІРТУАЛЬНОГО НАВЧАЛЬНОГО
СЕРЕДОВИЩА ВНЗ**

Мета роботи. Освітнє середовище сьогодні стрімко змінюється у зв'язку з новими реаліями та новими потребами в освіті. Одним з найбільш затребуваних в даний час напрямів інноваційної діяльності є організація навчання засобами віртуального освітнього середовища. Метою роботи є теоретичне обґрунтування використання систем віртуального навчального середовища у навчальному процесі на кафедрі ВНЗ III-IV р.а.

Методи дослідження. На різних етапах наукового пошуку використано основні методи наукового пізнання: теоретичні - вивчення, узагальнення, систематизація та аналіз науково-методичної та психолого-педагогічної літератури з проблеми дослідження, емпіричні - порівняльні - для констатування стану розв'язання проблеми

Наукова новизна. Отримали подальший розвиток використання віртуального середовища у навчальному процесі на кафедрі ВНЗ III- IV р.а.

Практичне значення. Інтеграція освіти України в освітній простір Європи неминуче спричиняє її модернізацію. Ключовими питаннями цього процесу є впровадження кредитно-модульної системи навчання, використання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) та мережі Інтернет, робиться акцент на самостійну роботу студентів, інноваційну діяльність викладацького складу ВНЗ. Стрімкий розвиток ІКТ змінює погляд на віртуальне навчання, яке все більше представляє собою реальне навчання перенесене у віртуальну площину. За таких умов ефективним засобом, що дозволяє підвищити процес підготовки фахівців є віртуальні середовища (ВНС). Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці рекомендацій по впровадженню систем віртуального навчального середовища у навчальному процесі на кафедрі ВНЗ III-IV р.а.

Результати. В результаті досліджень проведено аналіз досвіду використання віртуального навчального середовища ВНЗ; проведено дослідження особливостей застосування віртуального навчального середовища; розроблено рекомендації по впровадженню віртуального навчального середовища у навчальному процесі на кафедрі ВНЗ III-IV р. а.

Ключові слова: інформаційно-комунікаційні технології, інтеграція, віртуальне навчання, дистанційне навчання, середовище, викладач, платформа, вищий навчальний заклад.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-17-22

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Одним із основних напрямів реформування освіти в Україні є системний підхід до технологічних і інноваційних змін, що вимагає широкого впровадження діяльнісного навчання, компетентнісного підходу, проектної діяльності, інноваційно-комунікативних технологій тощо. При такому підході формується навчальне середовище з прогресивними педагогічними технологіями навчання, яке сприяє формуванню особистості майбутнього спеціаліста з новим світобаченням, інноваційним мисленням, активного та творчого, здатного постійно вчитись. Ці технології, в свою чергу, передбачають необхідність розробки не тільки специфічної системи заходів, засобів і способів їх побудови та впровадження, але й контролю результатів їх застосування, тобто контролю якості навчання, виховання і в цілому - підготовки спеціаліста на усіх етапах та ступенях освіти.

Аналіз досліджень і публікацій. Проблема теорії і практики дистанційного навчання та застосування інформаційних технологій у навчальному процесі розглядалася в роботах Є.С. Полат, М.Ю. Бухаркіної, М.В. Моїсєєвої, В.Г. Домрачева, С.О. Щенникова; О.О. Андрєєва, В.Ю. Бикова, М.І. Михальченка, Л.О. Лещенка, В.В. Олійника, Л.Л. Ляхоцькій, С.М. Сисоєвої, П.М. Таланчука, В.О. Гравіта, О.М. Самойленка; В.В.Олійника, С.І. Синенка, Л.П. Пуховській, Л.І. Даниленка, М.І. Романенка, О.Б. Проценка.

Постановка задачі. Провести аналіз досвіду використання віртуального навчального середовища ВНЗ; провести дослідження особливостей застосування віртуального навчального середовища.; розробити рекомендації по впровадженню віртуального навчального середовища у навчальному процесі на кафедрі ВНЗ III-IV р. а.

Викладення матеріалу та результати. Використання віртуальних навчальних середовищ в Україні. В останній час велика кількість ВНЗ почала використовувати дистанційне навчання на основі віртуального навчального середовища.

В Національному університеті "Львівська політехніка" для реалізації системи дистанційного навчання за основу вибрано інформаційну систему Віртуальне навчальне середовище Львівської політехніки (ВНС ЛП) [1], яке є сукупністю системи дистанційного навчання, комп'ютер-

них та комунікаційних засобів [2-4], яке дає змогу урізноманітнити форми набуття знань і умінь [2], які необхідні для ефективної соціальної та професійної діяльності майбутнього спеціаліста. Ця система повністю забезпечує вимоги інформаційної підтримки навчального процесу, дає змогу проводити різні види занять, проводити консультації, забезпечувати контрольні заходи з інтеграцією до неї таких систем, як Деканат, Навчальні плани, Електронна бібліотека та Розклад згідно з розробленою структурою.

Для розширення інтерактивних можливостей Віртуального навчального середовища Львівської політехніки для проведення онлайн- та офлайн-лекцій, практичних, семінарських занять та консультацій у формі вебінарів для студентів денної і дистанційних форм навчання запущено сервер OpenMeeting та інтеграція його у ВНС ЛП.

У Тернопільському державному медичному університеті ім. І.Я. Горбачевського було створено відділ віртуальних навчальних програм [5]. Завдання цього відділу є створення та впровадження навчального програмного забезпечення для кафедр університету та подальшого використання студентами у навчально-практичній роботі, створення бази віртуальних навчальних програм та апробація та вдосконалення розроблених віртуальних навчальних програм.

Основні функції відділу:

- розроблення навчального віртуального забезпечення;
- моніторинг вже існуючих віртуальних навчальних програм, розроблених іншими ВНЗ;
- вдосконалення створеного віртуального навчального забезпечення;
- розробка віртуальної бази матеріалів для створення навчального матеріального забезпечення;
- впровадження віртуальних навчальних програм в навчальний процес університету;
- подання заяв на реєстрацію авторських прав на розроблювані віртуальні навчальні матеріали.

На даний час створено віртуальні навчальні програми для вивчення лексичних одиниць різних спеціальностей професійного спрямування. Використовується середовище Macromedia Director

Багато робіт присвячені використанню системи MOODLE для створення віртуального навчального простору ВНЗ [6, 10-13].

Запровадження дистанційних технологій у навчальний процес, як показує досвід Львівської комерційної академії (ЛКА), може відбуватися на базі децентралізованого підходу, який спрямований на формування локальних навчальних центрів при кафедрах, готових до застосування сучасних інформаційних технологій у навчально-методичному забезпеченні самостійної роботи студентів [7,8]. Ефективність обраного підходу можна пояснити прискоренням відпрацюванням та запровадженням аналізованих технологій, базованих на використанні перевірених світовою практикою "відкритих" інструментальних засобів, які забезпечують студентам належний доступ до створених електронних навчально-методичних матеріалів у зручний для них час. Запропонована методика дозволяє підвищити якість навчання, з одного боку, за рахунок залучення найбільш підготовлених до цієї справи викладачів і спеціалістів високого класу і, з іншого, - корекції (адаптації) технологій дистанційного навчання залежно від рівня підготовки та психологічних особливостей студентів.

Для створення веб-центру ЛКА проаналізовані відомі віртуальні навчальні середовища. Показано що, певні переваги має система MOODLE - модульного об'єктно-орієнтованого дистанційного навчання [8, 9]. Вона спрямована на створення веб-сайтів і дистанційних курсів, розповсюджується безкоштовно як Open Source-проект і дозволяє копіювати, використовувати і змінювати програмний код. Система Moodle має такі риси:

- придатна як для дистанційного, так і для очного навчання;
- спроектована з урахуванням адаптації до можливих способів взаємодії між студентами і викладачами;
- має "легкий", ефективний, сумісний web-інтерфейс;
- проста установка на будь-яку платформу, що підтримує PHP, для роботи необхідна тільки одна база даних підтримує такі бази даних: MySQL, PostgreSQL, MSSQL, Oracle, Foxpro, Access, Interbase, ADO, Sybase, DB2 і ODBC.

В ЛКА розроблено і впроваджено кафедральне навчальне середовище для самостійної роботи студентів. Навчальний центр кафедри базується на спеціальному порограмному забезпеченні: web-сервер Apache, СУБД MySQL та мові PHP. Сьогодні саме ці інструментальні засоби є найпоширенішими в розробці основних Internet-застосувань.

В статті показано, що, запровадження у ВНЗ новітніх педагогічних технологій можна розглядати як двохетапний процес, що базується на децентралізованому підході. Першим етапом є впровадження НЦ кафедри з подальшою роботою по наповненню віртуального середовища ГТ навчально-методичними матеріалами. Після завершення першого етапу (або паралельно з ним), коли є передумови не лише забезпечувати належну самостійну роботу студентів, але і застосовувати створені е-матеріали для проектування дистанційних курсів, можна розпочати другий етап. Впровадження дистанційних технологій може забезпечуватися на основі веб-центру кафедри [10].

В роботі [11] наведено приклад використання системи MOODLE для тестування при підготовці підготовці фахівців соціальної сфери в Інститут психології та соціальної педагогіки Київського університету імені Бориса Грінченка. Зроблено висновок, що впровадження електронних технологій в освітній процес показує, що ці технології є досить ефективним засобом підвищення якості навчання, але тільки за умови системного підходу до їхнього впровадження й постійного вдосконалювання.

Методичний посібник [13] присвячений розгляду системи електронного навчання на базі MOODLE, що створена у Черкаському державному технологічному університеті.

Використовують MOODLE для підтримки дистанційного навчання, також такі вітчизняні заклади вищої освіти, як: Києво-Могилянська академія, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Інститут інформатики Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова (м. Київ). Більшість обласних інститутів після дипломної педагогічної освіти обрала цю платформу, про це свідчить інформація сайтів даних навчальних закладів.

Розробка середовища «Веб-клас ХІІІ» була розпочата ще у 1999 році на базі Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» під керівництвом В.М. Кухаренка та М.В. Савченка. Віртуальне навчальне середовище призначене для забезпечення основних педагогічних технологій дистанційного навчання. Для роботи адміністратора системи, тьютора, автора курсу та студента використовується єдиний інтерфейс українською, російською та англійською мовами. На сьогодні вище зазначене ВНС активно використовують при підвищенні кваліфікації в Університеті менеджменту освіти НАПН України кафедрою кафедри відкритих освітніх систем та ІКТ.

Для узагальнення результатів досліджень сформована табл.1.

Таблиця 1

Використання віртуального навчального середовища ВНЗ України

Вищий навчальний заклад	Віртуальне навчальне середовище
Національному університеті "Львівська політехніка"	Віртуальне навчальне середовище Львівської політехніки
Тернопільському державному медичному університеті ім. І.Я.Горбачевського	Середовище Macromedia Director
Львівська комерційна академія (ЛКА)	Система MOODLE
Інститут психології та соціальної педагогіки Київського університету ім. Бориса Грінченка	Система MOODLE
Черкаський державний технологічний університет	Система MOODLE
Києво-Могилянська академія (м. Київ)	Система MOODLE
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» (м. Київ)	Система MOODLE
Криворізький національний університет	Система MOODLE
Інститут інформатики Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова (м. Київ)	Система MOODLE
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»	«Веб-клас ХІІІ»
Університет менеджменту освіти НАПН	«Веб-клас ХІІІ»

Як видно з табл.1 більшість з проаналізованих Українських ВНЗ використовують в якості віртуального навчального середовища систему MOODLE.

Використання віртуальних навчальних середовищ за кордоном. Аналіз технологій дистанційного навчання у вищій школі країн Європи та Північної Америки показав [14, 15], що у ВНЗ Ісландії переважно використовується канадське віртуальне навчальне середовище WebCT, а в Іспанії для взаємодії студентів і викладачів на кафедрі інформаційних систем Відкритого університету Каталонії створено власну систему викладання і підтримки електронного навчання на

базі Інтернету під назвою «Віртуальне студентське містечко» (The Campus Virtual TM). Система забезпечує створення ефективного середовища для теле- і електронного навчання, включаючи низку функцій, які уподібнюють структуру відкритого і традиційного університетів. Ці функції дають можливість доступу до інтерактивних навчальних матеріалів, бібліотеки загальної навчальної інформації, до інформаційної служби студентського менеджменту і взаємодію з викладачами та іншими студентами через спеціально підготовлені канали зв'язку для проведення форумів, е-бесід.

У 54 вищих навчальних закладах Норвегії найпопулярнішим є вітчизняне віртуальне навчальне середовище «ClassFrontier», інші власні розробки, а також зарубіжні ВНС «Luvit», «It's Learning», «First Class», «Karb», «WebCT», «BlackBoard» і «LearningSpace», «TopClass», «TeamWave», «Response» [16]. Розробка вітчизняного програмного забезпечення у Норвегії фінансується Міністерством освіти і науки. Усі державні навчальні заклади мають доступ до цього ВНС. Вартість обслуговування і подальший розвиток розподілені між навчальними закладами-користувачами віртуального навчального середовища. Багато ВНС вже використовують у своїй роботі електронний прийом студентів, оплату, оцінювання знань.

З метою встановлення міцних зв'язків між усіма учасниками навчального процесу в Національному центрі дистанційного навчання у 1997 р. в Інтернеті було створено платформу «Університетське електронне містечко» (le Campus Electronique). Його інформаційні і довідкові служби доступні всім: від користувача домашнього комп'ютера до висококваліфікованого спеціаліста у Франції або будь-якій іншій країні, де є Інтернет; тим, хто хоче навчатися, отримати консультацію, перевірити рівень своїх знань або займатися самоосвітою. Крім французької мови іноземні користувачі можуть вибрати версії на англійській та іспанській мовах.

У Швеції в основному використовують зарубіжне програмне забезпечення для систем менеджменту знань «Levitz», «Mentor», «Telia Instant Education», «Maestro», «FirstClass», «Comenius online», «Lecando», «Librix», «Marratech» і «WebCat» [16]. Багато навчальних закладів використовують вітчизняне програмне забезпечення «PingPong». Усі державні університети використовують ПЗ систем керування студентами «Ladok» або «Ladok Novau», яким володіє консорціум із 37 вищих навчальних закладів Швеції. Обслуговування програмного забезпечення для системи «Ладок» (Ladok) здійснює група обслуговування при університеті Умеа (Umeå), а за локальні системи відповідають інститути, які оплачують роботу серверів, мереж, обладнання і місцеву підтримку. Дані системи «Ладок» доступні для Міністерства освіти та інших агентств, коли готуються річні урядові звіти про стан навчання студентів у всіх закладах, які користуються цією системою.

Серед найбільших університетів, що використовують Sakai, можна назвати Кембриджський університет, Стенфордський університет, Мічиганський університет, Університет Каліфорнії - Берклі, Йельський університет, Московський державний лінгвістичний університет та інші.

В Україні система на сьогодні не набула поширення, тому представляє певний науковий інтерес.

Американські навчальні заклади також використовують вітчизняні віртуальні навчальні середовища.

Для узагальнення результатів досліджень сформована табл.2.

Таблиця 2

Використання віртуального навчального закордонними ВНС	
Вищий навчальний заклад	Віртуальне навчальне середовище
ВНС Ісландії	Середовище WebCT (Канада)
Відкритий університет Каталонії (Іспанія)	The Campus Virtual TM (Іспанія)
ВНС Норвегії	ClassFrontier (Норвегія), Luvit, It's Learning, First Class, Karb, WebCT, BlackBoard, LearningSpace, TopClass, TeamWave, Response
ВНС Франції	le Campus Electronique (Франція)
ВНС Швеції	PingPong (Швеція), Ladok (Швеція), Ladok Novau (Швеція), Levitz, Mentor, Telia Instant Education, Maestro, FirstClass, Comenius online, Lecando, Librix, Marratech, WebCat
Кембриджський університет	Sakai
Стенфордський університет	Sakai
Мічиганський університет	Sakai
Берклі	Sakai
Єльський університет	Sakai
Університет Норвіч (США)	LearningSpace (США)
Віртуальний університет Кентуккі (США)	Rapid Course Development and Delivery System, RCDDS (Eduprise, США)

Як видно з табл.2 європейські навчальні заклади використовують в роботі власні розробки ВНС або зарубіжні, а північноамериканські – власні або вітчизняні. Використання вітчизняних ВНС, дає можливість знизити витрати на підготовку й обслуговування системи віртуального навчання.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Переважна більшість з проаналізованих Українських ВНЗ використовують в якості віртуального навчального середовища систему MOODLE. Європейські навчальні заклади використовують в роботі власні розробки ВНС або зарубіжні, а північноамериканські – власні або вітчизняні. Використання вітчизняних ВНС, дає можливість знизити витрати на підготовку й обслуговування системи віртуального навчання. Враховуючи досвід провідних університетів всього світу, можна встановити напрямки подальшого вдосконалення не тільки методів реалізації дистанційного навчання, але й також комплексної організації всього навчального процесу і розвитку новітніх педагогічних технологій.

Список літератури

1. **Федасюк Д. В., Озірковський Л.Д.** Використання віртуального навчального середовища Львівської політехніки для організації дистанційного навчання // Львів: Видавництво Львівської політехніки. – 2012. – С. 34-39.
2. **Федасюк Д.В., Озірковський Л.Д.** Віртуальне навчальне середовище Львівської політехніки // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Інформатизація вищого навчального закладу". – 2011. – С. 25-32.
3. Інновації у впровадженні інформаційних технологій в освітній процес у Національному університеті "Львівська політехніка" // XIII Міжн. виставка навчальних закладів "Сучасна освіта в Україні 2010" / Укл.: **В.А. Павлиш, Д.В. Федасюк, А.Г. Загородній, З.Г. Піх, А.З. Піскозуб, Д.О. Тарасов, Л.Д. Озірковський**; За заг. ред. Ю. А. Бобала. - Л.: Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка". – 2010. – 60 с.
4. Створення електронних навчальних дисциплін у віртуальному навчальному середовищі Львівської політехніки: Посібник / Укл.: **Д.В. Федасюк, Л.Д. Озірковський, В.М. Якубенко**. - Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", – 2009. – 60 с.
5. **Коцюба Р.Б.** Використання віртуальних навчальних програм при вивченні іноземної мови професійного спрямування // Інформаційні технології і засоби навчання. Том 37, №5. – 2013. – С. 43-50.
6. **Артеменко В.Б., Ноздріна Л.В., Полотай О.І., Карпа А.Г., Ящук В.І., Масюк І.І.** Досвід запровадження технологій дистанційного навчання. // Менеджмент малого і середнього бізнесу: управління знаннями / Матер. щостої міжнар. наук.-практ. конф., м. Севастополь, 24-28 вересня 2007 р. – Севастополь: Вид-во СевНТУ, – 2008. – С.15-19.
7. **Артеменко В.Б., Ноздріна Л.В., Зачко О.Б.** Розробка і запровадження центру дистанційного навчання при кафедрі "ІС у менеджменті" // Нові інформаційні технології у самостійній роботі студентів: Матеріали навчально-методичної конф. -Львів: вид-во Львівської комерційної академії. – 2003. – С.23-31.
8. **Артеменко В.Б., Ноздріна Л.В.** Досвід створення навчального Веб-центру при кафедрі // Образование и виртуальность. Выпуск 7 - 2003 года. Под общ. ред. В.А. Гребенюка и В.В. Семенца. – Харьков-Ялта: УАДО, ХНУРЕ, 2003. - С.81-86: Режим доступу: <http://virt.kture.kharkov.ua/2003/papers/2.06.pdf>.
9. A Free, Open Source Course Management System for Online Learning – Moodle. Режим доступу:<http://moodle.org/>.
10. **Ящук В.І., Артеменко В.Б., Ноздріна Л.В., Зачко О.Б.** Розробка і впровадження кафедрального навчального середовища для комп'ютерної підтримки самостійної роботи студентів // Соціально-економічні дослідження в перехідний період. Ринкові перетворення в Україні в умовах світових інтеграційних процесів (Збірник наукових праць). – Вип. 6 (LVI) / НАН України, Інститут регіональних досліджень. – Львів. – 2005. – С.96-102.
11. **Буйницька О. П.** Використання віртуального навчального середовища при підготовці фахівців соціальної сфери // Соціальна робота в Україні: теорія і практика (1) Інституційний репозиторій Київського університету імені Бориса Грінченка. – 2012. – С. 183-190. Режим доступу: <http://elibrary.kubg.edu.ua/647/>
12. **Билик В. В., Мячин Д. А., Федорова Т. Н.** Виртуальная образовательная среда таможенного вуза как инструмент перехода к болонской системе образования. Режим доступу: <http://www.spbrca.ru/Chtenia/2009/1/Bilik.pdf>.
13. **Ю.В. Триус, І.В. Герасименко, В.М. Франчук.** Система електронного навчання ВНЗ на базі MOODLE // Методичний посібник / Черкаси 2012. – 220 с.
14. **Шуневич Б. І.** Тенденції розвитку дистанційного навчання у зарубіжній вищій школі // К.: Вид-во Міленіум. – 2006. – Вип. 2. С. 15-21.
15. **Шуневич Б. І.** Порівняльний аналіз вітчизняних і закордонних віртуальних навчальних середовищ // К.: Видавн.-поліграф. центр „Київ. ун-т”. – 2008. – С. 22-28.
16. **Runnesto R., Ristesund G.** Experiences with Learning Management Systems in Norwegian Universities and Colleges, 2002 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nettskolen.com/forskning/Diploma%20project.pdf>.

О. Є. КУЛІКОВСЬКА, д-р техн. наук, проф., О.Ф. КОВАЛИШИН, д-р екон. наук, проф.,
Р.М. СТУПЕНЬ, д-р екон. наук, доц., І. Ф. РІЙ, канд. екон. наук, доц.
Львівський національний університет природокористування

РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ЕКОМОНІТОРИНГУ КРИВБАСУ ДЛЯ КАРТОГРАФУВАННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

Мета. Дослідження можливостей використання сучасних технологій отримання картографічних матеріалів моніторингу і прогнозування розвитку екологічних змін довкілля Кривбасу із урахуванням результатів спостереження за викидами небезпечних речовин для навколишнього середовища.

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 геоінформаційних технологій для картування та дослідження небезпечних впливів на довкілля у гірничодобувному регіоні. Інформаційною базою дослідження слугували результати екомоніторингу Кривбасу, монографії, збірники наукових праць, періодичні фахові видання, Інтернет-ресурси.

Наукова новизна. Показано можливості застосування сучасних програмних методів опрацювання і картографування даних екомоніторингу, які забезпечують оперативне автоматизоване отримання картографічних матеріалів із заданою точністю і необхідним обсягом інформації щодо виявлення небезпечних територій для населення у крупному промисловому місті.

Практична значимість. Визначається цільовим спрямуванням даного дослідження для потреб фахівців гірничопромислового комплексу Криворізького регіону та громади міста Кривого Рогу. Запропонований підхід для картографування змін розповсюдження шкідливих для здоров'я населення за ступенем загрози стане допоміжним матеріалом для початку дослідницької роботи з вивчення просторово-часової зміни довкілля гірничопромислових територій Кривбасу та, відповідно, передумовою їх районування на локальному та регіональному рівнях.

Результати. Встановлено, що система моніторингу є складовою частиною національної інформаційної інфраструктури, сумісної з аналогічними системами інших країн. Доведено, що специфічну вагомість при цьому відводиться забезпеченню екологічною інформацією мешканців міста. Рекомендовано створення спеціальних карт, які будучи комплексними за змістом, із спільним зображенням взаємопов'язаних об'єктів і явищ із зазначенням їх характеристик, котрі будуть джерелом інформації для екологічної діагностики. Наведено приклади побудованих карт розповсюдження пилу із використанням сучасного програмного комплексу Surfer міського середовища Кривого Рогу за даними станцій спостережень екологічного моніторингу. Аргументовано положення: з розвитком комп'ютерних технологій автоматизація процесу картування дозволить отримувати коректні та актуальні результати зацікавленим користувачам.

Ключові слова. Картографування, цифрова модель, екомоніторинг, аналіз, екологічна інформація, гірничопромисловий регіон, Кривбас, екологічна безпека, гірничопромисловий комплекс.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-22-31

Проблема і її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Міські території характеризуються своєрідністю географічного положення, рельєфом, ґрунтами, рослинністю, надрами, водами, комплексом екзогенних і ендегенних процесів, і на той же час мають необхідні для життя умови, тобто відповідають потребам людини (біологічним, трудовим, економічним, соціальним та ін.). Друга особливість полягає у виникненні нових властивостей середовища, створених в процесі містобудування або розвитку фінансово-економічних можливостей. Всі ці особливості істотно впливають на вибір місця для будівництва, планувальні рішення забудови, на забезпечення необхідного комфорту, на створення сприятливих мікрокліматичних умов, естетично виразного міського середовища, визначають комплекс нових властивостей міської території [1-4, 14, 15]. Тому визначення як природних, так і антропогенних компонентів характеризують привабливість міста, впливають на створення образу міського середовища, на її територіальну диференціацію. Особливе значення у дослідженнях в такому аспекті посідає місто Кривий Ріг, яке є великим промисловим центром, центром розробки Криворізького залізничного басейну із 1881 року. Тому для великомасштабного аналізу та підняття рівня вивчення і знань про екологічний стан довкілля потрібне комплексне вивчення цих факторів. Відповідно, основним завданням є збір якомога більшої кількості даних, які пізніше дозволять забезпечити реалізацію державної політики у сфері регулювання негативного антропогенного впливу на навколишнє середовище [5-9].

Аналіз досліджень і публікацій. Практика застосовування різноманітних технологій для картування та дослідження екологічних параметрів вказує на велику поширеність методів просторового розгляду та статистичного інструментарію. За останні роки було розроблено різні методи комплексного аналізу навколишнього середовища з метою прогнозування впливу на безпечну життєдіяльність. Загальноприйняті методики базуються на створенні тривимірних моделей досліджуваних територій за допомогою фотограмметричної обробки даних дистанційного зондування, наземної або повітряної лазерної зйомки, GNNS- картування, спеціальних автоматизованих станцій спостережень, ГІС-технологій [16]. Наприклад, авторами [8, 22] запропоновано використовувати при визначенні зон екологічного ризику методику синтезу зони екологічного ризику на основі багатокритеріального вибору, також в роботі одержано статистичні дані інтенсивності надзвичайних ситуацій. Обговорено деякі екологічні проблеми Кривбасу, їх стан та ймовірні перспективи в працях [17, 21].

Постановка задачі. З метою оцінки стану навколишнього середовища Кривого Рогу, забезпечення конституційного права людини на безпечне для її життя та здоров'я довкілля, створена і функціонує система моніторингу довкілля [6, 19]. Система моніторингу є складовою частиною національної інформаційної інфраструктури, сумісної з аналогічними системами інших країн. Загалом, система моніторингу – це відкрита система, пріоритетами функціонування якої є захист життєво важливих екологічних інтересів людини і суспільства; збереження природних екосистем; відвернення кризових перемін екологічного стану довкілля і запобігання надзвичайним екологічним станам. Отже, моніторинг довкілля є засобом природоохоронної поведінки, що здійснюється відповідно до екологічних передбачень [11, 13, 16, 20].

Якщо система моніторингу спрямована на: підняття рівня вивчення і знань про екологічний стан довкілля; підвищення оперативності та якості обслуговування користувачів на всіх щаблях; підвищення якості обґрунтування природоохоронних заходів та ефективності їх здійснення, то є доцільними завданнями такої системи організація тривалих систематичних спостережень за станом довкілля із інформаційно-аналітичною допомогою прийняття рішень міської влади у галузі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки. Специфічну вагомість при цьому відводиться забезпеченню екологічною інформацією мешканців міста.

Створення спеціальних карт, будучи комплексними за змістом, із спільним зображенням взаємопов'язаних об'єктів і явищ із зазначенням їх характеристик, буде джерелом інформації для екологічної діагностики.

Викладення матеріалу та результати. В Україні у 1992 році розпочалося розроблення системи екологічного моніторингу відповідно до Закону «Про охорону навколишнього природного середовища» [12] та Постанови КМ «Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» [17]. Моніторинг передбачає спостереження за довкіллям, збирання, опрацювання і оцінювання, отриманих даних та прогнозування його стану, формування певних баз інформації, розроблення на їх основі обґрунтованих природоохоронних заходів, передбачення надзвичайних ситуацій антропогенного, природного характеру, створення гарних умов життя людини.

Статтею 33 Закону України «Про місцеве самоврядування в Україні» [13]. делеговано повноваження органам місцевого самоврядування щодо створення та забезпечення функціонування місцевих екологічних автоматизованих систем, які є складовою мережі загальнодержавної екологічної автоматизованої інформаційно-аналітичної системи забезпечення доступу до екологічної інформації (табл. 1).

Відомо, що атмосферне повітря є одним із найважливіших природних ресурсів, від якості якого в великій мірі залежить, як стан навколишнього осередку, так і здоров'я людини. Оцінка стану забруднення атмосферного повітря в містах України здійснюється за даними спостережень державної системи моніторингу. Під час визначення забруднення повітря міст та селищ дозволеним та нешкідливим для здоров'я людей рахується рівень, при якому концентрації забруднюючих речовин, а також сумарні показники забруднення не перевищують встановлені гігієнічні норми допустимого вмісту (ГДК). Максимальна концентрація забруднюючих речовин в атмосфері це найбільша концентрація, при дії якої у житті людини не виникає прямого або опосередкованого непридатного впливу на нинішнє і майбутнє покоління, не знижується працездатність людей, не погіршується їх самопочуття та санітарно-побутові умови буття [9].

Склад екологічної інформації, що знаходиться в компетенції організацій і підприємств [17]

Підрозділи Міністерства природних ресурсів	Екологічна інформація
Державне агентство земельних ресурсів України	Забезпечує реалізацію державної політики у сфері земельних відносин та топографо-геодезичної і картографічної діяльності
Державне агентство лісових ресурсів України	Забезпечує реалізацію державної політики у сфері лісового та мисливського господарства
Державне агентство рибного господарства України	Утворюється для реалізації державної політики у сфері рибного господарства та рибної промисловості, охорони, використання та відтворення водних живих ресурсів, регулювання рибальства
Державна екологічна інспекція України	Забезпечує реалізацію державної політики із здійснення державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання, відтворення і охорони природних ресурсів
Державна служба геології та надр України	Забезпечує реалізацію державної політики у сфері геологічного вивчення та раціонального використання надр
Державне агентство екологічних інвестицій України	Забезпечує реалізацію державної політики у сфері регулювання негативного антропогенного впливу на зміну клімату та адаптації його до змін і виконання Рамкової конвенції ООН про зміну клімату та Киотського протоколу до неї

За інформацією Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського у I півріччі 2020 року оцінка стану забруднення атмосфери проводилася у 39 містах на 129 стаціонарних постах державної системи моніторингу гідрометеослужби [17, 21].

Наприклад, у I півріччі 2020 р. рівень забруднення повітря (за комплексним індексом забруднення атмосфери ІЗА) оцінювався як дуже високий у Маріуполі. У 10 містах України рівень забруднення характеризувався, як високий – це Кам'янське, Одеса, Дніпро, Кривий Ріг, Київ, Миколаїв, Херсон, Черкаси, Запоріжжя, Кременчук. У 11 містах відмічався підвищений рівень забруднення, у 17 – низький (рис. 1).

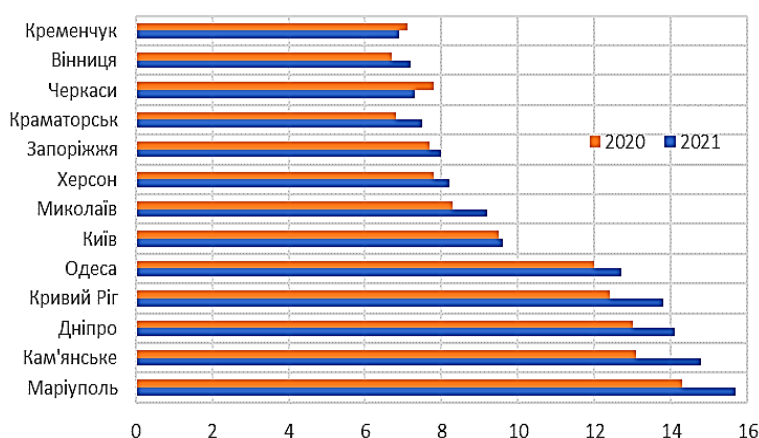


Рис. 1. Індекс забруднення атмосфери * (ІЗА)

Якщо порівнювати з попереднім роком, то у 16 містах відбулося зниження цього рівня. Для Кривого Рогу зміна складає 5% (2019 р. – 12,7; I півріччя 2020 р. – 12,0).

Кривий Ріг – єдине місто у Дніпропетровській області, де впроваджена і функціонує автоматизована система моніторингу за станом повітря [18]. Основною метою автоматизованої системи моніторингу є безперервні виміри концентрацій забруднюючих речовин і метеорологічних параметрів атмосферного повітря жилої зони міста Кривого Рогу. Для спостереження за станом атмосферного повітря у місті введено в експлуатацію 5 міських та 23 автоматизованих постів промислових підприємств (рис. 2).

Спостереження здійснюються за 6 забруднюючими речовинами: діоксид азоту (NO_2), оксид азоту (NO), сірчаний ангідрид (SO_2), оксид вуглецю (CO), аміак (NH_3), сірководень (H_2S), пил. Крім того, на ПАС №3 та ПАС №5 здійснюється спостереження за етаном (C_2H_6) та озоном (O_3) [21].

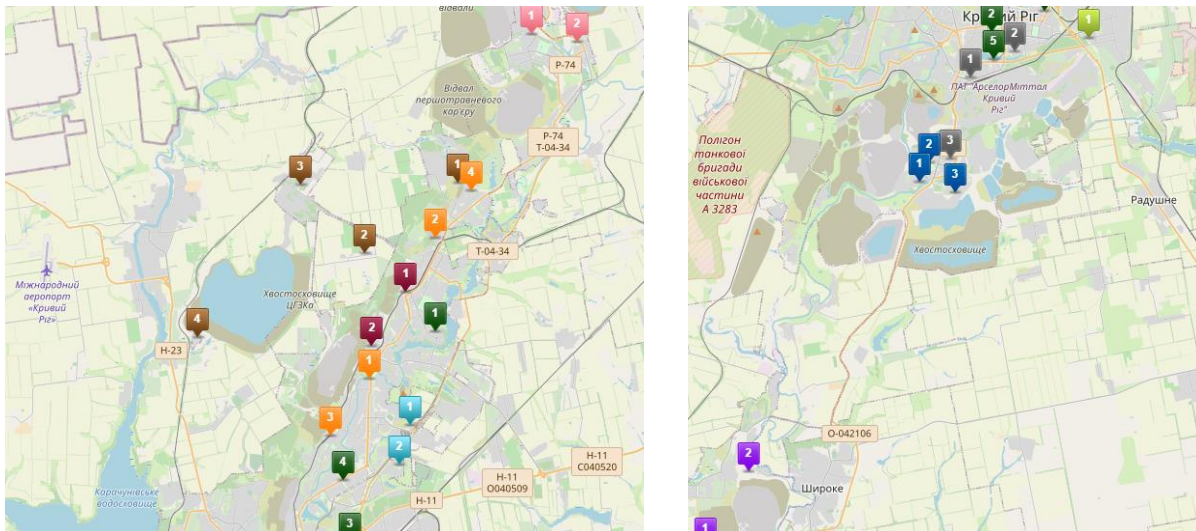


Рис. 2. Карта міста із автоматизованими постами моніторингу: північна частина (ліворуч) і південна (праворуч) [18]

У 2018 р. проведено повірку, обслуговування, модернізацію міських стаціонарних постів автоматичного спостереження та обробки показників якості атмосферного повітря для їх належного функціонування.

На теперішній час у місті функціонує також і державна система моніторингу за станом атмосферного повітря, яка представлена 6 постами, що експлуатуються Лабораторією спостережень за станом атмосферного повітря м. Кривий Ріг Дніпропетровського регіонального центру з гідрометеорології (5 постів) та відокремленим структурним підрозділом «Криворізький міський відділ лабораторних досліджень Державної установи «Дніпропетровський обласний лабораторний центр Міністерства охорони здоров'я України» (1 пост, Покровський район).

Також відокремленим структурним підрозділом «Криворізький міський відділ лабораторних досліджень Державної установи «Дніпропетровський обласний лабораторний центр Міністерства охорони здоров'я України» здійснюються моніторингові дослідження атмосфери на трасах міста: - перехрестя вул. Ф. Караманця та вул. Конституційна; кільце 95 кварталу (пр. Гагаріна); кільце автовокзалу (вул. Дніпровське шосе); кільце площі Володимира Великого; площа Визволення [18].

З метою поліпшення та розширення існуючої системи моніторингу в м. Кривому Розі щомісячно у 15 точках, які вкривають усі райони міста, проводяться лабораторні дослідження якості атмосферного повітря. Крім того, здійснюється спостереження якості атмосферного повітря при настанні несприятливих метеорологічних умов, зверненні громадян, проводяться підфакельні виміри вмісту забруднюючих речовин тощо. Замовником даного обслуговування виступає управління екології виконкому Криворізької міської ради, виконавцем – ВСП «Криворізький міський відділ лабораторних досліджень Державної установи «Дніпропетровський обласний лабораторний центр Міністерства охорони здоров'я України».

В он-лайн режимі представлено дані постів автоматизованого спостереження: максимально разових концентрацій із періодичністю в 1 годину та середньодобових концентрацій щодобово, метеорологічних параметрів (напрямок вітру, швидкість вітру, температура, тиск) щогодини [18]. Автоматизований пост із онлайн реєстрацією забезпечує доступ цієї інформації для населення.

На електронній карті міста показано місця розташування автоматизованих постів спостереження. Відкритий для загального користування модуль має накопичувальні дані екологічного змісту для кожного мешканця міста Кривого Рогу, сприяє посиленню відповідальності суб'єктів.

Відповідно до свого призначення міська автоматизована система екологічного моніторингу міста Кривий Ріг вирішує наступні завдання: збір первинної інформації з постів хімічного і метеорологічного контролю, створення і ведення баз даних про стан і забруднення атмосферного повітря на території міста; отримання даних, що дозволяють аналізувати ефективність природоохоронних заходів.

Міська автоматизована система моніторингу призначена для безперервного контролю концентрацій забруднюючих речовин і забезпечує: вимірювання параметрів хімічної обстановки з чутливістю, що дозволяє реєструвати її перемини; вимірювання параметрів метеорологічної ситуації; оперативне виявлення і сигналізацію про настання порогових та надпорогових концентрацій шкідливих речовин; вимірювання і реєстрацію метеорологічних параметрів в місцях спостереження; збір, опрацювання і відображення даних про стан атмосферного повітря м. Кривого Рогу, як складової навколишнього природного середовища; забезпечення передачі даних на автоматизоване робоче місце та в online-режимі на портал «Криворізький ресурсний центр» до модулю «Екомоніторинг» [18].

На нижньому рівні розташовані пости автоматизованого спостереження за станом атмосферного повітря, в яких знаходяться обладнання для збору, первинного опрацювання та передачі даних в верхній рівень системи. Обладнання представляє собою набір спеціалізованих засобів вимірювання атмосферного повітря: газоаналізаторів, пиломірів, метеостанцій. Автоматизована система моніторингу за станом атмосферного повітря складається з двох рівнів: нижній рівень та верхній рівень (рис. 3, 4).

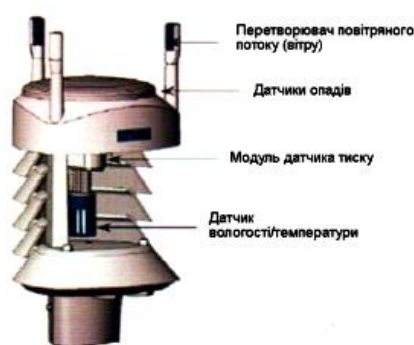


Рис. 3. Метеостанція



Рис. 4. Пиломір

Тенденція до зменшення рівня викидів забруднюючих речовин, індексу забруднення атмосферного повітря, середньорічних концентрацій свідчить про позитивні результати охорони довкілля (рис 5). Обсяг викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря міста у 2020 році зменшено на 31,5% у порівнянні з 2015 роком, що є базовим показником згідно Закону України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», в порівнянні з 2019 роком - на 17%.

Зменшенню показників концентрацій пилу та інших забруднюючих речовин в атмосферному повітрі сприяє постійний контроль з боку міського голови, депутатів міської ради, представників громадських екологічних організацій за виконанням у встановлені терміни промисловими підприємствами міста заходів Міської програми вирішення екологічних проблем Кривбасу та поліпшення стану навколишнього природного середовища на 2016-2025 роки.

Зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря відбулося на ПрАТ «Південний ГЗК», ПрАТ «Північний ГЗК», ПрАТ «Інгuleцький ГЗК» та ін. Разом з цим, треба зазначити, що у 2020 році порівняно з 2019 роком, збільшили викиди: підприємство «Арселор-Міттал Кривий Ріг» на 5%, «МЕТІНВЕСТ, Криворізький ремонтно-механічний завод» - на 8%, «Кривий Ріг Цемент» - на 3% (рис. 6).

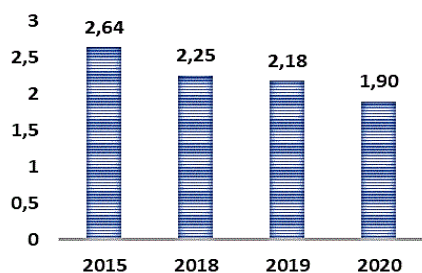


Рис. 5. Показник питомих викидів забруднюючих величин атмосферу, кг/тонна продукції



Рис. 6. Вплив діяльності підприємств ГЗК

На рис. 7 подано діаграму основних забруднюючих речовин повітря у місті, серед яких є оксид вуглецю -77%, пил -13%, діоксид азоту - 5%, діоксид сірки - 4%; інші речовини - 1% (метан, аміак, сірководень, фенол, оксид азоту). Індекс забруднення атмосфери (ІЗА) в абсолютному значенні та у відсотках по відношенню до 2010 р. представлено на рис. 8. Як свідчать результати дослідження відбулося зменшення даного індексу на 13%.

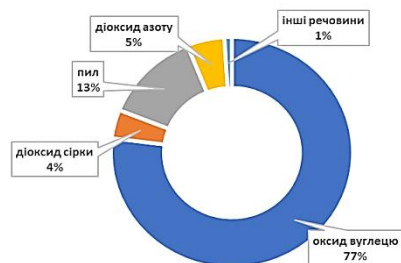


Рис. 7. Основні забруднюючі речовини

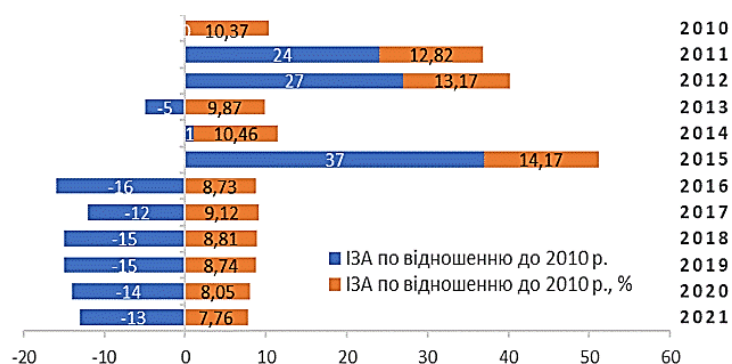


Рис. 8. Індекс забруднення атмосфери * (ІЗА) по відношенню до 2010 р.

Середньорічні концентрації забруднюючих речовин в атмосфері Кривого Рогу за даними державних постів у період 2014-2022 рр. наведено на рис. 9.

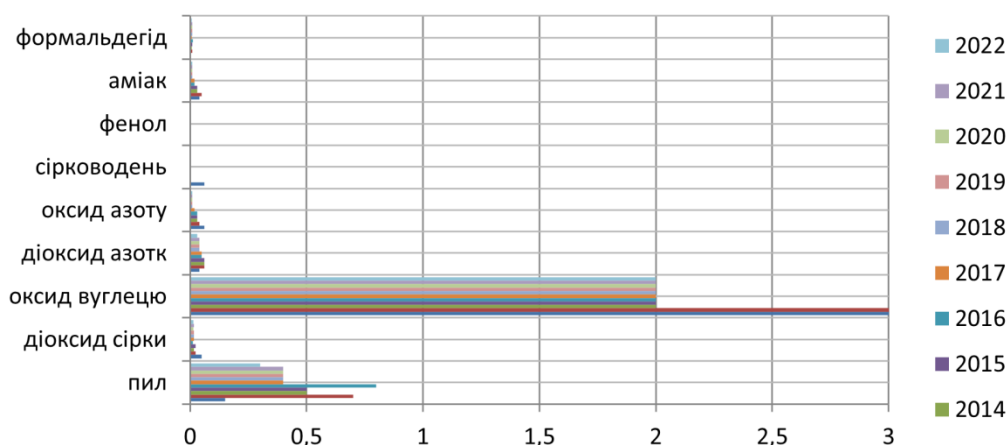


Рис. 9. Середньорічні концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі міста за даними державних постів, $\text{кг}/\text{м}^3$

Незважаючи на позитивне зменшення рівня забруднення атмосферного повітря, фактичні концентрації речовин у місті по пилю, діоксиду азоту, формальдегіду перевищують допустимі значення. Для удосконалення стану атмосферного повітря Міською екологічною програмою визначено комплекс повітроохоронних заходів, реалізація яких дозволить покращити його якість.

Для аналізу та моделювання картографічних явищ, пов'язаних із станом атмосферного середовища міста в дослідженні використано програмний комплекс Surfer. Відображення характеристики стану атмосферного повітря у вигляді спеціальних карт дозволяє наочно одержувати просторову інформацію. Розробка детальних карт відповідних карт для території міста є простою та швидкою. А завдяки потужним інтерполяційним функціям програма створює дуже точні поверхні із найвищою якістю графіки.

Приклади побудованих карт розповсюдження пилю ($\text{мг}/\text{м}^3$) на території міста у липні та жовтні 2022 р. представлено нижче на рис. 10, 11 відповідно.

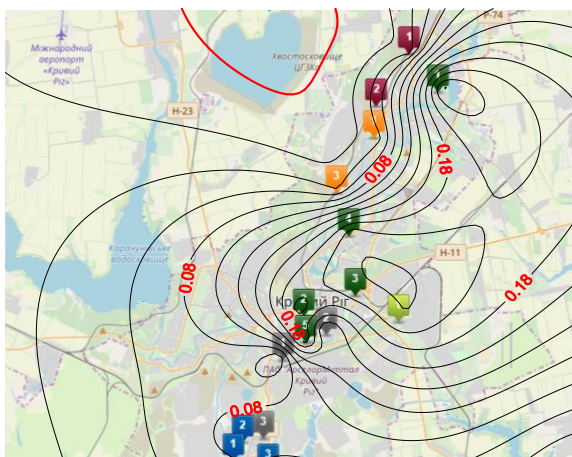


Рис. 10. Карта пилу за середніми значеннями (липень, 2022)

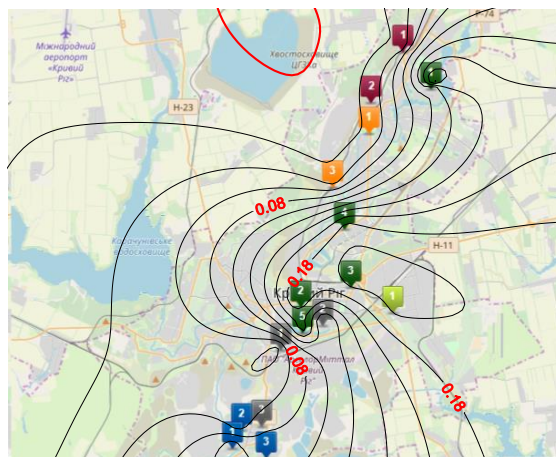


Рис. 11. Карта пилу за середніми значеннями (жовтень, 2022)

Як свідчать результати, найбільша концентрація пилу у повітрі характерна для частини міста, де розміщено підприємства гірничо-збагачувального комплексу, вздовж простягання покладів залізної руди, навколо містоутворюючого підприємства «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Якщо проаналізувати викиди пилу за днями у різні пори року, то графіки (рис. 12, 13) свідчать про те, що значення концентрації викидів не мають залежності від порядкового номеру дня у місяці. Їх величини приблизно однакові. Такий висновок можна зробити на основі аналізу таблиці 2, у якій наводяться відхилення максимальних і мінімальних значень викидів пилу для результатів спостережень за цим показником у листопаді 2021 р. та у червні 2022 р. Найбільше значення відхилення складає 3,7 у відсотках, що є невагомим показником.

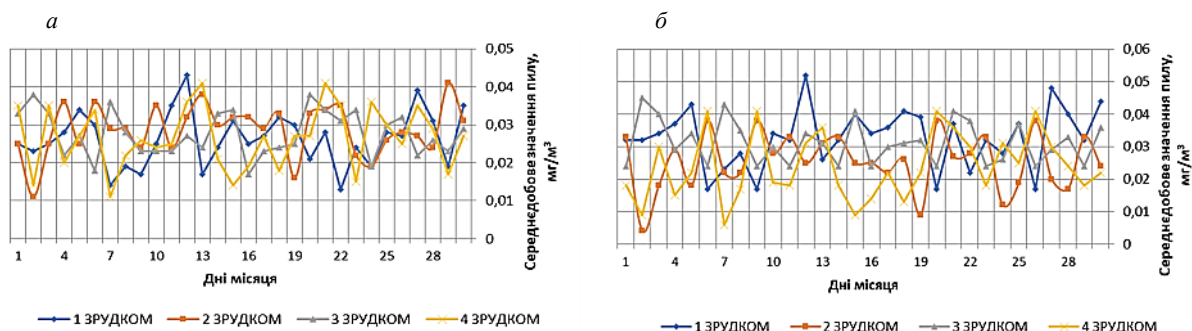


Рис. 12. Викиди пилу за днями у листопаді 2021 р. (а) та червні 2022 р. (б). Дані станції «Залізорудком»

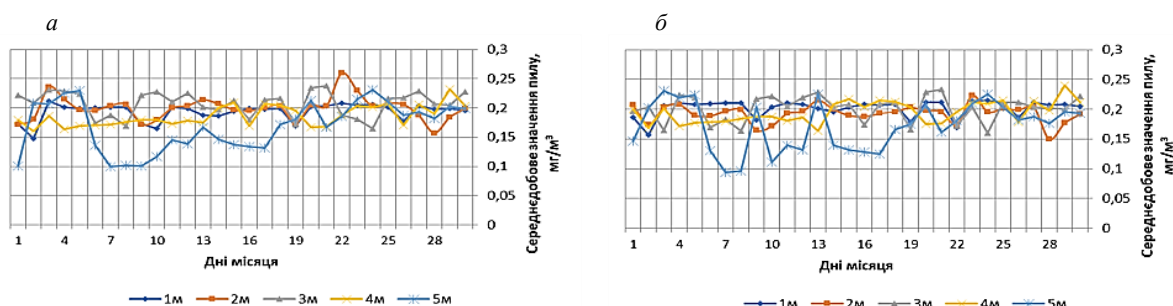


Рис. 13. Викиди пилу за днями у листопаді 2021 р. (а) та червні 2022 р. (б). Дані міських станцій

Основними заходами у сфері охорони атмосферного повітря є зупинка двухванного сталеплавильного агрегату №6, виведення з експлуатації аглофабрики металургійного виробництва, доменних печей №5 та №7, коксових батарей №1 та №2, переобладнання газоочисних установок від обладнання агломераційного цеху №2, будівництво нового корпусу агломерації з новими газоочисними установками, будівництво газоочисних установок за конверторами №1-3 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», зведення нових газоочисних установок на аглофабриці ПрАТ

«ПівдГЗК». Наприклад, у 2019 р. встановлено новий фільтр на цементному млині №2 (джерело викиду №18) та у 2020 р. отримано декларацію про готовність до експлуатації на ПрАТ «Кри-вий Ріг Цемент»; виконано заміну циклонів на випалювальних машинах цеху з виробництва окатишів №1 (ПрАТ «ПівнГЗК»). Придбано обладнання для заміни групи циклонів дробарної фабрики №2. Замінено електрофільтр у корпусі грохочення (екологічний ефект – зниження викидів забруднюючих речовин – 125 тонн на рік). Із січня 2020 р. зупинена опалювальна ма-шина Lurgi-552-A; на газоочисному обладнанні електродугових печей сталєфасоноливарного цеху ТОВ «МЕТІНВЕСТ-КРМЗ» завершено заміну рукавних фільтрів ФРКД-1100 [21].

Таблиця 2

Порівняльна характеристика викидів пилу

Максимальне значення викидів пилу, мг/м ³		Мінімальне значення викидів пилу, мг/м ³		Відхилення значень, мг/м ³		Відхилення значень, %	
листопад 2021	червень 2022	листопад 2021	червень 2022	для максимальних	для мінімальних	для максимальних	для мінімальних
0,212	0,148	0,215	0,157	-0,003	-0,009	-0,3	-0,9
0,260	0,157	0,223	0,150	0,037	0,007	3,7	0,7
0,238	0,165	0,233	0,160	0,005	0,005	0,5	0,5
0,232	0,160	0,240	0,163	-0,008	-0,003	-0,8	-0,3
0,231	0,100	0,231	0,094	0,000	0,006	0,0	0,6

Також важливим є комплекс заходів з пилопригнічення відвалів, хвостосховищ, складів при-готовленої продукції, автошляхів, вулиць житлових масивів. Загалом виконане дослідження до-звولیло розробити методику оцінки стану довкілля за технологічною схемою, яку подано на рис. 14.

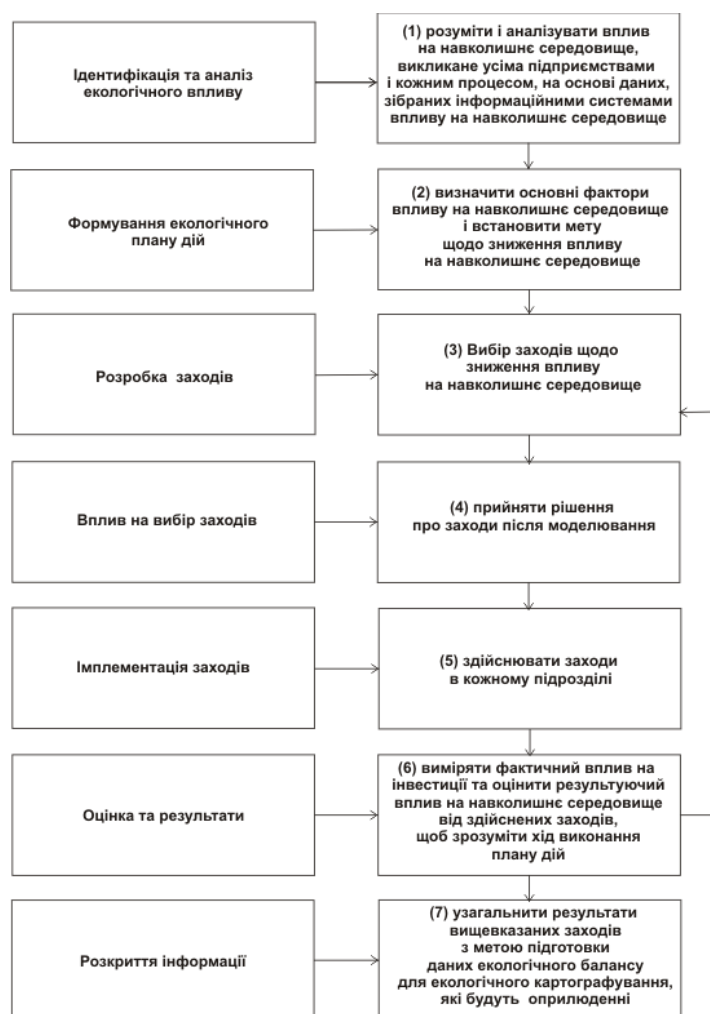


Рис. 14. Технологічна схема досягнення екологічного балансу

Для підняття ефективності заходів з пилопригнічення в рамках Міської екологічної програми відбуваються дослідження по використанню певних розчинів зв'язуючих речовин; впровадження «зелених технологій», шляхом висадки рослинності на поверхнях хвостосховищ, що сприяє зменшенню концентрацій пилу в атмосферному повітрі. Надійний інструмент виконання ефективного екологічного моніторингу в місті – це новий європейський підхід до вирішення екологічних питань, який направлено на використання найкращих технологій, у т. ч. у галузі скорочення викидів, що сприяє поліпшенню стану атмосферного повітря та досягненню його нормативних показників.

Картографування результатів спостережень за зміною показників екологічного стану навколишнього середовища з прив'язкою до локації розповсюдження певного явища дозволить не тільки приймати правильні рішення щодо зменшення впливу небезпечних факторів, але й надавати інформацію громаді міста, якої це стосується. При цьому можна використовувати сучасні методи моделювання для відображення процесів (Surfer, Statistica, Autodesk тощо) із зрозумілою наочністю не тільки для відповідних фахівців, а й для населення.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Моніторинг довкілля є засобом природоохоронної поведінки, що здійснюється відповідно до екологічних передбачень. З метою оцінки стану навколишнього середовища, забезпечення конституційного права людини на безпечне для його життя та здоров'я довкілля в Україні створена і функціонує державна система моніторингу довкілля, яка є складовою частиною національної інформаційної інфраструктури, сумісної з аналогічними системами інших країн. Для досягнення мети необхідно проводити тривалі систематичні спостереження за станом довкілля; здійснювати аналіз параметрів та прогнозування їх змін шляхом використання сучасних потужних програмних комплексів; на основі інформаційно-аналітичного опрацювання одержаних результатів приймати відповідні управлінські рішення щодо раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки. Наразі слід продовжувати дослідження щодо вибору та обґрунтування найкращого сучасного програмного комплексу з моделювання, картографування екологічних процесів, що відбуваються в техногенному середовищі. Завдяки спільним зусиллям фахівців різних сфер, поставлені цілі у сфері покращання стану атмосферного повітря та забезпечення мешканців міста безпечним для жити і здоров'я довкіллям будуть досягнуті.

Список літератури

1. Song, C.[Conghe], Woodcock, C.E., Monitoring forest succession with multitemporal landsat images: Factors of Uncertainty, GeoRS(41), – No. 11. – 2003, pp. 2557-2567. – Режим доступу: <http://www.scanex.ru/ru/monitoring>. – Назва з екрану.
2. Адаменко О.М. Екологічний аудит територій // О.М. Адаменко, Л.В. Міщенко / Підручник [Текст]. – Івано-Франківськ: Факел. – 2000. – 359 с.
3. Батлук В.А. Основи екології: підручник [Текст]. – Київ: Знання, 2007. – 519 с.
4. Бистряков І.К. Сталый розвиток України: постмодернізм, простір, методологія управління / І.К. Бистряков // Вісник НАН України, 2012. – №7. – С. 47-53.
5. Буркинський Б.В. Економічний вектор стратегії сталого розвитку України / Л.Є. Купінець, С.К. Харічков // Екологія і природокористування. – 2012. – Вип.12. – С. 163-173.
6. Гігієнічні характеристики охорони праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [Текст]. – МОЗ України. – К.: Колос, 2008. – 34 с.
7. Голіцин Г. С. Природні небезпеки України [Текст] / Г. С. Голіцин, А. А. Васильєв. – К.: Крук, 2001. – 296 с.
8. Голян В.А. Економічне регулювання землекористування як важлива детермінанта нарощування потенціалу аграрного природокористування / В.А. Голян, Д.С. Нірода, А.Б. Поліщук // АгроСвіт: інформаційно-аналітичний журнал. – 2011. – № 23 – С.2-6. 5.
9. Гончарук Є.Г. Комунальна гігієна [Текст]. – Київ : Здоров'я, 2006. – 792 с.
10. Данилишин Б.М. Економіка природокористування / Б.М. Данилишин, М.А. Хвесик, В.А. Голян. – К.: Кондор, 2009. – 465 с.
11. Державно-приватне партнерство у розбудові екологічної інфраструктури: становлення, особливості, інвестиції. [Електронний ресурс] / С.І. Рассадникова // Економіка: реалії часу. – [Текст]. – 2012. – № 1 (2). – С. 133-142. – Режим доступу: <http://economics.opu.ua/files/archive/2012/n1.html>. – 11.09.2023. – Назва з екрану.
12. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>. – 11.09.2023. – Назва з екрану.
13. Закон України «Про місцеве самоврядування в Україні» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/280/97#Text>– 11.09.2023. – Назва з екрану.
14. Екологічне право України. Академічний курс: Підручник / За заг. ред. Ю.С. Шемшученка. – К.:Юридична думка, 2008. – 720 с.

15. Запольський А.К. Основи екології: Підручник [Текст] / За ред. К.М. Ситника / А.К. Запольський, А.І. Салюк. – К.: Вища школа, 2004. – 254 с.
16. Снітинський В.В. Інженерна екологія: навч. посібник [Текст] / В.В. Снітинський, О.Т. Мазурак, М.А. Саницький, А.В. Мазурак. – Львів: Арал, 2010. – 374 с.
17. Інтернет-сайт Міністерства охорони навколишнього природного середовища [Текст]. – Режим доступу: <http://www.kmu.gov.ua/>. – 14.09.2023. – Назва з екрану.
18. Криворізький ресурсний центр. Екомоніторинг. – Режим доступу: <https://www.krmisto.gov.ua/>. – 11.09.2023. – Назва з екрану.
19. Мельник Л.Г. Досвід Європейського Союзу у формуванні інноваційної стратегії сталого розвитку/Л.Г. Мельник, І.Б. Дегтярьова // Маркетинг і менеджмент інновацій. – 2012. – №1. – С. 190-200.
20. На порядку денному посилення дієвості національної екологічної політики [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://ecos.kiev.ua/news/view/218>. – 11.09.2023. – Назва з екрану.
21. Про стан атмосферного повітря м. Кривого Рогу [Текст] [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kr.gov.ua/ua/news/pg/260221847437619_n/ офіційний сайт виконкому Криворізької міської ради. – 14.09.2023. – Назва з екрану.
22. Рассадникова С.І Принципові засади удосконалення системи управління природокористуванням / С.І. Рассадникова// Економічні інновації: збірник наукових праць. – Одеса, 2015. – Вип. 60, Книга II: С. 127-137.

УДК 621.311

В.Ю. МІЩЕНКО, асистент

Національний університет «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РУДНОТЕРМІЧНОЇ ПЕЧІ ШЛЯХОМ ВИБОРУ ДОЦІЛЬНОГО ДІАМЕТРУ РОЗПАДУ ЕЛЕКТРОДІВ

Метою досліджень є з'ясувати доцільність зміни діаметру розпаду електродів заданого типу руднотермічної печі та складу використовуваної шихти задля підвищення енергоефективності її роботи.

Методи дослідження. Проаналізовані існуючі підходи щодо вирішення цього питання з відомих наукових джерел. Для подальшого вирішення поставлених задач використано математичне моделювання та розрахункові експерименти.

Наукова новизна. Виявлено, що попередні дослідження робились на реальних печах малої потужності і не враховували всі можливі обмежувальні фактори. До недоліків таких натуральних експериментів можна віднести наступне: - не врахована критично допустима межа близькості електродів до футерування ванни; - не розглянуто й компонентно-кількісний склад шихти, який теж впливає на енергетичні показники РТП. Запропоновано на комплексній моделі роботи круглої трьохелектродної руднотермічної печі, провести вище зазначені експерименти та з'ясувати динаміку зростання температури в різних окремих її зонах. На основі цих розрахункових досліджень щодо зміни діаметру розпаду електродів задля знаходження допустимої граничної межі їх розведення виявити можливість більш рівномірного прогріву шихти для різного її компонентно-кількісного складу.

Практична значимість. Отримані результати показали, що збільшення діаметру розпаду електродів суттєво підвищує енергоефективність печі, однак існують обмеження пов'язані з належною експлуатацією футерування печі при надто близькому розташуванні до них. Слід також зазначити, що представлена в роботі методика та використаний інструментарій дозволяють проводити подальші подібні дослідження для будь-яких печей такого типу та різного компонентно-кількісного складу шихти і, зменшуючи дискретність діаметру розпаду електродів, точніше визначити бажану його величину.

Результати. У кожному конкретному випадку необхідно визначати допустиму межу розведення електродів. Для існуючих в Україні печей необхідно мати конструктивний механізм щодо можливості такого розведення. Встановлено, що компонентно-кількісний склад шихти, хоч і не в значній мірі, також впливає на обсяги споживання піччю електричної енергії. Крім того за рахунок доцільного розведення електродів в печі, спостерігається ще і скорочення часу плавки, а це підвищує продуктивність обладнання та ефективність використання футеровки і електродів.

Ключові слова: руднотермічна піч, діаметр розпаду електродів, енергоефективність, електрична енергія, комплексна математична модель, компонентно-кількісний склад шихти

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-31-37

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В умовах підвищення цін на енергоресурси все актуальнішим постає питання вдосконалення, реконструкції та підвищення енергоефективності роботи руднотермічної печі зі збереженням вимоги до технологічного процесу та зниженням витрат електричної енергії на тонну готової продукції. Вирішенню

цієї проблеми присвячено багато наукових праць. В них розглядаються багато різноманітних методик та підходів щодо впровадження нових заходів енергозбереження. Однак саме питанню впливу зміни діаметру розпаду електродів у ванні руднотермічної печі приділено недостатньо уваги, а якщо ж такі дослідження і проводились то на реальних печах і в обмеженій кількості експериментів і це було майже 30-40 років тому, що може вже не відповідати сучасному стану розвитку феросплавного виробництва. Раніше проектування руднотермічних печей виконувалось при невизначеності цього питання через низьку вартість енергоресурсів. Тож задача енергоефективності не була пріоритетною. Пропонується за допомогою наявного сучасного інструментарію провести більш детальні та комплексні розрахункові дослідження з цього приводу.

Аналіз досліджень і публікацій. В даний час для більшості руднотермічних печей величини піделектродного проміжку та діаметру розпаду електродів змінюються в незначному діапазоні відносних величин щодо діаметру електрода $0,6-0,9d_e$ та $2,23-2,32d_e$ відповідно [1,2]. Щодо доцільності використання інших співвідношень у сучасних умовах отримання феросплавів було проведено недостатньо досліджень. Однак в роботі [3] все ж таки запропонована методика та проведені промислові дослідження [4,5] на печах малої потужності щодо пошуку доцільних значень діаметру зазначеного розпаду та піделектродного простору.

Були проведені плавки з відмінними, ніж звичайні, значеннями міжелектродного проміжку та відстані між електродами. Оскільки це супроводжується поступовим зростанням додаткового перерізу провідника у ванні печі (електрод-подина) і його встановленого діаметра, то для нормальної роботи печі (при збереженні відсотка міжелектродного струму) необхідно або збільшити діаметр розпаду, або відстань між електродами та ванною. Для підтвердження цього були проведені пробні серії щодо виробництва силікомарганцю зі стандартним і збільшеним діаметром розпаду. При цьому розміри останнього становили 2,18; 3,0; 4,5 і 6,0 одиниць відносно діаметрів електродів.

Випробування були проведені на печах малої потужності (138–329 кВА), розміри топки яких змінені відповідно до величини зазору. Діаметр графітових електродів становили 150 мм. Силікомарганець був виготовлений із суміші марганцевого агломерату, концентрату, кварцу і коксового дріб'язку. У кожній кампанії сплав і шлак скидалися щогодини, а електродний струм зберігався на рівні 4 кА. Отримані результати представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Показники пробних плавок

Параметр	Номер плавки			
	1	2	3	4
Відстань між електродами, d_p/d_e	2,18	3,00	4,50	6,00
Глибина занурення електродів у шихту, h/d_e	1,5-1,7	1,4-1,5	1,5-1,6	1,5-1,7
Міжелектродний проміжок,	0,7-0,83	0,8-1,0	3,1-3,2	3,4-3,6
Використовувана потужність трансформатора, кВА	137,7	176,6	276,6	329,0
Активна потужність печі, кВт	110,6	159,8	265,7	319,8
Корисна потужність, кВт	107,6	156,0	260,4	314,4
Опір ванни, мОм	6,73	9,75	16,28	19,65
Приріст опору ванни, %	-	44,9	141,9	192,0
Споживання електроенергії на базову тонну сплаву, кВт·год	9250	8690	7283	6982

Виготовлення силікомарганцю з різними діаметрами розпаду електродів та проміжку між ними показує, що при збільшенні цих параметрів одночасно істотно збільшується опір ванни і потужність, що виділяється в ній так як корисна напруга зростає без будь-якої зміни величини струму в електродах. Тобто автором доведено, що обсяг споживання електричної енергії піchnю при цьому зменшується.

До недоліків таких натуральних експериментів можна віднести наступне:

кожна діюча промислова руднотермічна піч має свої геометричні розміри і відповідно діаметр електродів, що в ній використовуються. Тобто приведені співвідношення d_p/d_e не завжди можуть бути фізично реалізовані;

не врахована критично допустима межа близькості електродів до футерування ванни, що може призвести до швидкого руйнування останнього та пошкодження печі у цілому;

не розглянуто й компонентно-кількісний склад шихти, який теж впливає на енергетичні показники РТП.

Тому для існуючих круглих трьохелектродних руднотермічних печей ці питання необхідно додатково дослідити, звісно, що вже на їх моделях, шляхом реалізації відповідних розрахункових експериментів.

Постановка задачі. Провести розрахункові дослідження конкретної руднотермічної печі щодо пошуку критичної, з точки зору температури футеровки, межі збільшення діаметру розпаду електродів з різним складом завантажувальної шихти з метою підвищення енергоефективності її роботи.

Викладення матеріалу та результати. Запропоновано провести розрахункові дослідження зміни діаметру розпаду електродів на комплексній моделі роботи круглої трьохелектродної руднотермічної печі, що представлено в роботах [6-9]. Вхідними даними якої є геометричні, електричні та технологічні параметри діючої печі типу РКЗ-2,5 для отримання селікомарганцю, що представлені в табл. 2 та 3.

Таблиця 2

Електричні та геометричні параметри печі РКЗ-2,5

Параметр	Од.виміру	Значення
Геометричні		
Зовнішній діаметр корпусу, D_z	мм	3700
Зовнішня висота печі, H_z	мм	2730
Внутрішній діаметр ванни, D_e	мм	2100
Внутрішня висота ванни, H_e	мм	1550
Діаметр електрода, d_e	мм	350
Діаметр розпаду електродів, d_p	мм	1100
Глибина занурення електродів у шихту	мм	1000
Електричні		
Потужність печі	МВА	2,5
Потужність пічного трансформатора	МВА	5,0
Електродний струм	кА	12
Напруга на електродах	В	89-178

Таблиця 3

Компонентний та кількісний склад шихт, що використовуються при одержанні селікомарганцю

Назва компоненту	Склад шихти			
	Шихта-1	Шихта-2	Шихта-3	Шихта-4
Марганцева руда, кг	2 600	2 600	2 600	2 600
Кокс W-14,0%, кг	700	800	880	980
Вапняк, кг	450	500	500	500
Кварцит Васильківський, кг	400	400	400	400
Скрап власного виробництва ~ 25% мет.фази, кг	400	400	400	400
Техногенний матеріал фр.0-30мм, кг	1400	1 400	1 400	1 400
Техногенний матеріал фр.0-300мм, кг	200	200	200	200
Загальна маса шихти, т	6,15	6,30	6,38	6,48

Враховуючи приведені вище дані виконано налаштування моделі та ідентифікація її змінних параметрів [10]. Останнє необхідно робити для кожного компонентно-кількісного складу шихти. Геометричні та електричні параметри корегувалися відповідно до модельних досліджень. Так як комплексна модель дозволяє визначати температуру у будь-якому місці ванни печі впродовж експерименту [6], то остання ще розділена на зони (рис. 1) в яких і визначалась динаміка зростання температури.

Таким чином запропоновано, визначаючи динаміку зростання температури в зазначених зонах печі (I, II, III, IV), змінювати діаметр розпаду електродів для кожної умовної плавки з метою знаходження доцільного його значення, яке забезпечить більш рівномірний прогрів шихти з урахуванням зазначених вище обмежень.

Під час досліджень зроблено по шість експериментів для кожного, приведеного в (табл. 3), складу шихти: спочатку з існуючим розпадом електродів в 1,1 м, а потім з 1,2 м; 1,3 м; 1,4 м; 1,5 м та 1,6 м відповідно. Якщо ж розглядати зазначені значення у відносних одиницях до діаметру електродів, то вони складатимуть 3,14; 3,43; 3,71; 4,00; 4,29 та 4,57. Подальше збільшення цього показника було не можливим, через геометричні розміри ванни. Інші параметри печі не змінювались.

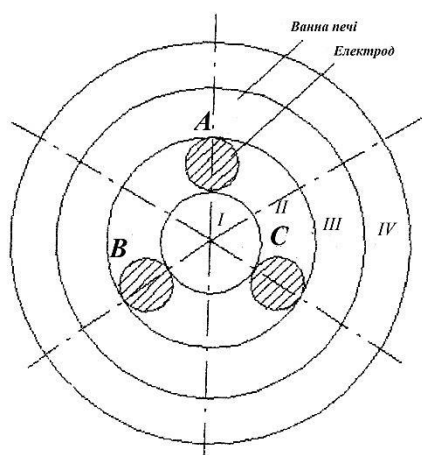


Рис. 1. Температурні зони руднотермічної печі

Обмежуючим фактором є те, що футеровка реальних печей виконується з вогнетривких матеріалів, нижній шар якої є шамотна цегла, а верхній – високоглинозесті вироби, що мають максимально допустиму температура в 1600°C [11-13]. Враховано також, що час плавок за існуючою технологічною документацією складає 255 хвилин, а споживання електричної енергії контролюється на рівні $5000 \text{ кВт}\cdot\text{год}$, при цьому температура розплаву до 1550°C .

Результати розрахункових досліджень представлені в табл. 4, що має наступні позначення: t_i , t_{II} , t_{III} , t_{IV} – час досягнення температури розплаву в 1550°C зонами печі; t_{ϕ} – найбільша температура стінок футерування ванни печі навпроти електродів на момент завершення плавки; W – витрата електричної енергії. Тривалість плавки визначається найбільшим значенням t .

Таблиця 4

Результати проведених розрахункових досліджень

Склад шихти	t_i , хв	t_{II} , хв	t_{III} , хв	t_{IV} , хв	t_{ϕ} , $^{\circ}\text{C}$	W , $\text{кВт}\cdot\text{год}$
$d_p=1,1\text{м}$						
Шихта 1	200	230	240	255	1450	5000
Шихта 2	195	230	239	255	1460	5000
Шихта 3	196	235	240	255	1450	5000
Шихта 4	193	228	237	255	1455	5000
$d_p=1,2\text{м}$						
Шихта 1	210	222	231	240	1480	4730
Шихта 2	205	220	230	235	1490	4670
Шихта 3	202	215	222	231	1485	4585
Шихта 4	199	211	220	227	1480	4495
$d_p=1,3\text{м}$						
Шихта 1	205	218	225	235	1510	4585
Шихта 2	205	222	226	230	1520	4480
Шихта 3	198	209	218	225	1510	4365
Шихта 4	195	211	215	221	1510	4215
$d_p=1,4\text{м}$						
Шихта 1	205	217	221	231	1560	4095
Шихта 2	205	219	221	225	1570	4050
Шихта 3	198	206	213	218	1550	3940
Шихта 4	193	204	211	213	1570	3860
$d_p=1,5\text{м}$						
Шихта 1	201	213	215	224	1640	3895
Шихта 2	200	205	210	220	1650	3860
Шихта 3	194	200	205	212	1650	3790
Шихта 4	190	198	203	209	1660	3705
$d_p=1,6\text{м}$						
Шихта 1	193	206	211	218	1710	3805
Шихта 2	190	195	198	212	1700	3720
Шихта 3	190	196	204	207	1700	3630
Шихта 4	185	194	199	201	1720	3585

Виходячи з максимально допустимої робочої температури футерування печі, максимальна межа зміни діаметру розпаду для всіх видів шихт склала 1,4 м. Подальше розведення електро-

дів призведе до швидкого зношування, а в деяких випадках, і до непередбачуваного руйнування футерування, що небезпечно для нормального функціонування всієї РТП.

Отже, для даної печі з її геометричними параметрами, компонентно-кількісний склад шихти практично не впливає на критичну межу розведення електродів при виплавленні селікомарганцю. Однак при суттєво інших комбінаціях шихтових матеріалів цей фактор необхідно додатково досліджувати. Встановлено, також, що в залежності від кількісного складу шихти споживання електричної енергії піччю змінюється. Це обумовлено збільшенням частки коксу, який має високу електропровідність та є додатковим джерелом тепла за рахунок згорання.

Для ілюстрації рівномірності і швидкості прогріву шихти для максимально допустимої межі в 1,4 м діаметру розпаду електродів та існуючій в 1,1 м для «Шихти 2» на рис. 2 та 3 наведені відповідні графіки. В них виявляється, що в останньому випадку спостерігається значний перепад температур між зонами. Перша нагрівається дуже інтенсивно через протікання в ній значних струмів, тоді ж коли третя і четверта надто повільно, оскільки здебільшого зростання температури в них відбувається за рахунок теплопередачі від інших зон. Нерівномірність прогріву шихти складає 60 хвилин, тобто в першій зоні спостерігається тривалий і значний перегрів, що й зумовлює нераціональне використання електричної енергії.

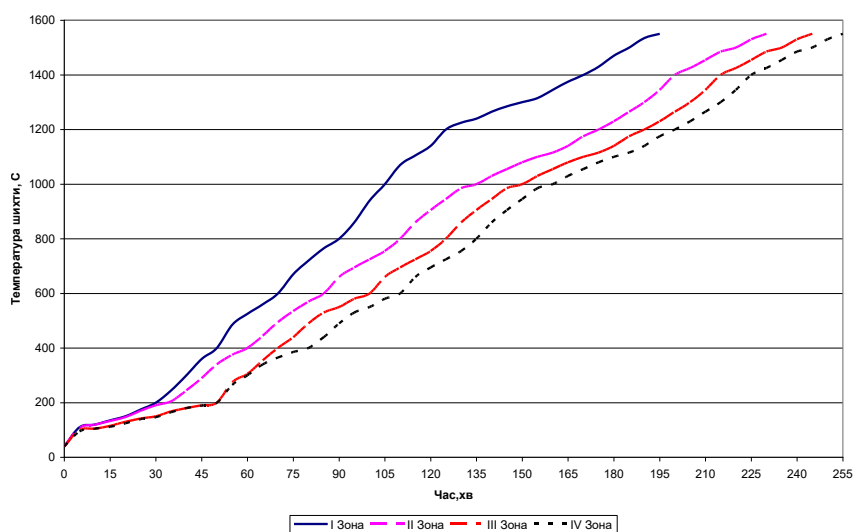


Рис. 2. Динаміка нагріву шихти за різними зонами ванни печі при діаметрі розпаду електродів в 1,1 м

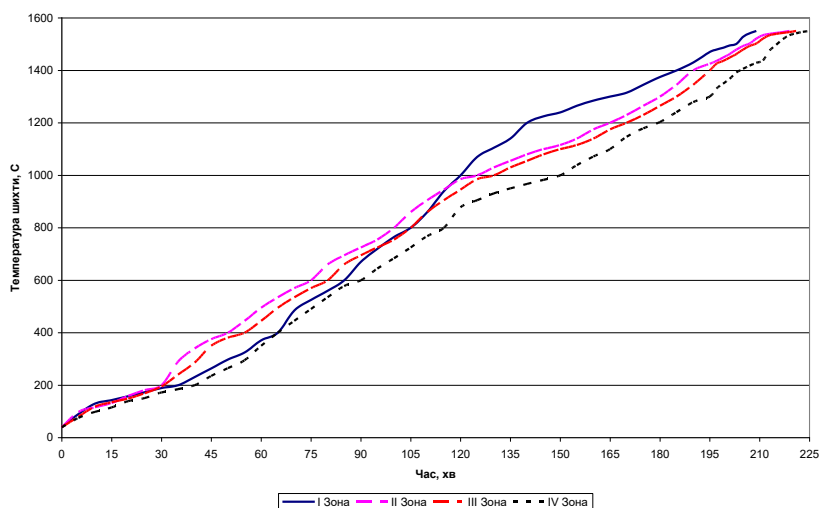


Рис. 3. Динаміка нагріву шихти за різними зонами ванни печі при діаметрі розпаду електродів в 1,4 м

При критичному ж діаметрі розпаду електродів в $d_p=1,4$ м (рис. 3) спостерігається інтенсифікація нагріву в другій та третій зонах, що обумовлено розташуванням електродів в цих зонах, а також спочатку дещо повільний прогрів першої зони. Економія у часі і нерівномірність нагріву склали 30 хвилин та 16 хвилин відповідно.

Отже виходячи з отриманих результатів експериментів пропонується в печі РКЗ-2,5 для виплавки селікомарганцю виставляти діаметр розпаду електродів на рівні 1,4 м, що знизить рівень споживання електричної енергії на (18,1– 22,8)% в залежності від складу шихти, що є суттєвим показником енергоефективності. Тобто крім з'ясування критично допустимої межі розведення електродів необхідно ще враховувати й компонентно-кількісний склад шихти, що дає додатково 4,5% економії.

Всі руднотермічні печі, які експлуатуються в Україні [14, 15], на жаль, не мають механізмів розведення електродів, однак в країнах СНД це вже можливо [16]. Тож і запропоновано для впровадження в залежності від того на якому шляху йде удосконалення вітчизняних РТП й при можливості або у відповідності до складу шихти перед початком кожної серії плавки одноразово налаштовувати цей параметр або мати можливість робити це для кожної плавки чи, навіть, в процесі її проведення.

Слід також зазначити, що представлена в роботі методика та використаний інструментарій дозволяють проводити подальші подібні дослідження для будь-яких печей такого типу та різного компонентно-кількісного складу шихти і, зменшуючи дискретність діаметру розпаду електродів, точніше визначити бажану його величину.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Вперше на комплексній математичній моделі роботи руднотермічної печі проведені дослідження щодо впливу зміни діаметру розпаду електродів на енергоефективність її роботи з врахуванням додаткових факторів таких як: компонентно-кількісний склад шихти; максимально допустиме значення температури розплаву в зоні футерування; реальні геометричні розміри діючої РТП. Встановлено, що зазначені вище фактори впливають на максимально допустиму межу розведення електродів та на обсяги споживання електричної енергії.

Якщо конструкція РТП дозволяє розводити електроди у горизонтальній площині, і виставити їх у відповідності до результатів розрахунків, то це призведе до зменшення обсягів споживання електричної енергії в межах 20%. При визначенні найкращого кількісного складу шихти, в межах технологічних умов плавки, додаткова економія електроенергії може скласти до 4,5%. Якщо в реальній руднотермічній печі не має механізму зміни діаметру розпаду електродів, то необхідно встановити його одноразово безпосередньо на підприємстві в процесі реконструкції, у відповідності до того які шихтові матеріали здебільшого використовуються на ньому.

Крім зменшення кількості спожитої електричної енергії на одну плавку за рахунок доцільного розведення електродів в печі, спостерігається ще і скорочення її проведення, а це підвищує продуктивність обладнання та ефективність використання футеровки і електродів.

Список літератури

1. Струнский Б.М. Расчёты руднотермических печей. – М.: Металлургия. - 1982.- 192 с.
2. Гаврилов В.А., Поляков И.И., Поляков О.И. Оптимизация режимов работы ферросплавных печей. – М.: Металлургия. – 1996. -176 с.
3. Shkirmontov A.P. Establishing the theoretical foundations and energy parameters for the production of ferroalloys with a larger-than-normal gap under the electrode // Metallurgist. – 2009. – V. 53. – N 5-6. – P. 300 – 308. Scopus, Q3.
4. Shkirmontov A.P. Theoretical principles and energy parameters in ferrosilicon production with an increase in the electrode spacing and the distance from the electrodes to the bath // Metallurgist. – 2009. – V. 53. – N 5–6. – P. 373 – 379. Scopus
5. Shkirmontov A.P. Determination of the energy parameters for the smelting of manganese ferroalloys with increases in the electrode gap and electrode spacing // Metallurgist.–2009.– V. 53.– N 7-8. – P.512 – 517. Scopus, Q3
6. Качан Ю.Г. Алгоритм розрахунку температурного поля ванни руднотермічної печі /Ю.Г. Качан, Ю.Б. Ліуш, В.Ю. Міщенко // Вісник ХНУ. – 2018. – № 3 (261). – С. 19-22.
7. Качан Yu. H. Determination of distribution of introduced energy by volume of ore-thermal furnace. / Yu.H. Kachan, V.Yu. Mishchenko// Naukovyi Visnyk NHU. – 2019. – № 3. – 138-145
8. Mishchenko V.Yu. Definition ways of the current spreading process in the internal volume of the ore-thermal furnace./ V.Yu. Mishchenko, Yu.H. Kachan// Electrical Engineering And Power Engineering. – №2. – 2019. – 51-57
9. Качан Ю.Г. Визначення обсягів розплаву та шлаку під час плавки в феросплавній печі / Ю.Г. Качан, В.Ю. Міщенко// СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МЕТАЛУРГІЇ. Наукові вісті. №23, (2020). – Дніпро: НМетАУ –ІВК «Системні технології», 2020. – с. 53-62
10. Міщенко В.Ю. Ідентифікація параметрів комплексної моделі руднотермічної печі та її адекватність. /В.Ю. Міщенко // СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МЕТАЛУРГІЇ. Наукові вісті. №26, (2023). – Дніпро: УДУНТ – ІВК «Системні технології», 2023. – с. 71-83

11. Єгоров, С. Г. Конструкції агрегатів кольорової металургії [Текст] / С. Г. Єгоров, І. Ф. Червоний, Р. М. Воляр, під ред. д.т.н., проф. Червоного І. Ф.; Запоріж. держ. інж. акад. – Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – 230 с.
12. Мاستрюков, Б. С. Теория, конструкция и расчёт металлургических печей. Т.2. Расчёты металлургических печей [Текст] / Б. С. Мастрюков. – М.: Металлургия, 1986. – 376 с.
13. Металлургия марганца Украины / Б.Ф.Величко, В.А.Гаврилов, М.И.Гасик, С.Г.Грищенко, А.В.Коваль, А.Н.Овчарук // Київ, Техніка. 1996 – 470 с
14. Офіційний сайт АТ «Запорізький завод феросплавів» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zfz.com.ua/>
15. Офіційний сайт АТ «Нікопольський завод феросплавів» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nzf.com.ua/main.aspx>
16. Офіційний сайт компанії «YDD CORPORATION» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://yddcorp.kz/>

УДК 624.15

Р.О. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук., проф., Д.А. КРІШКО, канд. техн. наук, ст. викладач,
В.О. САВЕНКО, канд. техн. наук, наук. співроб., О.А. БЕЛКОВ, А.І. ГАРКУША,
А.В. КОКОВИЧ, магістранти
Криворізький національний університет

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПЛИТНО-ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ

Мета. Дослідження напружено-деформованого стану плитно-пального фундаменту і створення методів розрахунку для визначення несучої здатності та осідань для плитно-пальових фундаментів.

Методи дослідження. Основою досліджень є джерела в галузі геотехніки та пальових фундаментів авторами яких є вітчизняні та зарубіжні вчені, теоретичні та експериментальні методи які базуються на експериментальних дослідженнях, узагальненні та порівнянні результатів.

Наукова новизна. Розглянуто дані щодо особливостей поведінки плитно-пального фундаменту при циклічному навантаженні, розвитку осідань і втрати несучої здатності. Досліджено розрахункову модель деформування елементів конструкції плитно-пального фундаменту з урахуванням напружено-деформованого стану, що виникає під час циклічного навантаження. Розглянуто аналітичні залежності для опису процесу зміни несучої здатності та осідання плитно-пального фундаменту при циклічному навантаженні. Розглянуто метод розрахунку несучої здатності й осідань основ плитно-пальових фундаментів при циклічному навантаженні.

Практична значимість. Полягає у викладених інженерних методиках визначення несучої здатності та деформацій плитно-пальових фундаментів, які дають змогу оцінити вплив циклічного навантаження на будівлі та споруди, зведені на плитно-пальових фундаментах, з можливістю отримання оптимальних проектних рішень під час проектування плитно-свайних фундаментів.

Результати. Проведено аналіз методів розрахунку несучої здатності та деформацій пальових, плитних і плитно-пальових фундаментів у разі циклічного та статичного навантаження, які існують на сьогодні, огляд та оцінку результатів експериментальних і теоретичних досліджень та розрахункових моделей для плитно-пальових фундаментів у разі циклічного і статичного навантаження. Визначено деформації та напруження, що виникають в елементах плитно-пального фундаменту під час дії циклічного навантаження. Визначення взаємодії між елементами системи "палі - плитний ростверк - ґрунтова основа" під час дії циклічного навантаження на будь-який плитно-пальовий фундамент. Розглянуто розрахункову модель для плитно-пального фундаменту під час дії навантаження за циклічним законом.

Ключові слова: плитно-пальовий фундамент, несуча здатність, осідання, ґрунтова основа, напружено-деформований стан.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-37-43

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В сучасних умовах при будівництві будівель тенденція полягає в збільшенні навантажень на ґрунтові основи і використанні слабких ґрунтів як основ, що сприяє поширенню плитно-пальових фундаментів як одного з найпоширеніших способів збільшення несучої здатності та зменшення осідань. При цьому цей вид фундаментів і їхні основи поряд зі статичними, піддаються впливу різного роду циклічних навантажень, які в цілому ряді випадків є основними, що визначають безпеку експлуатації будівель і споруд. Під час проектування будівель і споруд, під час експлуатації яких виникає необхідність у спільному врахуванні статичних і циклічних впливів. Серед першочергових завдань виступає встановлення несучої здатності фундаменту, а також прогнозування

вертикальних деформацій основ фундаментів, особливо з урахуванням наявної зміни міцності та деформаційних характеристик елементів комбінованого плитно-пального фундаменту та ґрунтів основ під час циклічного навантаження. У зв'язку з цим розроблення методів несучої здатності та розрахунку осідань плитно-пальових фундаментів на основі за наявності циклічних впливів є актуальним питанням [1-5].

Аналіз досліджень і публікацій. Питанням вивчення спільної роботи взаємодії паль одна з одною, з масивом ґрунту і плитним ростверком у процесі лабораторних і польових випробувань в різний час займалися: М.Ю. Абелев, А.А. Бартоломей, Б. В. Бахолдін, В.Г. Березанцев, М.В. Берлінов, І.Й. Бойко, М.М. Герсєванов, В.М. Голубков, М.І. Гольдштейн, А.Л. Готман, М.Н. Готман, Н.З. Готман, А.А. Григорян, Б.І. Далматов, М.М. Дорошкевич, Ю.К. Зарецький, Б.В. Знаменський, В.А. Іллічов, С.М. Клепиков, Л.Д. Козачок, А.А. Луга, Р.А. Мангушев, І.Т. Мірсаєпов, Л.В. Нуждін, О.І. Осокін, О.О. Петраков, В.П. Петрухін, А.І. Поліщук, А.Б. Пономарьов, Я.А. Пронозін, Д.Є. Разводовський, І.І. Сахаров, О.А. Сорочан, З.Г. Тер-Мартиросян, А. З. Тер-Мартиросян, Р.О. Тімченко, В.М. Улицький, С.Б. Ухов, А.Б. Фадєєв, В.Г. Федоровський, М.А. Цитович, Д.Ю. Чунюк, А. Г. Шашкін, К.Г. Шашкін, О.А. Шулятьєв, Б.С. Юшков, В.Д. Яблочков, так і зарубіжні дослідники – R. Katzenbach, T. H. Hanna, K. Horikoshi, A. Mandolini, M.F. Randolph, T. Whitaker та ін. [6-16].

З урахуванням великої кількості наукових і практичних робіт від вітчизняних та іноземних дослідників, які розглядають пальові фундаменти, нормативна література поки що не передбачає достатньо надійних методів розрахунку плитно-пального фундаменту, які б урахували взаємодію елементів у системі "плитний ростверк - палі - ґрунтова основа" у разі виникнення циклічних і статичних навантажень.

Постановка задачі. Дослідження напружено-деформованого стану плитно-пального фундаменту і створення методів розрахунку для визначення несучої здатності та осідань для плитно-пальових фундаментів.

Викладення матеріалу та результати. Нині під час будівництва висотних будівель і споруд широкого застосування набув плитно-пальовий фундамент, перевагою якого, на відміну від звичайних пальових фундаментів, є наявність можливості передавання значних часток навантаження на ґрунтову основу як через палі, так і через плитний ростверк. Необхідність використання при проєктуванні та будівництві плитно-пальових фундаментів виникає в разі високих значень навантажень, що чиняться на основи фундаментів, або використання під забудову земельних ділянок, які відрізняються несприятливими фізичними та механічними особливостями ґрунтів основи. У подібних ситуаціях використання плитно-пальових фундаментів виявляється обґрунтованим у зв'язку зі зростанням несучої здатності та істотним зниженням величини осідання основ фундаментів, при цьому зменшуються нерівномірні осідання частин будівлі або її крен. Існуючі в нормативній літературі методики виконання розрахунків не дають змоги врахувати спільну роботу паль і плитного ростверку в складі комбінованих плитно-пальових фундаментів, на відміну від підходів для окремих розрахунків плитних і пальових фундаментів.

Проектування плитно-пальових фундаментів можна вести за такими основними підходами: з урахуванням потреби в дотриманні конкретних умов (для міцності, для деформацій). У цій ситуації під час проєктування слід скористатися підсумками проведених досліджень, пов'язаних із розрахунком співвідношень навантажень, прийнятих плитою ростверку і палями в плитно-пальовому фундаменті;

методика проєктування, заснована на використанні таких принципів: допустиме навантаження на окрему палю дорівнює 80% від граничної величини опору палі, коли відбувається формування пластичних деформацій; палі, розміщені під плитою, допомагають скоротити величину напруження в контактній області під основою плити фундаменту; фундамент виявляється плитним, при цьому йде зменшення загальної осадки основи, що зменшується за рахунок рівномірного введення паль під плитою.

спосіб проєктування, що базується на визначенні деформацій плити на різних зонах, при цьому розміщення паль проводиться з урахуванням можливості зниження нерівномірності деформацій основи фундаментної плити. У цьому разі під час проєктування палі розташовують під центральною зоною плити.

У європейському нормативі Eurocod 7 [17] під час проєктування пальово-плитних фундаментів для груп паль рекомендується застосовувати такі методи:

з використанням результатів розрахунку одиночної палі та поправкою на взаємовплив паль у пальовому полі;

з використанням схеми, де група паль приймається як велика одиночна паля.

У нормах зазначено, що використання в плитно-пальовому фундаменті надійність споруди визначає несуча здатність паль, під час проектування необхідно враховувати загальну жорсткість усієї споруди.

Рекомендації містять у собі:

класифікацію фундаментів, сферу їх застосування, вимоги до визначення;

інженерно-геологічні умови, вимоги до розрахунку фундаментів і основ;

граничні стани на основі врахування вимог до експлуатації будівель.

Виконання розрахунків для поля паль слід передбачити на основі використання будь-якої з таких методик:

емпіричної методики, чисельної методики, аналітичної спрощеної методики;

методики на основі еквівалентних фундаментних систем.

Вибір методу розрахунку необхідно обґрунтувати на основі результатів статичних випробувань паль, а також даними спостережень за осіданнями фундаментів у схожих інженерно-геологічних умовах.

Під час проектування плитно-пальового фундаменту крім призначення параметрів пальового поля також велике значення має розрахунок плитного ростверку. Мають бути правильно знайдені зусилля, що виникають у різних перерізах плити і виходячи з цього, призначено її армування.

З аналізу напружено-деформованого стану, що виникає всередині системи "плитний ростверк – палі – ґрунт міжпальнової ділянки – ґрунт нижче за п'яту палі" під час циклічного навантаження, впливають положення робочих гіпотез, які дають змогу побудувати розрахункову модель і сформувати розрахункову методику для оцінювання осідань і несучої здатності плитно-пальового фундаменту під час циклічного навантаження.

Виконаний аналіз досліджень дає змогу сформулювати, стосовно оцінювання несучої здатності й осідань плитно-пальового фундаменту під час циклічного навантаження, такі основні передумови:

плитно-пальовий фундамент розглядається як єдина система "плитний ростверк – палі – ґрунт міжпальнової області – ґрунт нижче п'яти палі";

прийнято жорсткий варіант з'єднання між плитним ростверком і палями;

під час циклічного навантаження спостерігається виникнення перерозподілу зусиль між ґрунтом і палями в різних зонах єдиної системи;

під час циклічного навантаження відбувається зменшення механічних характеристик ґрунту φ , c , E і збільшення деформацій повзучості залежно від параметрів циклічного навантаження;

мінімальне значення коефіцієнта асиметрії циклу напружень у ґрунті пальової основи обмежується величиною горизонтальних напружень σ_x , σ_y в межах стислої товщі;

враховується вплив стискаючих напружень за допомогою збільшення бічного тиску ґрунту на палі в ґрунті, що перебувають під плитним ростверком, на значення несучої здатності паль по бічній поверхні;

згинальні деформації плиткового ростверку не враховуються, приймається абсолютна згинальна жорсткість;

приймається, що перерозподіл зусиль між кутовими, крайовими палями і рядовими палями враховується автоматично під час розв'язування п'яти рівнянь квазістатички відповідно до числа циклів навантаження і граничного стану ґрунту, що знаходиться на бічній поверхні паль;

значення граничних дотичних напружень у ґрунті по поверхні палі зменшуються по довжині під час циклічного навантаження й описуються законом Кулона-Мора;

взаємовплив паль у ґрунтовій основі фундаменту не враховується;

умови досягнення граничної несучої здатності палі, що входить у плитно-пальовий фундамент, і одиночної палі різні.

Напружено-деформована основа в плитно-пальовому фундаменті відрізняється значною складністю. У подібній основі відбувається спільна деформація матеріалів, що мають різні деформаційні та міцнісні характеристики, а також відмінні умови навантаження.

Розвиватися деформації основи в плитно-пальовому фундаменті під час циклічного навантаження будуть у зв'язку із взаємодією ґрунту, плитної основи та паль у рамках зв'язкових умов:

вільна деформація ґрунтової основи в плитному ростверку не відбувається через використання паль;

передбачається обмеження вільного деформування паль з боку ґрунтової основи в плитному ростверку (ґрунту міжпальової області та під нижнім кінцем палі) і плитного ростверку;

вільному деформуванню плитного ростверку перешкоджають палі і ґрунт міжпальового простору і під нижнім кінцем паль.

Під час подібної взаємодії між компонентами, що входять у пальову основу, додатково з'являється напружений стан і перерозподіляються зусилля між палями і ґрунтом під час циклічного навантаження. Водночас значення напруги в палях зростає, а в ґрунті між палями скорочується, якщо зіставляти з даними першого циклу.

У рамках пальової основи окрема паля через наявність зчеплення з ґрунтом навколо по бічній поверхні, виявляється внутрішнім зв'язком. У результаті з'являється перешкода для вільної деформації ґрунту в міжпальовій області під час циклічного навантаження. Через обмежені деформації, пов'язані з циклічною повзучістю ґрунту, можуть з'явитися всередині пальової основи додаткові врівноважені напруження. Водночас усередині ґрунту можуть з'явитися напруження у зв'язку з розтягуванням, а в палях – виникнути напруження через стиснення.

Особливості деформування пальової основи при циклічному навантаженні використано при розробленні розрахункової моделі деформування плитно-пального фундаменту. Цей процес розглядають у просторовій постановці з урахуванням спільного деформування всіх елементів системи "плитний ростверк – палі – ґрунт міжпальового простору – ґрунт нижче вістря паль" завдяки жорсткому з'єднанню паль і плитного ростверку.

Враховується перерозподіл зусиль між елементами системи в процесі циклічного навантаження за рахунок спільної деформації плитного ростверку, паль, ґрунту міжпальового простору, і ґрунту нижче вістря палі. Напруження в окремих конкретних зонах системи визначають шляхом спільного розв'язання п'яти рівнянь квазістатистики, водночас за основу взято рівняння, розроблені З.Г. Тер-Мартirosяном і його учнями для випадку статичного навантаження і модифіковані для випадку циклічного навантаження залежно від кількості циклів навантаження і параметрів циклічного навантаження.

При цьому враховується зміни зони граничної рівноваги по бічній поверхні паль залежно від координати точки перетину епюр мобілізованого дотичного напруження та граничного дотичного напруження. Для аналітичного опису процесу невеликого деформування елементів системи прийнято розрахункову схему, запропоновану З.Г. Тер-Мартirosяном (рис. 1), розроблено рівняння механічного стану ґрунту і системи "паля – ґрунт", а також рівняння рівноваги зусиль. Спільне розв'язання цих рівнянь дає змогу отримати шукані значення осідань і несучої здатності плитно-пального фундаменту під час циклічного навантаження.

Для спрощення розрахунку прийнято розрахункову схему, яка складається з палі, ґрунту, що оточує її, і частини плити ростверку, що припадає на одну палю. Поведінка основних компонентів такого ґрунту буде відповідати поведінці палі у складі плитно-пального фундаменту (рис. 1). Розміри розглянутого ґрунту – $2A \times 2B \times L$, розміри палі – $2a \times 2b \times l$. На межах ґрунту прийнято умови вільного вертикального переміщення. На дні розглянутого ґрунту прийнято повну відсутність переміщень.

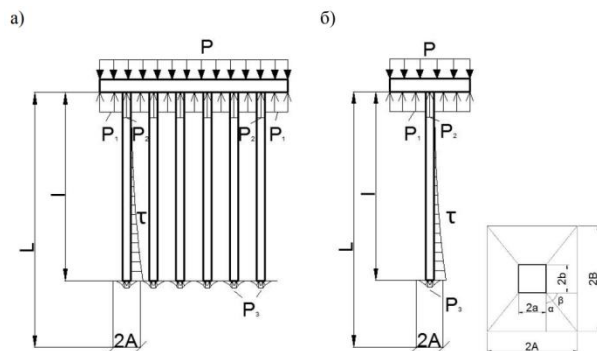


Рис.1. Розрахункова схема: *а* – взаємодії масиву ґрунту з плитно-свайним фундаментом; *б* – взаємодії однорідного масиву ґрунту з площею $2A \times 2B$ з окремою палею

Напруження в елементах системи "плитний ростверк – палі – ґрунт міжпальового простору – ґрунт нижче вістря паль" визначають шляхом розв'язування рівнянь залежно від кількості циклів навантаження, параметрів циклічного навантаження та ґрунтових умов, розмірів зони граничної рівноваги на

боковій поверхні паль та для конкретного циклу навантажування N. Зони граничної рівноваги, враховуючи жорсткість матеріалу палі, визначають точкою перетину епюр мобілізованого дотичного напруження та дотичного напруження. При цьому враховується зміна зони граничної рівноваги по бічній поверхні паль залежно від координати точки перетину епюр мобілізованого дотичного напруження і граничного дотичного напруження.

Гранична величина циклічного навантаження (гранична несуча здатність), що сприймається плитно-пальовим фундаментом, залежить від умов спільного деформування ґрунту, паль і плитної ростверку та їхніх міцнісних і деформаційних властивостей і відповідає максимальному навантаженню циклу, яке може сприймати плитно-пальовий фундамент за умови заданої кількості циклів навантаження та наперед заданого граничного осідання.

Гранична несуча здатність плитно-пального фундаменту під час циклічного навантаження обчислюється за розрахункових значень для першої групи граничних станів навантаження та розрахункових значень характеристик міцності і деформаційних характеристик ґрунту з урахуванням зниження втомної міцності та збільшення деформації циклічної повзучості за величиною граничного опору ґрунтової основи за умовою обмеження розвитку в ньому вертикальних деформацій згідно із заздалегідь заданими умовами.

Під час визначення граничної несучої здатності плитно-пального фундаменту в разі циклічного навантаження розглядають гранично напружено-деформований стан системи "плитний ростверк – палі – ґрунт міжпальового простору – ґрунт нижче вістря палі" під нижнім кінцем палі та під плитним ростверком. У разі жорсткого з'єднання палі з плитним ростверком усі елементи системи деформуються спільно в процесі циклічного навантаження і відбувається перерозподіл зусиль між ними.

Гранична несуча здатність під час циклічного навантаження плитно-пального фундаменту визначається для стадії, коли дотичні напруження по бічній поверхні відсутні у верхній і середній частині паль унаслідок досягнення граничного опору на зсув.

Приймається, що в ґрунті по підшві плитного ростверку і під вістрям палі реалізується просторовий напружений стан. Досягнення межі несучої здатності плитно-пального фундаменту відбувається, коли напруження під п'ятою палі та під плитним ростверком перевищують втомну міцність і граничні деформації ґрунту під час тривісного циклічного стиснення.

Розрахунок граничної несучої здатності проводять за значенням напружень під п'ятою палі і напруження під плитним ростверком, величину яких визначають для будь-якого циклу навантаження, який розглядають, із розв'язання системи рівняння з урахуванням перерозподілу зусиль між елементами системи та їхньої зміни в процесі циклічного навантаження.

Після певної кількості циклів навантаження напруження в ґрунті досягають межі витривалості в якомусь з елементів:

- під плитним ростверком, а потім після якоїсь кількості циклів під нижнім кінцем палі;
- під нижнім кінцем палі;
- одночасне досягнення під плитним ростверком і під нижнім кінцем палі.

Потім відбувається продавлювання тонкого шару ґрунту під нижнім кінцем палі та під плитним ростверком і, як наслідок, відбувається прирощення переміщення (осідання) плитно-пального фундаменту, і цей процес періодично повторюється, доки загальне сумарне осідання пальового фундаменту не досягне граничного значення для конкретної будівлі або споруди.

При циклічному навантаженні відбувається збільшення осідань основи плитно-пальових фундаментів із різною інтенсивністю на всіх етапах навантаження. Найбільш інтенсивний розвиток осідань відбувається на початковій стадії навантаження (приблизно від 100....500 циклів), потім осідання поступово зменшуються, але повної стабілізації навантаження не настає.

У загальному випадку в разі циклічного навантаження осідання основи плитно-пального фундаменту складається з трьох складових:

- осідання умовного фундаменту;
- додаткового осідання продавлювання паль на рівні підшви умовного фундаменту;
- додаткового осідання за рахунок стиснення стовбура палі.

Для визначення осідання умовного фундаменту при циклічних навантаженнях пропонується метод, в основу якого покладено метод пошарового підсумовування з урахуванням просторового напруженого стану ґрунтового масиву нижче умовного фундаменту і зміни механічного стану ґрунту в процесі циклічного навантаження.

Запропонована методика дає змогу обчислити осідання умовного фундаменту під час циклічного навантаження, при цьому природний тиск ґрунту розглядається як тривісне всебічне навантаження, а додаткове навантаження в період будівництва та експлуатації.

На основі передумов і припущень виконується розрахунок величини вертикальних деформацій (осідання) основи умовного фундаменту:

параметри циклічного навантаження і механічні характеристики ґрунтів приймаються для другої групи граничних станів;

передбачається, що існує нелінійна залежність між напруженнями, що виникають у масиві ґрунту від впливу зовнішнього навантаження, і деформаціями ґрунтового масиву;

розглядається просторовий напружений стан ґрунту, при цьому враховується, що кожна компонента нормальних напружень викликає відповідну деформацію ґрунту;

під час визначення величини додаткових вертикальних тисків шаруватість нашарувань не враховується;

враховується можливість бічного розширення ґрунту;

висота стисливої товщі визначається відповідно до чинних норм проектування основ, при цьому вважається, що нижче зазначеної активної зони ґрунт не деформується;

у розрахунку використовують умовні модулі, що характеризують перехід з природного стану основи в стан після прикладання місцевого навантаження;

враховується зміна напружено-деформованого стану і механічних властивостей при тривісному циклічному навантаженні.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Розглянуто методику розрахунку несучої здатності плитно-пального фундаменту під час циклічного навантаження, включно з виразами для визначення: напружень у ґрунті міжпального простору, нижче вістря паль, під плитним ростверком і палях, граничних дотичних напружень у ґрунті, зони граничної рівноваги й умов досягнення граничної рівноваги. Несуча здатність визначається за величиною граничного опору ґрунтової основи за умовою обмеження розвитку в ній вертикальних деформацій у відповідність заздалегідь заданим умовам. Запропонована методика дає змогу достовірно розраховувати несучу здатність плитно-пального фундаменту в разі циклічного навантаження на всіх стадіях навантаження з урахуванням спільного деформування всіх елементів системи "плитний ростверк – палі – ґрунт міжпального простору – ґрунт нижче вістря палі".

Розглянуто метод розрахунку осідання плитно-пального фундаменту при циклічному навантаженні. Загальне осідання подається у вигляді суми осідань умовного фундаменту, додаткового осідання завдяки продавлюванню палею ґрунту на рівні підшви умовного фундаменту і додаткового осідання завдяки стисненню стовбура палі. Під час обчислення осідання умовного фундаменту приймають об'ємно-напружений стан ґрунту основи, враховують зміну напруженого стану, міцнісних і деформаційних характеристик ґрунту під час циклічного навантаження і використовують метод пошарового підсумовування деформацій.

Список літератури

1. Применение геоинформационных систем в инженерно-геологических изысканиях / **Р. А. Тимченко, Д. А. Кришко, С. О. Попов, М. О. Кравченко, Ю. В. Чугай** // 36. наук. ст. "Галузеве машинобудування, будівництво". – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 3 (38). – Т.2. – С. 359-367.
2. **Тимченко Р. А., Кришко Д. А.** Особенности совместного расчета системы «основание – фундамент – верхнее строение» высотных зданий // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг: КНУ, 2014. – Вип. 36. – С. 117-122.
3. Применение математического моделирования для оценки напряженно-деформированного состояния системы „основание – фундамент – верхнее строение” в сложных инженерно-геологических условиях / **Р. А. Тимченко, Д. А. Кришко, С. О. Попов, А. П. Сухан** // 36. наук. ст. "Строительство. Материаловедение. Машиностроение". Серия: Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении. – Дн-ск: ПГА-СА, 2014. – Вип. 78. – С. 263-269.
4. **Тімченко Р.О.** Проектування і розрахунок урівноважуючих плитних фундаментів: Навч. посібн. для студентів будівельних спеціальностей. – Кривий Ріг, Мінерал, 2005. □ 82 с
5. **Тимченко Р. А., Кришко Д. А.** Работа плитных фундаментов-саморегуляторов (ПФС) на неравномерно-деформируемом основании // Современные проблемы строительства. – Донецк, 2010. – № 9. С. 173-177.
6. **Шашкин К. Г.** Расчет напряженно-деформированного состояния основания фундаментов и здания с учетом их взаимодействия // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2003. – №4. – С. 15–25.

7. Катценбах Р., Шмитт А., Рамм Х. Основные принципы проектирования и мониторинга высотных зданий Франфурта-на-Майне. Случай из практики // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2005. – № 9. – С. 80-99.
8. Тер-Мартirosян З.Г. Современные проблемы механики грунтов при высотном строительстве // Инженерная геология. – М.: 2007. – С. 33-41.
9. Федоровский В. Г., Безволев С. Г., Дунаева О. М. Методика расчета фундаментных плит на нелинейно-деформируемом во времени основании // Нелинейная механика грунтов: Тр. IV Рос. конф. с иностр. участием. – СПб., 1993. – Т.1. – С. 81–86.
10. Ильичёв В. А., Петрухин В. П., Шейнин В. И. Принципы проектирования оснований и фундаментов высотных зданий, учитывающие их геотехнические особенности // Современное высотное строительство / ГУП «ИТЦ Москомархитектуры». – М., 2007. – С. 255-261.
11. Федоровский В. Г., Колыбин И. В. Расчеты и проектирование оснований и фундаментов // Современное высотное строительство / ГУП «ИТЦ Москомархитектуры». – М., 2007. – С. 255-261
12. Тер-Мартirosян З. Г., Теличенко В. И., Королев М. В. Проблемы механики грунтов, оснований и фундаментов при строительстве многофункциональных высотных зданий и комплексов // Вестник МГСУ. – 2006. – №1. – С.18-27.
13. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К. Г. Основы совместных расчетов зданий и оснований. – 2014. – 328 с.
14. Чунюк Д.Ю., Курилин Н.О. Оценка эффективности работы составляющих комбинированного свайно-плитного фундамента // Научное обозрение. – 2016. – № 16. – С.6-10.
15. Hanisch J., Katzenbach R., König G. Kombinierte Pfahl-Plattengrundungen. Ernst&Sohn. – 2002. – 222 p.
16. Katzenbach, R., Leppla S. Combined Pile-Raft Foundations (CPRF) in theory and engineering practice Current developments – 2016. – 64 p.
17. Eurocode 7. Geotechnical design in european engineering practice. – 1996. – 123 p.

УДК 621.312

І.О. СІНЧУК, канд. техн. наук, доц., М.Г. КОТЯКОВА, аспірантка
Криворізький національний університет

ПІДХІД ДО ПОКРАЩЕННЯ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Мета. Метою даної роботи є розробка адаптивної системи керування інверторами джерел розосередженої генерації з мінімізацією гармонічних викривлень вихідної напруги. Даний напрямок є актуальним у зв'язку з бурхливим розвитком джерел відновлювальної енергії, потенційним їх впливом на зниження якості електричної енергії, а також активним впровадженням інтелектуалізації промислових підприємств.

Для досягнення поставленої мети проаналізовано показники якості електричної енергії та визначено найбільш значимі для розподільчих мереж залізорудних підприємств. Запропоновано підхід адаптивного керування та контролю оптимальним рівнем якості електричної енергії за критерієм впровадження інтелектуальних технологій в виробничі процеси.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач і аналізу статистичних даних використано аналітичні методи – для дослідження рівнів відхилень електричної енергії у мережі залізорудного підприємства та нечітких нейронних мереж для побудови адаптивної системи контролю та керування якістю електричної енергії в розподільчих електромережах.

Наукова новизна. Вперше запропоновано підхід щодо адаптивної системи контролю та керування якістю електричної енергії з мінімізацією гармонічних викривлень вихідної напруги в умовах розподільчих мереж залізорудних підприємств.

Практична значимість. Запропонований підхід покращення якості показників електричної енергії залізорудних підприємств може мати практичне втілення при інтеграції відновлювальних джерел енергії в розподільчі мережі підприємств, а також при інтелектуалізації промислових процесів.

Результати. У статті запропоновано підхід щодо вирішення наукового завдання з теоретичного обґрунтування та розбудови принципів визначення, контролю параметрів показників якості електричної енергії та побудови систем коригування енергетичних показників електричної енергії шляхом керованого впливу на роботу мережевого інвертора, за рахунок застосування теорії нейро-нечітких мереж у системі керування його роботою за даними діючого значення основних показників якості електричної енергії та імперично розрахованих показників втрат електричної енергії у розподільчій мережі залізорудних підприємств. Результати моделювання запропонованого підходу контролю та керування рівнем якості електричної енергії у мережі показав достатній нормований рівень якості електричної енергії для впровадження сучасних інтелектуальних технологій.

Ключові слова: система електропостачання, показники якості електричної енергії, електропостачання, відновлювальні джерела енергії, якість електричної енергії.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На сьогоднішній день, більше 80% електроенергії на залізничних підприємствах споживається різноманітними системами електроприводів, з них, близько 60% випадає на синхронні двигуни. Останнє надає змогу робити висновок щодо високого потенціалу компенсації реактивної потужності синхронними електроприводами. Аналізуючи побудовані діаграми (**Ошибка! Источник ссылки не найден.** 1), видно, що циклічне навантаження (скіповий підйом) майже у два рази менше (до уваги береться тільки установлена потужність електричних машин змінного струму) від сумірного сталого навантаження (насоси, вентилятори, турбокомпресори) [1, 9].

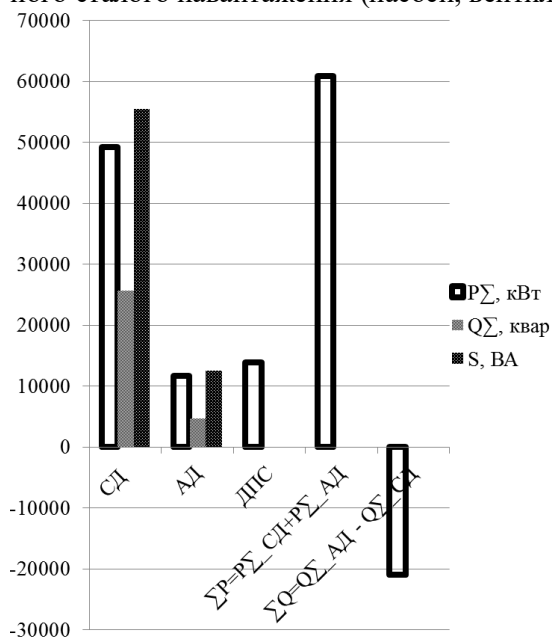


Рис. 1. Розподіл встановленої номінальної активної та реактивної потужності двигунів головних та допоміжних приводів потужністю більше 500 кВт за видами приводів (ш. «Козацька»)

Отже, загальної компенсаційної здатності встановлених синхронних машин на шахті Козацька достатньо для компенсації реактивної потужності асинхронних машин, тиристорних приводів постійного струму та реактивних втрат в елементах мережі. Звісно, що система керування компенсаційною здатністю синхронних машин повинна враховувати перш за все надійне виконання технології, мінімум втрат у промислових електричних мережах, підтримання рівня напруги електричних мереж на нормованому рівні та недопускання перекомпенсації на межі балансової належності.

В руслі переходу від оптового ринку електроенергії єдиного покупця до балансуючого і до електропостачання за двосторонніми договорами в останні роки і на перспективу в Україні спостерігається тенденція переходу від чисто централізованого електропостачання до комбінованого, коли зростає кількість місцевих джерел електроенергії. До місцевих джерел електроенергії, що працюють безпосередньо в мережах 10–6–0,38 кВ, відносяться як традиційні джерела невеликої потужності, так і альтернативні. Як альтернатива традиційним розвиваються відновлювані джерела електроенергії (ВДЕ), когенераційні установки, газо- та парогазові установки та ін [2].

Разом з тим електричні мережі (ЕМ) енергосистем проектувалися і споруджувалися за умов централізованого електропостачання, коли електроенергія від крупних теплових і атомних електростанцій трансформуючись передавалась до споживачів.

З розбудовою в розподільних електричних мережах розосереджених джерел електроенергії (РДЕ) виникають нові задачі, такі як, необхідність оптимізації комбінованого електропостачання від ЕЕС і розосередженого генерування, узгодження покриття графіка навантаження розосередженими джерелами, які в силу своїх фізичних особливостей можуть видавати потужність за різними графіками, оцінка впливу РДЕ на значення струмів короткого замикання і, відповідно, на роботу релейного захисту та автоматики, оцінка впливу на техніко-економічні показники РЕМ, тощо [2].

Вплив РДЕ на режими РЕМ суттєво залежить від значення сумарного розосередженого генерування в ній, від одиничної встановленої потужності РДЕ та їх типу, а також від їх місця під'єднання в електричній мережі (це можуть бути шини нижчої напруги підстанцій або відгалуження ліній електропередачі).

Крім того слід враховувати, що одночасно змінюються економічні умови функціонування електроенергетики як галузі, зокрема змінюється модель оптового ринку. У випадку реалізації електропостачання за двосторонніми договорами за участі РДЕ, коли останні видають потужність в електричну мережу, постає необхідність узгодження їх роботи з енергосистемою, від якої здійснюється централізоване живлення.

Це стає обов'язковим, коли встановлена потужність РДЕ в ЕМ складає суттєву частку від її сумарного навантаження (наприклад, 20% і більше). В цьому випадку РЕМ можна і доцільно розглядати як локальну електричну систему (ЛЕС), в якій окрім зазначених вище задач постають задачі дослідження статичної і динамічної стійкості РДЕ та інші, характерні для електричної системи [3].

Актуальною задачею є отримання максимального прибутку від експлуатації ВДЕ для їх розбудови за умови зменшення втрат електроенергії та покращення її якості в РЕМ, а також підвищення надійності електропостачання. При цьому, враховуючи що електроенергія від РДЕ передається лініями РЕМ одночасно з електроенергією інших джерел, то необхідно виділяти з сумарних втрат електроенергії ту частку, яка стосується транзиту від РДЕ [4].

Аналіз досліджень і публікацій. Кагортою науковців розглядається цілий ряд систем керування та контролю, що дозволяють зменшити та визначити гармонічне спотворення сигналів [1-14]. Завданням таких систем є наближення вихідної напруги інвертора до синусоїдального сигналу завдання з усуненням інших гармонічних складових. Значна увага дослідників присвячена системам повторюваного керування мережевими інверторами [8], що використовують прості навчальні методи, які дозволяють усунути періодичні похибки у динамічних системах з використанням внутрішньої моделі. Перевагою такого підходу є те, що при цьому може враховуватися велика кількість гармонійних складових, забезпечуючи низькі показники коефіцієнту загального гармонічного спотворення. Недоліком такого підходу є необхідність проведення значного обсягу експериментальних досліджень для визначення задаючих сигналів гармонік.

Між тим, важливою складовою аналізу способів поліпшення якості електричної енергії є з'ясування причин їх погіршення. Якщо розглядати питання якості електричної енергії у контексті коефіцієнту загального гармонічного спотворення струму, то актуальним напрямком розвитку даного питання є розвиток структур силових активних фільтрів [1-14].

Постановка завдання. Метою роботи є розробка адаптивної системи керування інверторами джерел розосередженої генерації з мінімізацією гармонічних викривлень вихідної напруги. Даний напрямок є актуальним у зв'язку з бурхливим розвитком джерел відновлювальної енергії, потенційним їх впливом на зниження якості електричної енергії, а також активним впровадженням інтелектуалізації промислових підприємств.

Викладення матеріалу та результати. Важливим напрямком впливу на втрати електроенергії у розподільних мережах є розосереджені джерел енергії (РДЕ). Очевидно, що на значення втрат в електричних мережах (ЕМ) впливають як параметри РДЕ, так і схеми їх приєднання. Тож, виходячи з типових схем приєднання РДЕ до розподільних мереж, за певних потужностей генерування вони частково компенсують потоки потужності, що зумовлені навантаженням споживачів, і надходження електроенергії з боку системи зменшується. Разом з цим зменшуються втрати електроенергії в розподільних мережах.

Якщо генератор під'єднаний до енергосистеми на підстанції, зміна напруги на будь-якій лінії, що живиться від цієї підстанції, менше 0,5% для найважчих досліджених умов. Якщо генератор приєднаний ближче до кінця лінії, різкі зменшення швидкості вітру та його пориви викликають коливання напруги у розподільній мережі, що дорівнює 2,2 %.

Допустимість зазначених відхилень напруги залежить від їх частоти, виду та від стандартів, встановлених для енергосистеми, до мереж якої підключається генератор. Оптимізація управління, пов'язаного зі зміною кута установки лопатей та регулювання напруги генератора, може зменшити коливання напруги в мережі. Мало ймовірно, що максимальні проектні пориви вітру можуть спричинити випадання генератора із синхронізму за типових умов його роботи.

Зниження напруги в мережі у зв'язку з підключенням до неї вітроенергетичних установок (ВЕУ) може виникнути в процесі пуску та зупинки ВЕУ та в результаті коливань їх потужності через зміни швидкості вітру. Для ВЕУ з синхронними генераторами зниження напруги, що відбувається при пуску, може бути повністю запобігти в результаті застосування автоматичної синхронізації, яка широко використовується в енергосистемах. У разі ВЕУ з асинхронними генераторами, причиною зниження напруги в мережі буде підключення до генераторів батареї конденсаторів, що використовуються для поліпшення $\cos \phi$.

Одночасні або незалежні флуктуації частоти і великі флуктуації напруги небажані для споживачів і повинні бути запобігати. Великі флуктуації напруги, зумовлені роботою ВЕУ, мо-

жна припустити, якщо вони трапляються рідко. Часті ж флуктуації напруги викликать претензії з боку споживачів енергосистеми, якщо коливання напруги не відповідатиме встановленим вимогам [9].

На рис. 2 представлено модель, побудовану в середовищі Mat Lab. До її складу входить загальна мережа 35 кВ, понижувальна трансформаторна підстанція 35/6 кВ, лінія протяжністю 10 км до понижувальної підстанції 6/0,4 кВ, понижувальна підстанція 6/0,4 кВ, лінія протяжністю 1 км до споживача електричної енергії, блок IGBT перетворювачів по 2 на кожну фазу та споживач електричної енергії, який представлено трифазним асинхронним двигуном 15 кВт.

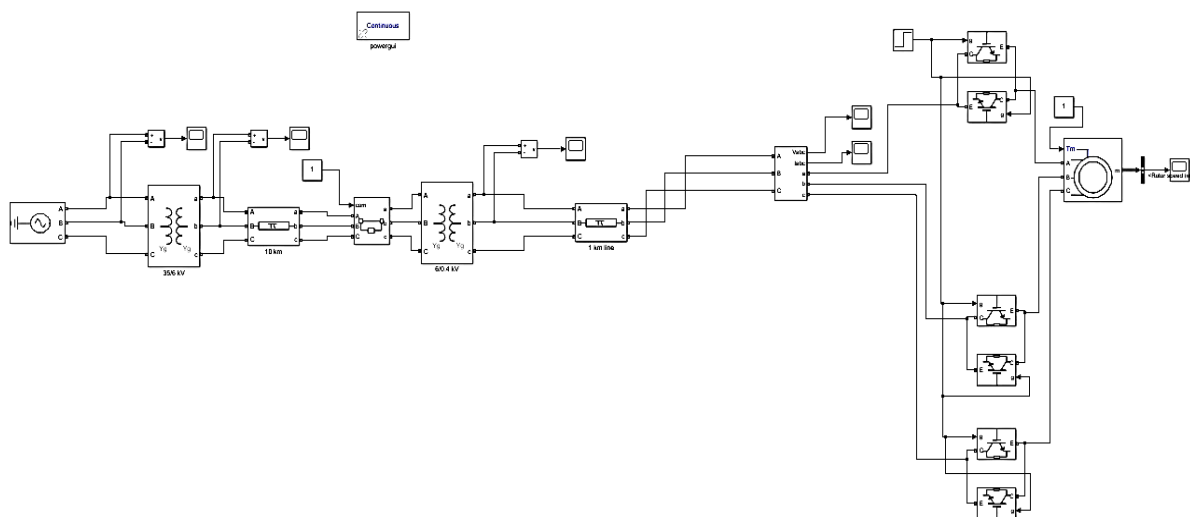


Рис. 2. Модель системи електропостачання навантаження промислового об'єкту 35/0,4кВ

Таким чином, на рис. 3-5 можна спостерігати особливості впливу перехідних процесів одних із самих розповсюджених та потужних споживачів електричної енергії – електричних двигунів.

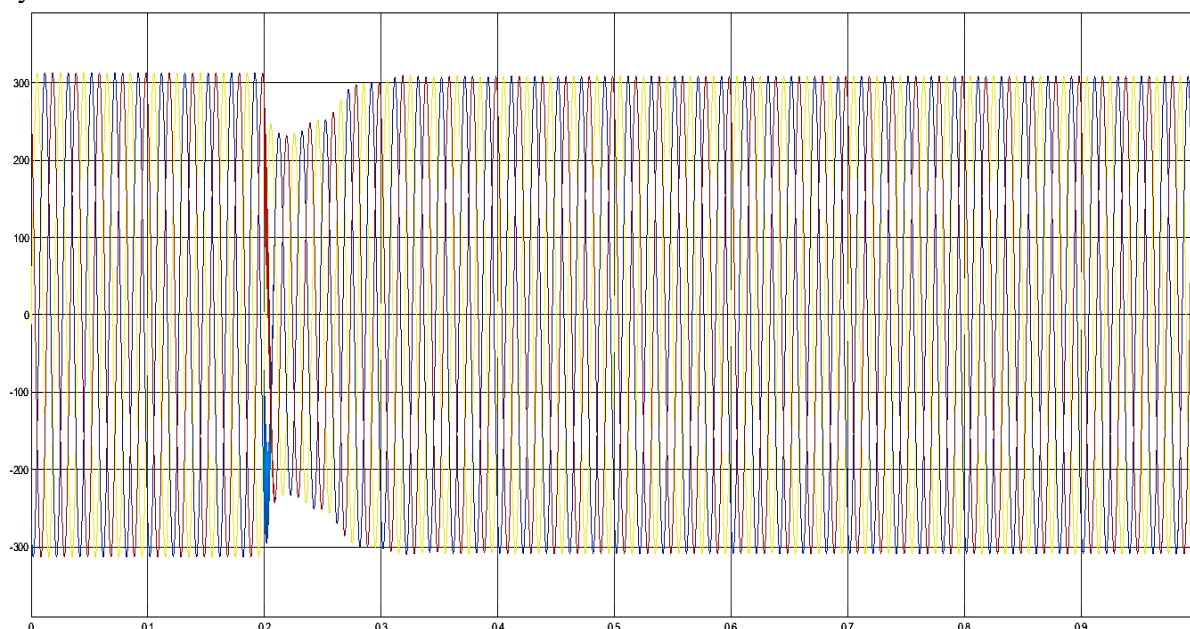


Рис. 3. Графік напруги на стороні 0,4 кВ навантаженням по фазам *a, b, c* (В)

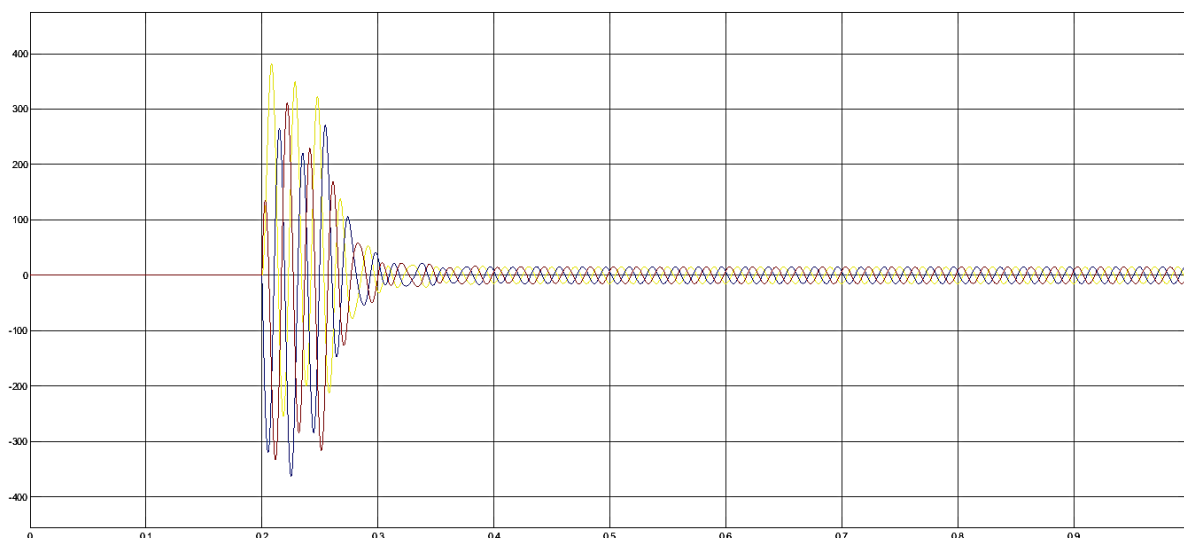


Рис. 4. Графік струму на стороні 0,4 кВ навантаженням по фазам *a, b, c* (А)

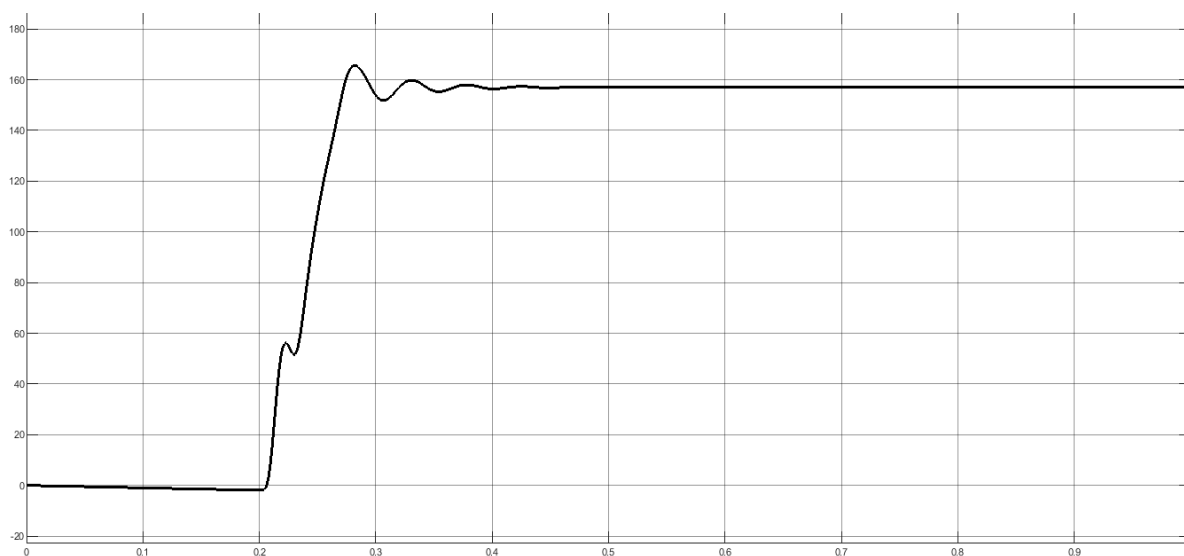


Рис. 5. Графік швидкості обертів ротора асинхронного двигуна (пусковий режим) (проміжок перехідного процесу запуску двигуна) (об./хв.)

Як видно з рис. 3-5, перехідні процеси запуску електричних двигунів також мають місце саме на ділянці мережі до якої під'єднані. Перехідний процес не має суттєвого впливу на інші ділянки мережі на стороні вищої напруги і не поширюється в загальну мережу. Між тим, має суттєвий вплив на ділянку мережі до якої під'єднаний, негативно впливаючи на показники якості як складових струму так і складових напруги.

Між тим, з кожним роком інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) відіграють все більш важливе значення у житті людей, посилюючи при цьому свій вплив на соціально-економічний розвиток країни. Останнім часом широким попитом користуються як окремі телекомунікаційні сервіси (доступ до мережі Інтернет, відеоспостереження, віддалений контроль за опаленням, освітленням і т.д.), так і сучасні концепції, покликані автоматизувати певні побутові процеси, урізноманітнити дозволя, спростити доступ до соціальних послуг і т.д. («розумний будинок» (Smart Home), «розумне місто» (Smart City) та «Інтернет речей» (IoT)).

Однак, необхідною умовою для використання потенціалу перелічених концепцій є наявність мереж швидкого доступу, здатних забезпечувати високу пропускну здатність. На сьогодні основою для побудови мереж швидкого доступу є телефонні мережі загального користування (ТМЗК), оптоволоконні мережі, кабельні мережі, мобільні та супутникові мережі, а також ме-

режі електричної проводки (технологія PLC). Кожна з них має свої переваги і недоліки, які обумовлюють доцільність їх використання в тих чи інших умовах. Зокрема, мережі електричної проводки (МЕР) використовують як середовище поширення сигналів при побудові інфраструктури згідно з концепцією «розумне місто» для організації сервісів віддаленого контролю за показаннями різноманітних датчиків, встановлених у будівлі, а також при розгортанні «розумного будинку».

Технологія PLC – перспективна телекомунікаційна технологія, яка, працюючи по силових електромережах, дозволяє організувати високошвидкісний інформаційний обмін. В залежності від швидкості передавання, PLC поділяється на широкосмугову (BPL) зі швидкістю більше 1 Мбіт/с і вузькосмугову (NPL).

Однак, за таких можливих варіантів підключення джерел розосередженої генерації до електричної мережі підприємства, та зважаючи на стохастичний характер функціонування відновлювальних джерел енергії, на потужностях яких мають вони базуватися слід приділити увагу аспектам якості електричної енергії, як локального показника, а не загального показника в мережі підприємства [10].

Таким чином, зважаючи на всі зазначені аспекти, умови та чинники запропоновано схему системи контролю та керування рівнем якості електричної енергії (рис. 6).

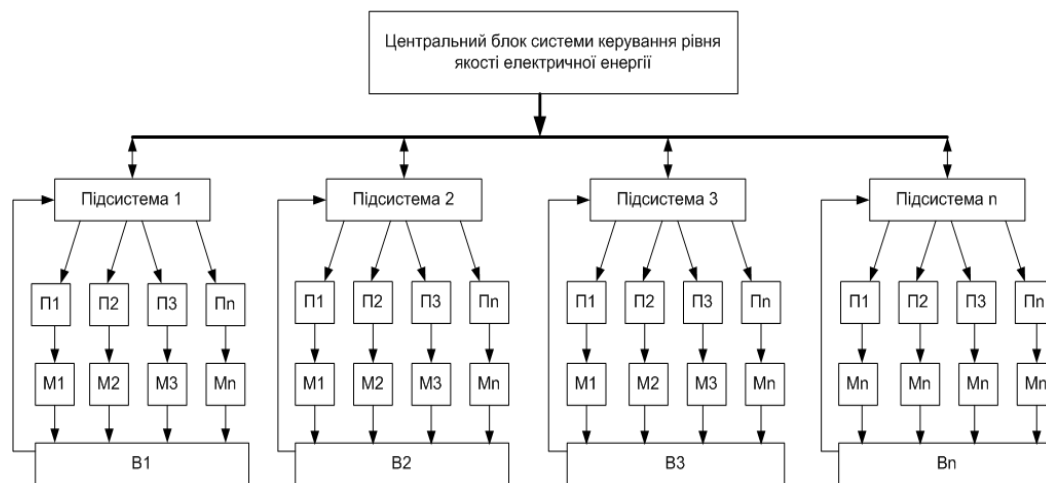


Рис. 6. Схема системи контролю та керування рівнем якості електричної енергії

На рис. 6 зображена запропонована схема системи контролю та керування рівнем якості електричної енергії, де B1-n – вимірювальні блоки відповідних показників якості електричної енергії в ділянках мережі M1-n, що регулюються відповідними пристроями П1-n. Алгоритм дає можливість корегування відповідних показників якості електричної енергії централізовано-децентралізованим способом управління на відповідних ділянках мережі з підключенням розосереджених джерел електричної енергії на базі відновлювальних джерел енергії.

Враховуючи можливість адаптивного управління якістю електричної енергії у мережі централізовано-децентралізованим способом, є можливим впровадження технології PLC для передавання інформації у аспекті інтелектуалізації систем управління електропостачанням та впровадження технологій Micro Grid. Зважаючи на актуальність інтелектуалізації систем управління електропостачанням є можливим впровадження технології PLC для передавання інформації у Micro Grid, що позбавить труднощів з передачею управляючого сигналу та передачі даних до системи управління [2].

На основі дерева логічного висновку конструктивних і технологічних факторів змодельємо структуру ієрархічної нейронечіткої мережі (рис. 7).

Кожен елемент цієї структури являє собою певний рівень логічного дерева впливу на якість системи електропостачання. Кожен елемент має терм-набір експертних оцінок, який вказується на вході параметрів у рядку: «Н – низький», «С – середній», «В – високий».

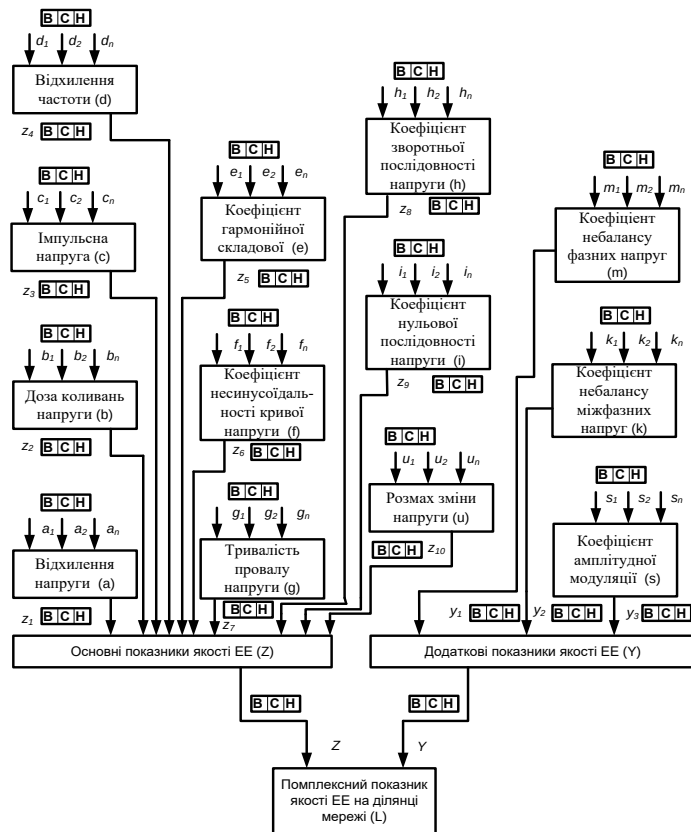


Рис. 7. Структура ієрархічної нейронечіткої мережі для визначення та контролю показників якості системи електропостачання

Фактори впливу, що впливають на якість системи електропостачання

$$\begin{aligned}
 L &= f_L(Y, Z); \\
 Z &= f_z(z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7, z_8, z_9, z_{10}), \\
 Y &= f_Y(y_1, y_2, y_3); \\
 z_1 &= f_{z1}(a_1, a_2, a_n), \\
 z_2 &= f_{z2}(b_1, b_2, b_n), \\
 z_3 &= f_{z3}(c_1, c_2, c_n), \\
 z_4 &= f_{z4}(d_1, d_2, d_n), \\
 z_5 &= f_{z5}(e_1, e_2, e_n), \\
 z_6 &= f_{z6}(f_1, f_2, f_n), \\
 z_7 &= f_{z7}(g_1, g_2, g_n), \\
 z_8 &= f_{z8}(h_1, h_2, h_n), \\
 z_9 &= f_{z9}(i_1, i_2, i_n), \\
 z_{10} &= f_{z10}(u_1, u_2, u_n), \\
 y_1 &= f_{y1}(m_1, m_2, m_n), \\
 y_2 &= f_{y2}(k_1, k_2, k_n), \\
 y_3 &= f_{y3}(s_1, s_2, s_n),
 \end{aligned}$$

де Y - лінгвістична змінна, що описує основні показники якості електричної енергії; Z - лінгвістична змінна, що описує додаткові показники якості електричної енергії; Z_1 - відхилення напруги; Z_2 - доза коливань напруги; Z_3 - імпульсна напруга; Z_4 - відхилення частоти; Z_5 - коефіцієнт гармонійної складової; Z_6 - коефіцієнт несинусоїдальності кривої напруги; Z_7 - тривалість про-

валу напруги; Z_8 - коефіцієнт зворотної послідовності напруги; Z_9 - коефіцієнт нульової послідовності напруги; Z_{10} - розмах зміни напруги; y_1 - коефіцієнт небалансу фазних напруг; y_2 - коефіцієнт небалансу міжфазних напруг; y_3 - коефіцієнт амплітудної модуляції; $a, b, c, d, e, f, g, h, i, u, m, k, s$ – відповідні параметричні входи показників якості електричної енергії на відповідних 1, 2, n ділянках розподільчої електричної мережі.

Лінгвістичній постановці, що описує вплив різних параметрів електричної мережі на якість системи електроживлення, відповідає наступна система рівнянь нечіткої логіки

$$\mu_H(e) = \mu_H(e_1) \wedge \mu_H(e_2) \wedge \mu_H(e_3) \vee \mu_H(e_1) \wedge \mu_H(e_2) \wedge \mu_H(e_3) \vee \mu_H(e_1) \wedge \mu_H(e_2) \wedge \mu_C(e_3),$$

$$\begin{aligned} \mu_C(e) = & \mu_C(e_1) \wedge \mu_C(e_2) \wedge \mu_H(e_3) \vee \mu_H(e_1) \wedge \mu_C(e_2) \wedge \mu_E(e_3) \vee \mu_C(e_1) \wedge \\ & \wedge \mu_H(e_2) \wedge \mu_E(e_3) \vee \mu_C(e_1) \wedge \mu_C(e_2) \wedge \mu_H(e_3) \vee \mu_H(e_1) \wedge \mu_E(e_2) \wedge \mu_C(e_3) \vee \mu_E(e_1) \wedge \\ & \wedge \mu_H(e_2) \wedge \mu_C(e_3) \vee \mu_C(e_1) \wedge \mu_C(e_2) \wedge \mu_E(e_3), \end{aligned}$$

$$\mu_E(e) = \mu_E(e_1) \wedge \mu_C(e_2) \wedge \mu_E(e_3) \vee \mu_E(e_1) \wedge \mu_C(e_1) \wedge \mu_C(e_3) \vee \mu_E(e_1) \wedge \mu_E(e_2) \wedge \mu_E(e_3).$$

Отримана база знань щодо зв'язків нечітких термів вхідних і вихідних лінгвістичних змінних дозволяє оптимізувати керуючий сигнал системи управління та контролю якості електричної енергії за відповідними показниками у зазначених контрольованих ділянках розподільчої мережі.

Результати моделювання системи електропостачання з використання джерел розосередженої генерації наведені на рис. 8-10.

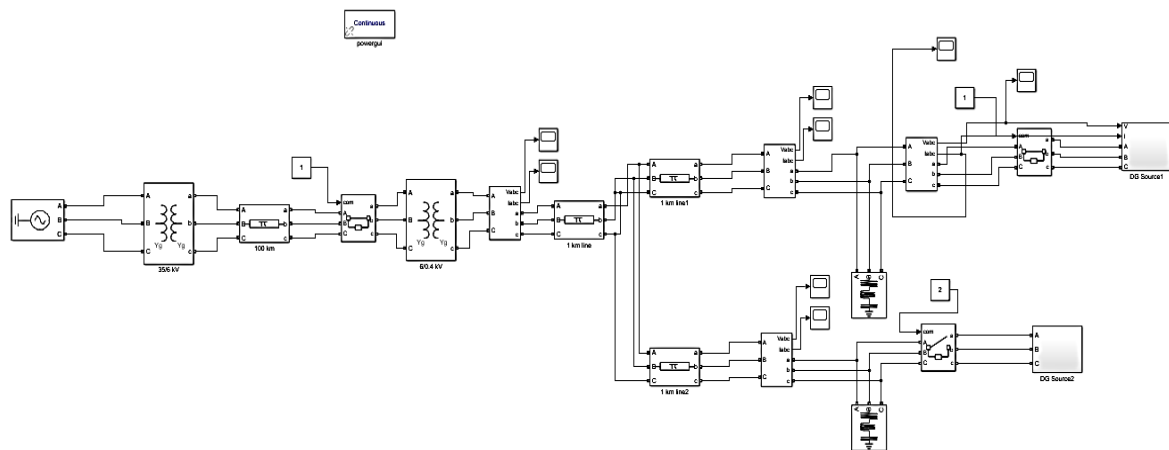


Рис. 8. Модель системи електропостачання у середовищі Matlab/Simulink з використання одного джерела розосередженої генерації

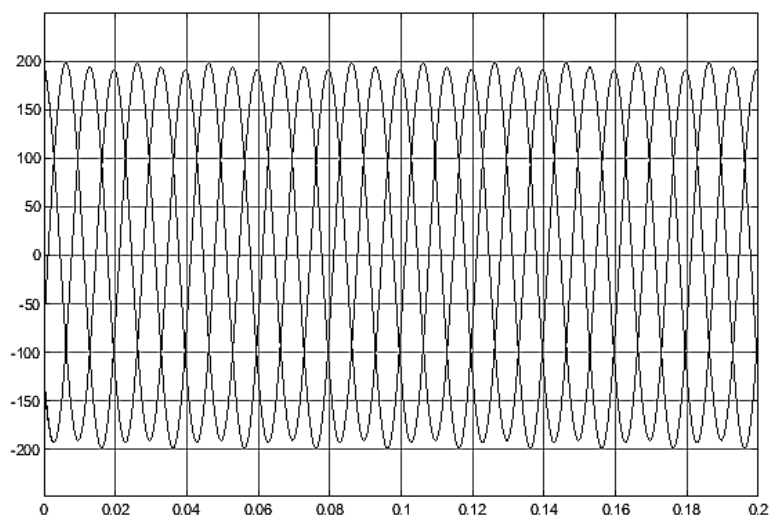


Рис. 9. Графік напруги фаз A, B, C 0,4 кВ після фільтру (В)

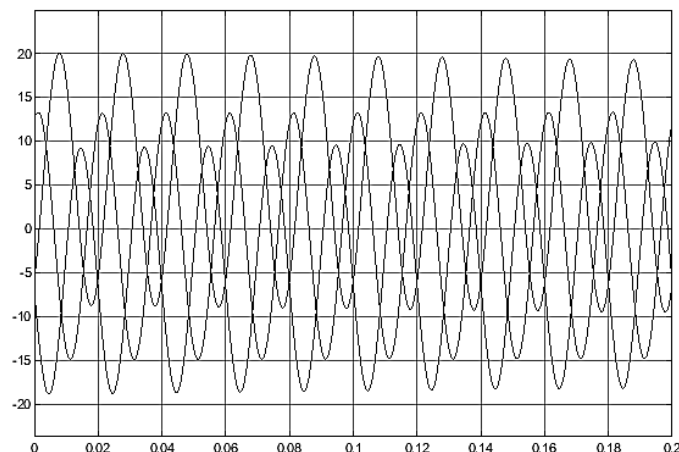


Рис. 10. Графік струму фаз А, В, С 0,4 кВ після фільтру (А)

Наведені результати моделювання вказують на можливість впровадження сучасних систем передачі керуючих сигналів силовими розподільчими мережами залізничних підприємств.

Висновки та напрямок подальших досліджень. У статті запропоновано підхід щодо вирішення наукового завдання з теоретичного обґрунтування та розбудови принципів визначення, контролю параметрів показників якості електричної енергії та побудови систем коригування енергетичних показників електричної енергії шляхом керованого впливу на роботу мережевого інвертора, за рахунок застосування теорії нейро-нечітких мереж у системі керування його роботою за даними діючого значення основних показників якості електричної енергії та імперично розрахованих показників втрат електричної енергії у розподільчій мережі залізничних підприємств.

Враховуючи актуальність та необхідність застосування технології PLC для передавання інформації у Micro Grid залізничних підприємств є необхідність впровадження адаптивного керування якістю електричної енергії у мережі цих підприємств централізовано-децентралізованим способом, з метою підтримання належного рівня показників якості електричної енергії в мережі.

Результати моделювання запропонованого підходу контролю та керування рівнем якості електричної енергії у мережі показав достатній нормований рівень якості електричної енергії для впровадження сучасних інтелектуальних технологій.

Список літератури

1. Енергоефективність та відновлювальні джерела енергії / Під заг. ред. **А. К. Шидловського**. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2007 – 560 с.
2. **Бойко С.М.** Теоретичні засади формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації гірничорудних підприємств. Монографія, під редакцією доктора техн. наук, професора **О.М. Сінчука**. – Кременчук, 2020. – 263с.
3. **Stognii B., Kyrylenko O., Prakhovnyk A., Denysiuk S.** The evolution of intelligent electrical networks and their prospects in Ukraine // *Tekhnichna elektrodynamika*. – 2012. – № 5. – pp. 52–67.
4. **Кириленко, В.В. Павловський, Л.М. Лук'яненко.** Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах. – *Технічна електродинаміка*. 2011. № 1. – С. 46-53
5. **Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л.** Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 261 с.
6. Аналіз споживання електроенергії з контролем якості в розподільних мережах / **О. Г. Гриб, Ю. О. Сиротин, Д. А. Гапон, А. В. Дяченко, Т. С. Іерусалимова, О. В. Бортніков** // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічні науки*. – Харків : ХНТУГС, 2015. – С. 9–10.
7. **Козакевич І.А.** Система енергоефективного керування динамічним компенсатором викривлень напруги / **І.А. Козакевич, А.А. Кондратенко** // *Гірничий вісник*. – 2019. – Випуск 105. С. 154-159.
8. **Козакевич І.А.** Система керування вентильними реактивними двигунами / **І.А. Козакевич, І.І. Шевченко** // *Гірничий вісник*. – 2017. – Випуск 102. С. 135-138.
9. **Сінчук І.О.** Превентивна оцінка і основні напрями підвищення енергоефективності підземних залізничних підприємств / **І.О. Сінчук, І.А. Козакевич, М.Л. Барановська, Т.М. Берідзе, І.І. Пересунько** // *Вісник Криворізького національного університету. Збірник наукових праць*. – Кривий Ріг, 2020. – Вип. 50. С. 142-147.
10. **Jahanbakhshi M.** A novel deadbeat controller for single phase PV grid connected inverters / **M. Jahanbakhshi, B. Asaei, B. Farhangi** // *23rd Iranian Conference on Electrical Engineering*. – Tehran, 2015. – Pp. 1613-1617.
11. **Kanai N.** A Study of Quasi Multi-rate Deadbeat Controller for Modular Multi-level Converter using FPGA based Hardware controller / **N. Kanai, S. Kurita, T. Ando and T. Yokoyama** // *IEEE 4th International Future Energy Electronics Conference (IFEEEC)*. – Singapore, Singapore, 2019. – Pp. 1-5.

12. **Tao Y.** Deadbeat Repetitive Control for a grid-connected inverter with LCL Filter / **Y. Tao, C. Tan, Q. Chen, L. Zhang, K. Zhou, L. Liu** // IEEE 15th International Conference on Control and Automation (ICCA). – Edinburgh, United Kingdom. – 2019. – Pp. 573-577.

13. **Ueta H.** 1MHz multisampling deadbeat control with disturbance compensation method for three phase PWM inverter / **H. Ueta, T. Yokoyama** // International Power Electronics Conference (IPEC-Niigata 2018 -ECCE Asia). – Niigata, 2018. – Pp. 1883-1889.

14. **Xing Y.** An improved deadbeat plus plug-in repetitive controller for three-phase four-leg inverters / **Y. Xing, C. Tan, Q. Chen, L. Zhang, K. Zhou** // IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. – Beijing, 2017. – Pp. 6325-6329.

УДК 621.311:620.92

О.А. ШРАМ, канд. техн. наук, доц., Ю.Г. КАЧАН, д-р техн. наук, проф.

Національний університет «Запорізька політехніка»

ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНИХ ЗАСОБІВ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Метою дослідження є аналіз сучасних способів накопичення електроенергії, які можуть бути використані в мережах промислових підприємств та визначення доцільності їх застосування.

Методи дослідження. У статті використано теоретичні та емпіричні загальнонаукові методи дослідження, опис, аналіз та узагальнення тощо.

Наукова новизна. В роботі представлено аналіз доцільності використання різних засобів накопичення електричної енергії в мережах промислових підприємств з метою зменшення перетоків енергії при використанні відновлюваних джерел.

Практична значимість дослідження полягає в визначенні доцільних засобів накопичення електроенергії в мережах промислових підприємств, оскільки дає можливість зменшити небажані двонаправлені перетоків енергії та знизити її втрати.

Результати дослідження. В статті розглянуто сучасні способи накопичення електроенергії, які можуть бути використані в мережах промислових підприємств. До них відносяться акумуляторні батареї, двошарові електростатичні конденсатори, гідроакумуляуючі станції та водневі установки. Проведений аналіз технічних параметрів різних типів літєвих акумуляторних батарей показав, що використання цього засобу накопичення ускладнене через проблеми організації плаваючого заряджання та неможливості роботи в режимі струмових переважань. Використання суперконденсаторів в якості накопичувачів енергії обмежено значною питомою вагою високою вартістю. В той же час паралельна робота суперконденсаторів разом з акумуляторними батареями дозволяє суттєво покращити експлуатаційні характеристики останньої. Проведено аналіз використання гідроакумуляуючих станцій в мережах з відновлюваними джерелами енергії. Зазначено, що для ефективної роботи гідроакумуляуючої станції на території підприємства необхідно вирішити проблему накопичення великої кількості води. Високий потенціал щодо ефективного зберігання енергії мають новітні натепер водневі накопичувачі.

В статті розглянуто сучасні способи перетворення водню в електричну енергію за допомогою твердооксидних паливних елементів. Представлено технічні характеристики паливних комірок найбільш крупних виробників США, Канади, Німеччини, Японії, Південної Кореї.

Ключові слова: накопичувач енергії, відновлювані джерела енергії, паливна комірка, воднева енергетика, суперконденсатор, електрична енергія.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-52-59

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Значні коливання обсягів споживання енергії в електромережах промислових підприємств, а також зростаючі обсяги впровадження ними у якості власних розосереджених на їх території додаткових джерел останньої, таких як вітро- й геліоустановки, призводить до значних і небажаних двонаправлених перетоків енергії, надто великих коливань потужності, погіршення електромагнітної сумісності у мережах, тощо [1]. Обсяги генерації зазначених джерел мають випадковий характер через залежність від конкретних погодних умов, тож їх використання без можливості накопичення достатньо великої кількості енергії є проблематичним.

Місце розташування зазначених накопичувачів у промислових електромережах може бути або безпосередньо біля вітроустановки чи сонячної електростанції, або у місцях найбільших перетоків енергії. Все це залежить від обсягів такої генерації та потужності її споживачів на конкретному підприємстві.

Постановка задачі. Метою дослідження є аналіз сучасних способів накопичення електроенергії, які можуть бути використані в мережах промислових підприємств та визначення доцільності їх застосування.

Аналіз досліджень та публікацій. Натепер існує декілька способів накопичення електроенергії, заснованих на використанні акумуляторних батарей, двошарових електростатичних конденсаторів, гідроакумуляуючих станцій і поки що недостатньо відомих й, звідси, нерозповсюджених водневих установок. Кожен з них має свої недоліки й переваги щодо використання, а, отже, й потребує з'ясування його доцільності у випадку, що розглядається. Остання ж визначається за такими показниками:

- наявність коливань напруги на шинах пристрою при його розрядженні;
- стабільність ємності акумулятора;
- наявністю і величиною струму саморозряду, який фактично визначає ККД акумулятора;
- можливістю прискореного заряджання.

Найбільш розповсюдженими зараз є електрохімічні акумулятори, найстаріший з яких - свинцево-кислотний (СКАБ). Не дивлячись на появу більш досконалих типів таких пристроїв, останній використовується й донині. Але згідно з [2] в існуючих варіантах використання сонячних чи вітрових джерел енергії СКАБ застосовувати не доцільно. Це обумовлено тим, що реалізувати щодо них так зване плаваюче заряджання, коли АБ під'єднується паралельно навантаженню і заряджається чи розряджається хаотично, взагалі неможливо.

Пристрої іншої, ніж СКАБ системи, так звані лужні чи нікель-залізні акумулятори (НЗАБ) вже мають значні переваги у порівнянні з першими, а саме: витримують великі перевантаження, не виходять з ладу навіть при нетривалих коротких замиканнях чи глибоких ступенях розряду, достатньо довго можуть знаходитися у фактично розрядженому стані тощо. Але і їх застосування у системах електропостачання з ВДЕ теж є проблематичним.

Перш за все це обумовлено тим, що саморозряд НЗАБ за наявності електрода навіть із чистого заліза за місяць становить близько 40%, а із технічного - взагалі до 80%. А це фактично зводить нанівець ККД таких пристроїв. До того ж заряджання НЗАБ, згідно з [3], робиться невеликими постійними струмами протягом 6 – 7 годин. При цьому треба стежити за температурою електрода, яка не повинна бути більше ніж +40°C. Прискорене ж заряджання таких акумуляторів супроводжується інтенсивним газовиділенням, що може призвести навіть до їх вибухів.

Лужні акумулятори з кращими можливостями з'явилися з появою сплаву La-Ni-Co. Ці, так звані, нікель-металогідридні пристрої (НМГАБ) дозволяють адсорбувати водень протягом 100 циклів заряджання-розряджання. На відміну від НЗАБ останні пристрої припускають і швидке заряджання, яке при підтриманні величини напруги на їх клеммах у 0,8 – 1,8 В забезпечує до того ж високий ККД (близько 90%). Хоча в кінці зазначеного процесу останній дещо зменшується через те, що накопичена в АБ енергія починає поступово перетворюватися в теплоту. Та все ж можливості використання нікель-металогідридних акумуляторів у системах електропостачання з ВДЕ так і залишилися, на жаль, фактично не вивченими.

І це обумовлено тим, що на ринку накопичувачів енергії з'явилися дещо нові і більш сучасні літєві акумулятори (ЛАБ), які стали тепер найбільш споживаними. Вони мають у порівнянні з СК, НЗ і, навіть, НМГ-акумуляторами кращі питомі енергетичні характеристики, значно більший ресурс придатності та суттєво більший ККД. Їх незначний саморозряд обумовлений тим, що літєвий електрод у будь-яких електролітах покривається пасивною захисною плівкою, що перешкоджає розчиненню активного матеріалу анода.

Згідно з [4] загальна річна ємність всіх типів літєвих акумуляторів, що з'явилися на ринку вже наприкінці 2015 року досягла 60 000 МВт·год, тоді як всіх інших - лише 10 000 МВт·год. Існує ж тепер три їх типи:

- з металевим літєвим електродом і рідким електролітом;
- літій-іонні;
- літій-полімерні.

Хоча виробники літєвих пристроїв і рекомендують здійснювати їх заряджання протягом 2 - 3 годин за двоступінчастим циклом: спочатку незначним постійним струмом до досягнення необхідного значення напруги, а потім вже лише підтримувати її незмінною, та зараз вже підтверджена можливість здійснювати це й у прискореному режимі. Так в роботі [5] наведено приклад, коли літій-іонну АБ, стінки якої були покриті металевою фольгою, вдалося зарядити до

80% ємності лише за 14 хвилин. І при цьому впродовж 500 циклів. Автори роботи [6] розглядають зміну вартості акумуляторних батарей з перспективою до 2050 року. Зазначається, що при постійному зростанні ринку акумуляторів очікується зниження їх вартості незалежно від динаміки цін на сировину.

Технічні характеристики сучасних типів літєвих акумуляторів наведені в табл. 1. Очевидно, що літій-залізо-фосфатні й літій-титанові вже зараз мають велику перспективу щодо використання в електромережах з відновлюваними джерелами енергії й зростатиме вона в міру збільшення обсягів їх виробництва, а, отже, й зменшення питомої вартості таких накопичувачів (грн/кВт·год). При цьому, хоча у останніх з них термін експлуатації найбільший і досягає 7 000 циклів, перші за іншими показниками все ж мають деяку перевагу. Та все ж, на жаль, жоден з існуючих натеper, навіть, літєвих, акумуляторів не здатен працювати в режимі струмових перевантажень.

Цікавими у використанні, що розглядається, стали нові накопичувачі енергії, так звані, суперконденсатори (СК), з великою ємністю (понад 3000 Ф), яка зберігає її в подвійному електричному шарі на поверхні високопористої структури. Вони є хітом ХХІ століття й використовуються зараз в енергетиці у якості пристроїв для зберігання та рекуперації енергії, а також джерел безперебійного енергозабезпечення [7]. Їх питома потужність досягає 6000 Вт/кг, а кількість циклів заряджання-розряджання дорівнює сотням тисяч. Працюють такі накопичувачі і в значно більшому температурному діапазоні (від -40°C до $+70^{\circ}\text{C}$). Що ж до часу виходу на максимальну споживану потужність, то він складає лише 10...30 сек.

Та все ж і такі значні переваги не привели, на жаль, суперконденсатори до широкого використання. Причиною цього стала їх значна питома вага, яка у СК енергоємністю, наприклад, 10 кВт·год складає аж 2 тонни. А ще вони надто дорогі, адже зазначений СК коштує до \$2500. Хоча і очевидно, що і в цьому випадку вже скоро, завдяки збільшенню обсягів їх виробництва, собівартість суттєво зменшиться й призведе до прийнятної для споживача ціни.

Таблиця 1

Технічні характеристики основних типів літєвих акумуляторів промислового виробництва

Характеристики	Назва та абревіатура АБ					
	літій-кобальтовий, LCO	літій-нікель-кобальт-алюмінієвий, NCA	літій-нікель-марганцево-кобальтовий, NMC	літій-марганцевий, LMO	літій-залізо-фосфатний, LFP	літій-титановий, LTO
Катод	LiCoO_2	$\text{Li}(\text{Ni}_{0.85}\text{Co}_{0.1}\text{Al}_{0.05})\text{O}_2$	$\text{Li}(\text{Ni}_{0.33}\text{Mn}_{0.3}\text{Co}_{0.33})\text{O}_2$	LiMn_2O_4	LiFePO_4	графіт
Анод	графіт	графіт	графіт	графіт	графіт	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$
Напруга одного елементу, В:						
номінальна	3,6	3,6	3,6...3,7	3,7	3,2...3,3	2,4
робочий діапазон	3,0...4,2	3,0...4,2	3,0...4,2	3,0...4,2	2,5...3,6	1,8...2,85
Питома енергія при нормованому струмі розряду, Вт·год/кг	150...240	200...260	150...240	100...150	90...120	70...80
Ресурс, циклів	500...1000	500	1000...2000	300...700	1000...2000	3000...7000
Питома вартість накопичення енергії, грн/кВт·год	13 200	13 000	15 500	11 000	14 845	37 000

На сьогодні ж СК в основному використовують у системах живлення двигунів електромобілів, де вони приймають на себе пускові навантаження. В подальшому ж здійснюється перемикання на акумуляторну батарею [8-10]. Таке комплексне джерело дозволяє суттєво покращити експлуатаційні характеристики АБ як основного накопичувача енергії. Це запобігає провалам напруги на останньому, згладжує його розрядний струм.

Зазначене проілюстровано на рис. 1, де наведена експлуатаційна часова залежність напруги на АБ в момент підключення до неї активно-індуктивного навантаження великої потужності.

Воно призвело до 30% провалу напруги й втрати останньої по закінченню перехідного процесу до 8%. У разі ж паралельного підключення до АБ суперконденсатора перехідний процес значно покращився як за провалом, так і за подальшою втратою напруги. Тож це підтверджує надані в роботі [11] рекомендації щодо спільного використання СК з АБ у співвідношенні їх енергоємностей один до трьох.

Рис.1. Зміна напруги на літєвому акумуляторі при підключенні до нього потужного активно-індуктивного навантаження: *a* і *б* - без та з суперконденсатором

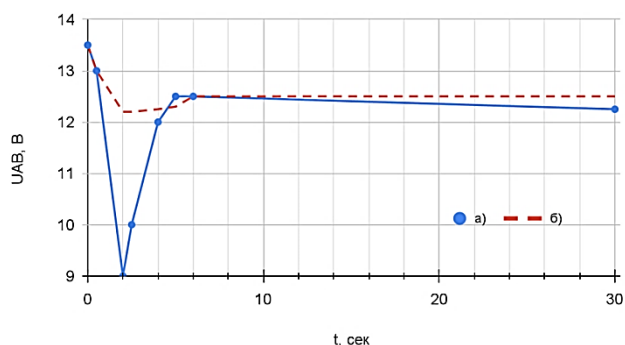
На жаль, у зазначеній роботі відсутня інформація щодо прискореного заряджання згаданого комплексного накопичувача, що ускладнює можливість оцінки його енергоефективності. Для цього бажано було б провести додаткові експериментальні дослідження і придбати відповідний досвід. Але хоча б те, що окремо один від одного літєві акумулятори й СК дозволяють це робити, свідчить про велику вірогідність, що й для комплексного накопичувача з їх використанням таке заряджання буде не менш ефективним.

Тож з наведеного вище аналізу очевидно, що в запропонованій у роботі [12] комбінованій локальній мережі, через яку всі ВДЕ промислового підприємства приєднуються до його загальної електромережі, бажано використовувати саме такий накопичувач. В зазначеному випадку до взаємопов'язаних локальних мереж змінного струму з неякісною електроенергією та постійного струму приєднуються відповідні ВДЕ без блоків забезпечення якості останньої, а вже потім і наявні на підприємстві її споживачі, які не потребують очищення електроенергії та постійного струму чи двигуни змінного струму з частотним керуванням. Згенеровані ВДЕ вже незначні у такому випадку надлишки енергії і пропонується акумулювати в накопичувачі, що знаходиться в мережі постійного струму. А вона потім через мережевий інвертор, який забезпечує двонаправлений переток енергії і приєднується до загальнозаводської мережі.

Що ж до останньої, де спостерігаються значно більші коливання потужності й перетоки енергії, які пов'язані з нерівномірним характером її споживання, то в ній потрібно, на нашу думку, мати більш потужну централізовану накопичувальну систему. Це дало б можливість підвищити енергоефективність підприємства ще й завдяки використанню так званого нічного тарифу на електроенергію та на більш вигідних з економічної точки зору умовах спілкуватися з її постачальниками. Звідси очевидно, що в умовах енергоринку підприємствам потрібно мати окремі структурні підрозділи, які б забезпечували значні обсяги накопичення електроенергії у їх власних електромережах.

Найбільш дослідженою щодо можливості зазначеного застосування є зараз гідроакумуляція [13, 14]. Вона вже давно використовується в енергетиці і має достатньо великі можливості. Це, насамперед, відомі гідроакумулювальні станції на ГЕС та атомних энергооб'єктах. В [13] розглядаються навіть приклади їх роботи з відновлюваними джерелами енергії й робиться висновок, що такі накопичувачі зможуть підвищити надійність і стабілізувати генерацію потужності розосереджених за рахунок ВДЕ систем електропостачання. Для реалізації ж гідроакумуляції потрібні лише насоси відповідної потужності, гідрогенератори з гідротурбіною (міні-ГЕС) й, звісно що, водосховища.

Якщо ж з вибором насосів та міні-ГЕС проблем на сьогодні вже не існує, то створити ємності для великої кількості води на території підприємств надто проблематично. Бо ж про ставки-накопичувачі у цьому випадку мова скоріше за все не йтиметься. Будувати ж бетонні підземні та наземні (напірні башти) водозбірників занадто дорого. Хоча саме від обсягу води в них у значній мірі залежатиме енергоефективність таких накопичувачів енергії. Адже очевидно, що сучасні насоси можуть за меншої кількості використаної електроенергії закачати в резервуар більшу кількість води (було б куди). При цьому деякі зразки мікро-ГЕС повернуть у мережу, за меншого обсягу використаної води (було б звідки), більшу кількість електроенергії. Вибрати кращі з них не складно. Вони використовуються у багатьох сферах діяльності і мають достат-



ньо великі пропозиції на вітчизняному ринку. Що ж до гідрогенераторів, то це є специфічне обладнання, яке виготовляється зараз переважно у Німеччині, Японії чи Франції.

Серед, наприклад, японських компаній, що спеціалізуються на такому виробництві слід виділити "Fuji Electric Co., Ltd." та "Marushima Hydraulic Gate Works Ltd". Ними випускаються мікро-ГЕС з пропелерною чи поперечно-струйною турбінами. Перші з них мають діапазон потужності 2,5 ... 50 кВт й розраховані на напір у 3 ... 15 м та витрату води 0,05 ... 0,5 м³/с. Другі більш потужні (до 1 000 кВт) і витримують напір до 100 м. Гідроагрегати ж, наприклад, французької фірми "Хідролес" розраховані на напір лише до 10 м й мають потужності до 50 кВт. Але у застосуванні, що розглядається, вони не менш цікаві. В табл. 2 наведені деякі відомості щодо зазначеного обладнання фірми "Fuji Electric Co., Ltd" та АО "Турбоатом".

Таблиця 2

Технічні характеристики мікро-ГЕС

МікроГЕС	Напір, м	Витрата, м ³ /с	Потужність, кВт	Країна виробник	Ціна, USD
ZD760-LM-15	3...4	0,06...0,07	2,2	Китай	1 680,00
VVP-4AA23	2	0,52	3,2	Японія	2 450,00
VVP-3AB48	4	0,35	4	Японія	2 900,00
ПР-5-Г-20	3...5	0,12...0,16	2,7...5	Україна	5 700,00
ПР-7-Г-20	4...7,5	0,13...0,24	3...10	Україна	6 900,00

Слід зауважити, що ціна мікро-ГЕС для підприємств, які використовуватимуть гідроаккумуляцію, не буде враховувати вартість баластного навантаження, яке потрібне лише для поглинання надлишків активної потужності такої електростанції, якщо вона працює на ізольоване навантаження, а не на мережу. До того ж, якщо в ній будуть використані синхронні генератори, то це ще й зменшить реактивну потужність самої мережі. Що ж до вартості ємностей згаданих раніше підземного та надземного водозбірників, то саме вона, без сумніву, і буде у кожному конкретному випадку визначати економічну доцільність такої гідроаккумуляційної системи. Адже це будуть досить дорогі капітальні споруди.

Не менш цікавим для створення централізованої загальномережевої системи накопичення енергії на підприємстві можуть бути й новітні натеper водневі технології.

Високий потенціал щодо ефективного зберігання енергії зумовлює постійне зростання частки водневих накопичувачів. Крім того, слід зазначити, що водень є екологічно чистим паливом, оскільки під час його згоряння не утворюються шкідливі викиди в атмосферу і скорочуються викиди парникових газів.

Українськими вченими запропонована Дорожня карта розвитку водневої енергетики, яка повинна забезпечити впровадження інноваційних технологій, розбудову вітчизняної науково-технічної та технологічної інфраструктури та ефективні шляхи використання водню в енергетичних системах з ВДЕ та в якості палива для транспортних засобів [15].

Водень в чистому вигляді практично не зустрічається, тому для його виробництва використовуються різноманітні ресурси. Так, водень може вироблятися з природного газу, біогазу, шляхом конверсії метану, за допомогою атомної енергетики тощо. Найбільш екологічно чистим методом виробництва водню на сьогодні є метод електролізу з використанням відновлюваних джерел енергії. За даними Міністерства енергетики США, собівартість виробництва водню електролізом становить від 2 до 5 доларів США за кг. Ця вартість включає вартість електроенергії (для Сполучених Штатів в середньому вона складає 0,15 доларів США за кВт·год), вартість обладнання для електролізу та інші витрати. Але, як зазначає дослідницька компанія BloombergNEF (BNEF), собівартість виробництва водню знизиться до рівня 0,8 - 1,6 USD/кг до 2050 року [16], що суттєво розширить можливості його використання.

Ефективність використання водню для генерації електроенергії залежить від технології, яка використовується для перетворення водню в електроенергію. Найпоширенішою технологією є паливний елемент (паливна комірка), який перетворює хімічну енергію водню в електричну енергію з ККД до 60%. Ці елементи складаються з двох електродів, розділених електролітом. На одному електроді відбувається окиснення палива, а на іншому - відновлення кисню.

На сьогодні найпоширенішими типами паливних комірок є:

лужні паливні елементи (ЛПЕ), які працюють за відносно низьких температур (100 - 200°C) і використовують в якості палива водень і кисень. Вони мають коефіцієнт корисної дії 40 - 60%, але містять дорогі матеріали, такі, наприклад, як платина;

твердооксидні паливні елементи (ТОПЕ) працюють за більш високих температур (450 - 1000°C) і можуть використовувати в якості палива водень, метанол і природний газ. Вони мають нижчий ККД (30 - 40%), але більш стійкі до зовнішніх впливів і можуть працювати в широкому діапазоні температур.

Проточні паливні елементи (ПОПЕ) - складаються з двох каналів, якими протікають паливо й окисник. Електроліти в цих комірках знаходяться у вигляді пористих мембран, які дозволяють паливу і окиснику контактувати з електродами. ПОПЕ можуть використовуватися як стаціонарні, портативні та транспортні паливні елементи.

Сьогодні висока вартість паливних комірок та необхідність використання спеціальних видів палива обмежує їх використання. Але, безперечно, що паливні комірки є перспективною технологією, яка буде активно розвиватися в енергетичному секторі.

Найбільш крупними виробниками паливних комірок для генерації електроенергії є компанії Bloom Energy (США), Plug Power (США), Hydrogenics (Канада), Fuji Electric (Японія), Siemens (Німеччина), Doosan (Південна Корея). Вже сьогодні водневі технології використовуються для забезпечення чистою енергією цілих міст. Так, наприклад, американська компанія Plug Power у 2023 році розпочинає будівництво стаціонарної електростанції на водневих паливних елементах потужністю 8 МВт у місті Калігоста (Каліфорнія, США). Після вводу у комерційну експлуатацію наприкінці 2024 року ця електростанція буде забезпечувати місто екологічно чистою енергією під час надзвичайних ситуацій, лісових пожеж тощо. Технічні характеристики паливних комірок зазначених вище виробників наведено в табл. 3.

При виробництві водню методом електролізу молекули води розщеплюють на її складові - водень та кисень. На сьогодні такий спосіб отримання водню є найдорожчим у порівнянні з методами його виробництва на основі викопного палива. Але поєднання відновлюваних джерел енергії (ВЕС та СЕС) та виробництва низьковуглецевого, так званого "зеленого", водню дає можливість виробляти його в години мінімуму навантаження енергосистеми, коли відновлювані джерела генерують надлишкову електроенергію та в подальшому використовувати його в технологічному процесі або для генерації електроенергії в години максимального навантаження.

Таблиця 3

Технічні характеристики основних паливних комірок

Виробник	Bloom Energy	Plug Power	Fuji Electric	Siemens	Doosan
Тип паливної комірки	лужна	паливна комірка з протонообмінною мембраною (ПЕМ)			
Робоча температура	100-200°C	60-80°C	40 - 60°C	70-80°C	60-80°C
Тип палива	водень	водень	водень	водень	водень
ККД	50-60%	50-60%	48%	50-60%	50-60%
Вартість	висока	середня	середня	середня	середня
Надійність	висока	висока	висока	висока	висока
Застосування	статичні електростанції, промислові та транспортні установки				
Габарити, м	2,4×2,6×2	1,8×1,3×1,4	5,5×2,2×3,4	3,5×2,5×2,5	8,3×2,5×3,0
Вага, т	15,8	3	13,5	10	20
Електрична потужність, кВт	20 - 300	10 - 280	100	300	440

Компанія Bloom Energy використовує високоефективну технологію виробництва "зеленого" водню на основі твердого оксиду (табл. 4). Твердооксидні електролізери працюють при температурах від 500 до 850 °C, що дозволяє реалізувати більш ефективний високотемпературний електроліз і виробляти на 20 - 25% більше водню ніж низькотемпературні та лужні електролізери. Так, електролізер компанії Bloom Energy витрачає 37,7 кВт·год для виробництва 1 кг водню в той час, як лужні та мембранні електролізери - 52 - 54 кВт·год.

Таблиця 4

Технічні параметри модульних електролізерів Bloom Energy

Вихід H ₂ , (т/добу)	Вихід H ₂ , (кг/год)	Вихід H ₂ , (Нм ³ /год)	Споживана потужність, МВт
1.0	43	478	1.8
4.1	172	1914	7.2
6.2	258	2870	10.8
14.4	602	6697	25.2
28.9	1203	13394	50
57.8	2407	26789	100
115.5	4814	53577	200
300	12550	139684	525
573.5	23987	265973	1000

Електрична ефективність твердооксидного електролізера (SOEC) компанії FuelCell Energy складає 90% і може досягати 98% при використанні надлишкового тепла. Компактна конструкція модуля дозволяє легко розміщувати його поблизу джерел енергії та в зонах відчуження промислових підприємств. Розмір стандартного модулю складає лише $2.43 \times 12.19 \times 3.04$ метри, споживана потужність - 39,4 кВт·год на 1 кг водню.

Промислові накопичувальні системи засновані на водневих технологіях тільки починають застосовуватися на промислових підприємствах, але не має сумніву, що з часом їх використання тільки зростатиме. На відміну від суперконденсаторів, акумуляторних батарей та мікро-ГЕС водневі системи дозволять в перспективі суттєво підвищити коефіцієнт корисної дії систем накопичення енергії та вирішити проблему довготривалого зберігання електричної енергії.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Використання систем накопичення енергії промисловими підприємствами дозволяє значно зменшити небажані двонаправлені перетоки енергії, що виникають внаслідок випадкового характеру генерації відновлюваними джерелами енергії та нерівномірного споживання.

Використання електрохімічних акумуляторів в мережах з вітро- та геліоелектростанціями ускладнене через неможливість організації плаваючого заряджання. В цьому разі доцільно використовувати літєві акумулятори, хоча і їх здатність працювати в режимі струмових перевантажень на цей час ще недостатньо досліджена.

Значна питома вага та велика вартість суперконденсаторів обмежують можливості їх застосування в якості промислових систем накопичення електричної енергії.

Застосування на підприємствах гідроакумулявальних систем накопичення електроенергії обмежено неможливістю створення на їх території ставків-накопичувачів, а будівництво капітальних бетонних споруд для цього є надто дорогим.

Цікавим і перспективним напрямком розвитку систем накопичення енергії на промислових підприємствах є використання водневих технологій на основі електролізерів та зворотному перетворенні водню в електроенергію в твердооксидних паливних комірках.

Створення й використання потужних систем накопичення енергії промисловими підприємствами дозволить не тільки забезпечити безперервність електропостачання, але й більш ефективно інтегрувати відновлювані джерела енергії в їх власні електричні мережі.

Список літератури

1. Сінчук О. М., Краснопольський Р. І., Бойко С. М. Аспекти формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації гірничорудних підприємств / О. М. Сінчук, Р. І. Краснопольський, С. М. Бойко // Вісник Криворізького національного університету. – 2020. – Вип. 50. – С. 41–45. DOI: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-41-45.
2. Будько В. І. Аналіз особливостей роботи та специфіки зарядних режимів нікель-металогібридних та літєвих акумуляторних батарей / В. І. Будько // Відновлювана енергетика. – 2017. – № 2. – С. 17-25.
3. Каусс Я. Я. Выбор режимов заряда щелочных никель - железных тепловозных батарей: дис. ... канд. тех. наук: 05.05.01. - Ленинград, 1984. - 124 с.
4. Types of Lithium-ion [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion>.
5. Krieger E.M., Cannarella J., Arnold C. B. A comparison of lead-acid and lithium-based battery behavior and capacity fade in off-grid renewable charging applications / E.M. Krieger, J. Cannarella, C. B. Arnold // Energy. – 2013. – Vol. 60. – P. 492-500. ISSN 0360-5442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.08.029>.
6. Lukas Mauler, Fabian Duffner, Wolfgang G. Zeier, Jens Leker. Battery cost forecasting: a review of methods and results with an outlook to 2050 // Energy & Environmental Science. The Royal Society of Chemistry. – 2021. – Vol. 14. Issue 9. – P. 4712-4739. DOI: 10.1039/D1EE01530C.
7. Кузнецов В., Панькина О., Мачковская Н. Конденсаторы с двойным электрическим слоем (ионисторы): разработка и производство / В. Кузнецов, О. Панькина, Н. Мачковская // Компоненты и Технологии. – 2005. – №50 (6). – С.12 - 16.
8. Шидловский А.К., Павлов В.Б., Попов А.В. Применение суперконденсаторов в автономном аккумуляторном электротранспорте / А.К. Шидловский, В.Б. Павлов, А.В. Попов // Технічна електродинаміка. – 2008. – № 4. – С. 43–47. http://www.techined.org.ua/2008_4/st7.pdf.
9. Смирнов О.П., Панікарський О.С., Боженів В.С., Смирнова А.О. Використання конденсаторів великої ємності для забезпечення оптимальних параметрів роботи акумуляторних батарей гібридних автомобілів / О.П. Смирнов, О.С. Панікарський, В.С. Боженів, А.О. Смирнова // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2009. – №3. – С. 50 - 55.
10. Слипенченко Н.И., Письменецкий В.А., Гуртовой М.Ю. Исследование режимов работы АКБ и суперконденсатора в системе энергообеспечения электромобиля / Н.И. Слипенченко, В.А. Письменецкий, М.Ю. Гуртовой //

Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Энергосберегающие технологии и оборудование. – 2012. – №58. – С. 31 – 35.

11. IEC 62196-1:2014 Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 1: General requirements. 2014. 176 p. [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://webstore.iec.ch/publication/6582>.

12. Качан Ю.Г., Шрам О.А. Щодо доцільної схеми приєднання відновлюваних джерел енергії до промислових електромереж / Ю.Г. Качан, О.А. Шрам // Відновлювана енергетика. – 2023. – Вип. 2(73). – С. 11-17. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.2\(73\).11-17](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.2(73).11-17).

13. Ramos H.M., Amaral M.P., Covas D.I.C. Pumped-Storage Solution towards Energy Efficiency and Sustainability: Portugal Contribution and Real Case Studies / H.M. Ramos, M.P. Amaral, D.I.C. Covas // Journal of Water Resource and Protection. – 2014. – Vol. 6. – P. 1099 - 1111.

14. Botterud A., Levin T., Koritarov V. Pumped Storage Hydropower: Benefits for Grid Reliability and Integration of Variable Renewable Energy, Argonne National Laboratory, 2014. – 56 p.

15. Кудря С.О., Рєпкін О.О., Яценко Л.В., Шинкаренко Л.Я., Ткаленко М.А. Концепція дорожньої карти розвитку водневої енергетики України на період до 2035 року / С.О. Кудря, О.О. Рєпкін, Л.В. Яценко, Л.Я. Шинкаренко, М.А. Ткаленко // Відновлювана енергетика. – 2019. – Вип. 4(59). – С. 22-28. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.4\(59\).22-28](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.4(59).22-28).

16. 'Hydrogen Economy' Offers Promising Path to Decarbonization. [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://about.bnef.com/blog/hydrogen-economy-offers-promising-path-to-decarbonization/> (Дата доступу: 04.09.2023).

УДК 622.7

А.І. САМОЙЛОВ, канд. техн. наук, інженер-технолог

А.М. РЕДЬКА, гендиректор

ТОВ «Збагачувальна фабрика «Свято-Варваринська»

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ГРАВІТАЦІЙНОГО ЗБАГАЧЕННЯ ВУГІЛЛЯ

Мета. Метою даних досліджень є встановлення науково обґрунтованих умов побудови кривої елементарних зольностей та створення методики розрахунку показників для корегування режимів гравітаційного збагачення вугілля, що забезпечують максимальний вихід концентрату при потрібній якості.

Методи дослідження. Поставлене завдання вирішене з використанням аналізу літературних джерел, досліджень фракційних складів вугілля різної крупності і марок та методу апроксимації даних.

Наукова новизна. Показана некоректність існуючих методик побудови кривої зольності елементарних фракцій. Отримано рівняння, що зв'язує зольність елементарної фракції з зольністю та виходом сумарної фракції, що спливає. Розроблена методика розрахунку координат точок для побудови кривої зольності елементарних фракцій з використанням рівнянь зв'язку між фактичними сумарними параметрами фракцій. Запропоновані критерії оцінки точності побудови кривої зольності елементарних фракцій з використанням розрахунку кількості зольних одиниць фракцій при інтегруванні апроксимаційного рівняння та результатів апроксимації за даними важких фракцій, що потонули. Показано, що максимальний вихід концентрату при роздільному збагаченні вугілля можна досягти як при рівності зольностей елементарних шарів меж розділення згідно з положенням теореми Рейнгардта, так і при однако- вій густині розділення.

Практичне значення. Режим збагачення вугілля різних марок Донбасу, що забезпечують рівні зольності елементарних шарів меж розділення чи густини розділу, дозволяють підвищити вихід концентрату при гравітаційному збагаченні в середньому на 0,4 % відносно в порівнянні з випуском концентратів машинних класів однакової зольності. Використання отриманих висновків доцільне для збагачувальних фабрик з найбільш прогресивною технологією, що включає процеси розділення у важкому середовищі. У цьому випадку густини розділу і важкої суспензії мають досить стабільну різницю, що дозволяє здійснювати оперативне регулювання режимів роботи апаратів.

Результати. На збагачувальній фабриці «Свято-Варваринська» застосування рекомендованих режимів дозволяє підтримувати середню зольність крупних відходів на рівні не нижче 86 – 87 %.

Ключові слова: вугілля, фракційний аналіз, криві збагачення, гравітаційне збагачення, режим розділення, вихід концентрату.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-59-64

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. При збагаченні вугілля використовуються технологічні схеми, що передбачають розділення сировини за крупністю на 3 – 4 машинних класів. Основна маса вугілля, за винятком дрібнозернистих шлаків, збагачується гравітаційними методами – за густиною компонентів. Регулювання параметрів роботи апа-

ратів дозволяє отримувати концентрати з широким діапазоном якості кожного машинного класу, але загальна зольність кінцевого товарного продукту має відповідати встановленому споживачем показнику. Для оптимізації режимів переробки вугілля гравітаційними методами з метою отримання максимального виходу концентрату при необхідній загальній зольності рекомендується керуватися положенням теореми Рейнгардта [1, 2], згідно з якою при роздільному збагаченні вугілля необхідно забезпечити рівність зольностей елементарних шарів меж розділення A_e . Методика визначення елементарної зольності та густин розділення на машинні класи передбачає використання кривих збагачуваності Анрі. Є різні суб'єктивні підходи до розміщення точок, через які проводиться крива елементарних зольностей λ і наукове обґрунтування методики побудови кривої дозволить уникнути помилок та отримати більш надійні результати для корегування режимних параметрів процесів збагачення вугілля.

Аналіз досліджень і публікацій. Згідно з прийнятою практикою криві збагачуваності Анрі будуються за даними розшарування проб вугілля у важких рідинах (табл. 1). Результати фракційного аналізу послідовно наносяться на графік у вигляді прямокутників (рис. 1). Крива зольності елементарних фракцій λ , що згладжує ламану лінію, проводиться через точки, відкладені на середині вертикальних відрізків ступінчастої лінії [2 – 4], що не має належного обґрунтування.

Отже, рекомендований стандартом порядок побудови кривої є не досить коректним, так як при зміні кількості фракцій форма кривої λ змінюється. Приклад побудови фрагментів кривої з використанням даних табл. 1 при розшаруванні вугілля на 6 фракцій і при поєднанні попарно перших, середніх і останніх фракцій, представлений на рис. 1, підтверджує розбіжність у положенні кривої. Таким чином, варіанти аналітичного уявлення кривої λ , що проходить через серединні точки [5, 6], не можуть забезпечити потрібну точність подальших висновків. Аналогічний недолік є і у методі побудови кривої λ за точками, що лежать на середині горизонтальних ділянок ступінчастої лінії [7, 8], який є розвитком методу W. MacLarren.

Таблиця 1

Результати фракційного аналізу вугілля марки «К»

Густина розшарування, кг/м ³	Результати аналізу		Сумарно для фракцій, що спливали		Сумарно для фракцій, що потонули	
	вихід $\gamma_{фр}$, %	зольність $A_{фр}$, %	вихід γ_c , %	зольність A_c , %	вихід γ_n , %	зольність A_n , %
1	2	3	4	5	6	7
< 1300	42,25	2,8	42,25	2,80	100,00	42,47
1300 – 1400	7,25	11,3	49,50	4,04	57,75	71,50
1400 – 1500	3,37	22,3	52,87	5,21	50,50	80,14
1500 – 1600	1,73	31,0	54,60	6,03	47,13	84,28
1600 – 1800	2,24	42,1	56,84	7,45	45,40	86,31
> 1800	43,16	88,6	100,00	42,47	43,16	88,60
Разом:	100,00	42,47				

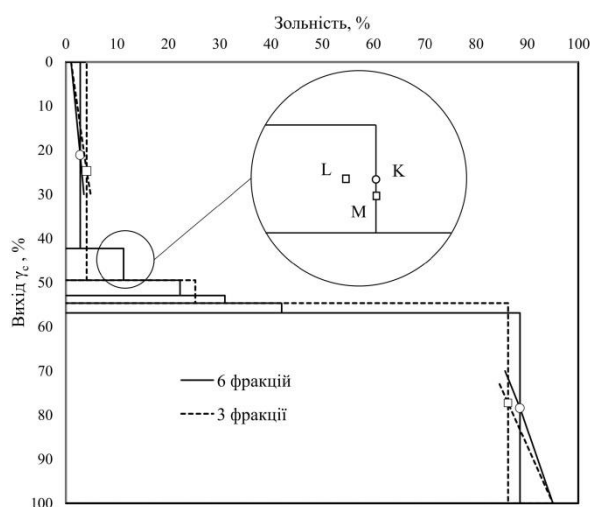


Рис. 1. Приклад графічного зображення результатів фракційного аналізу вугілля

Спроба вирішити проблему визначення умов отримання максимального виходу концентрату за рахунок відмови від побудови кривої λ і встановлення залежності зольності елементарних шарів від їх густини [9] хоча і спростила процедуру розрахунків, але також не виключила помилок описаних вище методів. Це пов'язано з припущенням про рівність густини фракцій $\rho_{фр}$ середньоарифметичній величині граничних густин рідини при розшаруванні, що можливо тільки у разі рівномірного розподілу зерен за густиною в межах фракцій. У реальних умовах залежність густини

зерен елементарного шару від виходу фракцій, що спливали, практично повторює форму кривої

λ і не є лінійною, а густина фракції відрізняється від середньоарифметичної величини меж розшарування. Ймовірно, що найбільше відхилення між показниками буде для фракцій, у межах яких радіус кривизни λ буде мінімальним у зв'язку з різкою зміною зольності зерен.

Постановка задачі. Підвищення точності визначення оптимальних режимів збагачення машинних класів вугілля потребує науково обґрунтованої методики визначення координат точок для побудови кривих зольності елементарних фракцій без використання суб'єктивних рішень.

Викладення матеріалу та результати. На відміну від кривої λ при побудові кривої зольності фракцій, що спливли (β), використовуються фактичні дані, наведені в стовпцях 4 і 5 табл. 1. Для будь-якої точки кривої можна записати рівняння

$$\gamma_c \cdot A_c + \Delta\gamma_c \cdot A_{ec} = (\gamma_c + \Delta\gamma_c) \cdot (A_c + \Delta A_c) \quad (1)$$

де γ_c і A_c – вихід і зольність легкої фракції, що спливла, в довільній точці кривої β ; A_{ec} – зольність елементарного шару при розрахунку за даними фракцій, що спливли; $\Delta\gamma_c$ і ΔA_c – збільшення виходу і зольності легкої фракції, що спливла.

При малих величинах $\Delta\gamma_c$ і ΔA_c з рівняння (1) може бути отримана формула для обчислення зольності елементарного шару в залежності від виходу і зольності фракції, що спливла

$$A_{ec} = A_c + \gamma_c \cdot dA_c/d\gamma_c. \quad (2)$$

Таким чином, при знаходженні залежності між параметрами A_c і γ_c (дані стовпців 4 і 5 табл. 1) можна отримати рівняння кривої λ . Апроксимація кривої β на думку авторів [6] не викликає особливих труднощів. Слід зазначити, що необхідні точки для побудови кривої можуть бути отримані і з використанням виходу γ_n та зольності A_n потонулих фракцій табл. 1. У цьому випадку зольність елементарного шару A_{en} може бути визначена за формулою, отриманою аналогічно виразу (2)

$$A_{en} = A_n - \gamma_n \cdot dA_n/d\gamma_n. \quad (3)$$

В ідеальному випадку значення A_{ec} та A_{en} збігаються, а результати розрахунків можуть використовуватися як критерій точності апроксимації.

Як правило, докладний фракційний аналіз виконується для безпородної частини вугілля і в більшості випадків концентрати виділяються при густині розділення менше 1800 кг/м^3 , у зв'язку з чим доцільно розглянути варіант визначення A_{ec} в цьому діапазоні. Проведені розрахунки для великої кількості даних фракційних аналізів вугілля різних марок та крупності показали, що залежності $A_c = f(\gamma_c)$ та $A_n = f(\gamma_c)$ добре описуються поліномами третього ступеня (рис. 2). Для інтервалу густини, що розглядається, величина достовірності апроксимації $R^2 > 0,9997$. Очевидно, що залежність між параметрами можна отримати в іншому вигляді і в ширшому інтервалі густини, але для застосування теореми Рейнгардта в практичних умовах запропонований варіант є достатнім.

Рис. 2. Лінії тренда та коефіцієнти кореляційних рівнянь

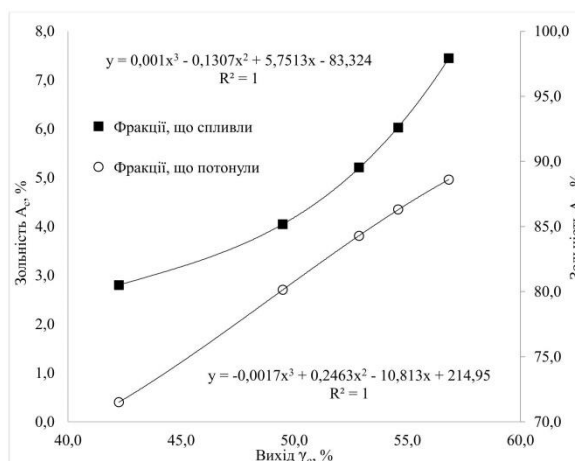
Використовуючи поліном третього ступеня та результат його диференціювання, рівняння (2) можна перетворити на вигляд

$$A_{ec} = 4a\gamma_c^3 + 3b\gamma_c^2 + 2c\gamma_c + d, \quad (4)$$

де a, b, c та d – коефіцієнти поліному $A_c = f(\gamma_c)$.

Розрахунок засобами Excel за даними табл.

1 виходів γ_c , при яких для прикладу, що розглядається, крива λ перетинає вертикальні відрізки ступінчастої кривої показав, що точки перетину не відповідають серединам інтервалів $\gamma_{сер}$ (табл. 2). Для фракції з межами густини розшарування $1300 - 1400 \text{ кг/м}^3$ точка перетину кривою вертикального відрізка (точка M на рис. 1) лежить нижче його середини (точка K). Розрахункові зольності A_{ec} для середин інтервалів виходу (точка L рис. 1) також відрізняються від зольності фракції A_{fp} , прийнятою згідно зі стандартом [4] за координату опорної точки. Це підтверджує зазначену вище некоректність використання середин відрізків для побудови кривої λ .



Результати розрахунків

Густина розшарування, кг/м ³	Відхилення параметрів		Кількість зольних одиниць, %%		Густина фракції $\rho_{фр}$, кг/м ³
	$\gamma_c - \gamma_{сер}, \%$	$A_{ес} - A_{фр}, \%$	факт	розрахунок	
1300 – 1400	0,58	-0,70	81,93	82,09	1346
1400 – 1500	0,14	-0,45	75,15	74,38	1446
1500 – 1600	-0,15	0,66	53,63	54,88	1538
1600 – 1800	0,09	-0,48	94,30	93,50	1692

Умовою побудови кривої λ є рівність площ прямокутників для кожної фракції та криволінійних трапецій, одна зі сторін якої обмежується кривою λ . У цьому випадку площі під ступінчастою кривою та отриманою після згладжування повинні бути однаковими і дорівнюватись кількості зольних одиниць ($\gamma_{фр} \cdot A_{фр}$). Розрахунок із використанням рівняння (рис. 2) показав, що результати інтегрування досить близькі до фактичної кількості зольних одиниць (табл. 2). Коефіцієнт кореляції між значеннями високий і становить $r = 0,99944$. Загальна фактична кількість зольних одиниць безпородної частини вугілля та його розрахункове значення дорівнює 423,31 та 423,14 відповідно, що говорить про задовільну точність апроксимації. Результати інтегрування рівняння (4) у відповідних інтервалах виходу фракцій можна використовувати як ще один критерій точності апроксимації. Таким чином, запропонований метод розрахунку зольності елементарних фракцій може бути застосований для оптимізації режимів гравітаційного збагачення вугілля.

Для виконання умов теореми Рейнгардта доцільно розрахувати загальну зольність концентратів вугілля, що збагачується гравітаційними методами A_c і забезпечує отримання товарної продукції необхідної якості з урахуванням можливої кількості та зольності концентрату флотації шламу. Визначивши коефіцієнти полінома $A_c = f(\gamma_c)$ для сумарного фракційного складу вугілля гравітаційної крупності, можна знайти вихід продукту, що спливе при необхідній зольності A_c , а за рівнянням (4) розрахувати зольність елементарного шару на лінії розділення продуктів $A_{ес}$. З використанням отриманого показника та коефіцієнтів поліномів зв'язку даних розшарування окремих класів можуть бути знайдені виходи концентратів усіх класів крупності та їх зольність. Для виконання розрахунків не потрібна розробка спеціальних програм, так як вони можуть бути отримані засобами Excel із застосуванням процедури пошуку рішення.

Застосування отриманих результатів у промислових умовах при стабільних характеристиках рядового вугілля за крупністю та збагачуваністю можливе у разі визначення рівня зольностей концентратів окремих класів. Режим збагачення для отримання розрахованої різниці у показниках якості можуть бути встановлені в процесі переробки з урахуванням рівня засмічень суміжними фракціями. У реальних умовах змінюється частка та зольність концентратів флотації, що потребує оперативного коригування величини A_c за рахунок регулювання параметрів роботи обладнання. У зв'язку з цим, для отримання максимального виходу концентрату доцільно визначити рівень густин розділення машинних класів.

Відмінність густини фракції $\rho_{фр}$ від середньоарифметичної величини граничних густин при розшаруванні не дозволяє знайти коректну залежність $\rho_{фр} = f(A_{фр})$. Необхідні показники для вугілля гравітаційної крупності та окремих класів можуть бути отримані за значеннями зольності фракцій, що спливали, і відповідними густинами розшарування. Розрахунки показують, що для безпородних фракцій залежності густини розділення ρ_p від зольності A_c добре описуються поліномами третього ступеня. Розрахунки за даними табл. 1 показують, що густина фракцій відрізняється від середньоарифметичних значень на 4 – 12 кг/м³ (табл. 2), як це і було зазначено вище.

З використанням отриманих рівнянь $A_c = f(\gamma_c)$ та $\rho_p = f(A_c)$ проаналізовано варіанти режимів гравітаційного збагачення із забезпеченням рівної зольності елементарних шарів меж розділення (варіант 1), рівної густини розділення (варіант 2) та однакової зольності концентратів (варіант 3).

Проведено розрахунки щодо визначення теоретичного балансу продуктів збагачення вугілля крупністю понад 13 мм і 1 – 13 мм з використанням фракційних аналізів близько тридцяти джерел сировини: вугілля марок Г, Ж, К (чотирьох шахт Донбасу різних періодів видобутку з широким інтервалом збагачуваності), ПС та П. Отримані дані свідчать про те, що сумарний

вихід концентратів класів крупності за варіантами 1 і 2 при однаковій загальній зольності A_z практично збігається. Певна розбіжність (менше 0,01 % відносних) може бути пов'язана з неточністю апроксимацій або прийнятою точністю обчислень процедури пошуку рішення.

Близькі результати розрахунків при рівній зольності елементарних шарів границь розділення та їх густини можна пояснити однакою мінеральним складом вузьких фракцій у зоні розділення, у результаті чого густини частинок елементарних шарів практично збігаються. Слід зазначити, що отримання максимального виходу концентрату забезпечується за рівності густин розділення класів і густини для сумарного фракційного складу, що відповідає необхідній зольності концентратів гравітаційних методів збагачення A_z . Таким чином, прийнятий у світовій практиці принцип збагачення вугілля суміжних класів крупності за рівної густини розділення [10] виправданий і відповідає положенню теореми Рейнгардта.

Водночас, спостерігається отримання меншого загального виходу концентрату, якщо режим збагачення машинних класів забезпечує однакову зольність їх концентратів (варіант 3). Аналіз показав, що відхилення у виході за 1 і 3 варіантах прямо пропорційна різниці зольностей фракцій машинних класів. Зниження виходу загального концентрату менш ніж на 0,01 % варіанта 3 має місце, коли відхилення в зольності фракцій густиною до 1500 кг/м^3 становить не більше 0,3 %. При реалізації варіанта 3 у більшості випадків необхідна густина розділення класів відрізняється на $200 - 300 \text{ кг/м}^3$, що передбачає залучення в концентрат високозольних фракцій одного класу та втрати відносно малозольних фракцій з породою суміжного класу, що призводить до зниження загального виходу. За отриманими даними обчислення фракційних складів вугілля різних марок Донбасу режими збагачення, що забезпечують рівні зольності елементарних шарів меж розділення чи густини розділення (варіанти 1 та 2), можуть підвищити вихід концентрату при гравітаційному збагаченні в середньому на 0,4 % відносних у порівнянні з випуском концентратів машинних класів однакової зольності.

Слід зазначити, що практичне застосування розрахунку умов, що забезпечують максимальний вихід концентрату при гравітаційному збагаченні, вимагає встановлення їх зв'язку з параметрами роботи відповідних апаратів. У разі розділення у водному середовищі (відсаджувальні машини, гвинтові сепаратори, гідрокласифікатори тощо) регульованих параметрів досить багато, що ускладнює вибір їхнього рівня для забезпечення необхідної густини розділення. Для збагачувальних фабрик з найпрогресивнішою технологією, де використовується переробка вугілля крупністю більше 0,5 (1) мм у важких суспензіях (сепаратори, гідроциклони) дана проблема істотно спрощується, так як досить легко визначається залежність густини розділення від параметрів суспензії. Слід зазначити, що різниця між густиною розділення та суспензії є залежною від типу апарату та умов його роботи.

Технологічна схема збагачувальної фабрики «Свято-Варваринська» понад 60 % вугілля переробляє у важкосередовищних сепараторах фірми Daniels та гідроциклонах фірми Multotec. Дослідження протягом тривалого часу показали, що густина розділення та суспензії для цих апаратів відрізняється приблизно на $140 - 145 \text{ кг/м}^3$. При роботі сепараторів, у яких відсутні гребкові механізми на відміну від вітчизняних апаратів, це є наслідком високої вертикальної швидкості суспензії, що обумовлена необхідністю самопливного розвантаження концентрату через поріг апарата. Для гідроциклонів різниця у густинах є результатом дії відцентрових сил. У зв'язку з цим було прийняте рішення підтримувати густину суспензії обох технологічних комплексів на однаковому рівні, щоб забезпечити максимальний вихід концентрату. Висока ефективність важкосередовищного збагачення та застосовані режими дозволяють знизити втрати корисного компонента з відвальною породою та стабільно підтримувати середню зольність крупних відходів на рівні не нижче 86 – 87 %.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Проведений аналіз показав некоректність методик побудови кривої зольності елементарних фракцій λ , що знижує точність висновків при використанні положень теореми Рейнгардта. Знайдено рішення для отримання опорних точок проведення цієї кривої на основі фактичних даних фракційного аналізу вугілля та отримані критерії оцінки точності апроксимації. Показано, що максимальний вихід концентрату при роздільному збагаченні вугілля можна досягти як при рівності зольностей елементарних шарів меж розділення згідно з положенням теореми максимального виходу, так і при однаковій густині розділення. Використання отриманих висновків на збагачувальній фабриці «Свято-Варваринська» дозволяє підтримувати середню зольність крупних відходів на високому рівні.

Подальші дослідження заплановано у напрямку виявлення залежності густини розподілу від параметрів роботи гідрокласифікаторів CrossFlow, де збагачується вугілля крупністю 0,2 – 1 мм, з метою застосування отриманих результатів для збільшення виходу товарної продукції.

Список літератури

1. Смирнов В.О., Білецький В.С. Гравітаційні процеси збагачення корисних копалин. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2005. – 300 с.
2. Мала гірнича енциклопедія / [за ред. В. С. Білецького]. – Донецьк : Східний видавничий дім, 2013. – Т. 3. – 644 с.
3. Моделювання процесів збагачення корисних копалин. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 184 «Гірництво» / В. Г. Кравець, В. С. Білецький, В. О. Смирнов, П. В. Сергєєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 437 с.
4. ДСТУ 3550-97 (ГОСТ 4790-93) (ИСО 7936-1992) Паливо тверде. Визначення та наведення показників фракційного аналізу. Загальні вимоги до апаратури та методики.
5. Геращенко К.Д. Исследование и разработка методов оценки донецких углей как объектов обогащения: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук: 05.15.08, “Збагачення корисних копалин” / Донецьк, 1983. – 24 с.
6. Кандинская И.В., Удовицкий В.И. Аналитическое представление кривых обогатимости углей. – Вестник КузГТУ. – 2004. – №4. – С. 48 – 54.
7. Arinenkov Y. Universal model for research both optimization of technological processes and circuits of coal preparation factories on the COMPUTER / 2nd Regional APCOM'97 Symposium. Published by: The Moscow State Mining University Publishing Center. Moscow, 1997. – P. 209 – 214.
8. Ариенков Ю.Д. Начальные условия в сепарбельном описании характеристик сыпучих материалов // Вісті Донецького гірничого інституту. – № 1, 2003. – С. 41 – 46.
9. Пилов П.И., Святошенко В.А. Определение режима обогащения каменных углей для обеспечения максимального выхода концентрата // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. – Вип. 44 (85). – С. 96 – 102.
10. Carter J. D. Implementing a Strong Maintenance Program // CPSA Journal. – 2014. – Vol. 13. No. 1. – P. 32 – 37.

УДК 681.03

І.Н. ВДОВИЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

АЛГОРИТМ АНАЛІЗУ РЕЗУЛЬТАТІВ АНКЕТУВАННЯ СТУДЕНТІВ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Метою даної статті є проведення аналізу питань застосування багатокритеріальних експертних оцінок у системі освіти. Розгляд досвіду робіт науковців, який свідчить про наявність потреби доопрацювання питань аналізу результатів соціальних опитувань, використання експертних методів та їх запровадження в освітню галузь.

Методи дослідження. Перед усім застосовано теоретичний метод дослідження. Для вирішення задач використовуються методи які активно застосовуються на практиці: метод статистичної обробки результатів, метод порівняльного аналізу, експертні методи, метод візуалізації.

Наукова новизна. Тема актуальна, так як дає можливість підвищити якість вищої освіти. Вивчення літературних джерел показало, що цьому питанню приділено недостатньо уваги. У статті представлено математичну модель обробки експертних оцінок, запропоновано критерії оцінки альтернатив та оціночні шкали, що враховують специфіку системи освіти. Результатом теми роботи є обґрунтування доцільності застосування певних експертних та статистичних методів для одержання об'єктивних даних.

Практична значимість. У роботі розроблено схему експертних методів, яка демонструє різноманіття вибору шляхів вирішення проблеми. Запропоновано алгоритм обробки та аналізу результатів анкетування студентів. При побудові алгоритму ставилося завдання: після обробки результатів анкетування отримати найбільш об'єктивні оцінки оцінюваних альтернатив. Для цього запропоновано враховувати: ваги студентів, запропоновано різноманіття критеріїв, вагу оціночних критеріїв, шкали. Запроваджено використання нових інструментів контролю якості освіти. При використанні викладеного в статті підходу, можна очікувати на об'єктивне підвищення якості підбору викладачів, якості проведення занять і як результат, підвищення якості освіти.

Результати. Запропоновано один із підходів підвищення якості вищої освіти. Автор наголошує на необхідності формування кластерів експертів для врахування результатів анкетування за окремими кластерами. Вказані та проаналізовані підходи, при використанні в освіті нададуть об'єктивну основу для прийняття управлінських рішень. Важливим результатом є те, що визначено та заплановано перспективні напрями подальших досліджень цієї теми для підвищення ефективності обробки та об'єктивності результатів анкетування студентів.

Ключові слова: алгоритм, експертні оцінки, анкетування, критерії, альтернативи.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Актуальність застосування експертних методів для оцінки стану системи освіти та динаміки його змін обумовлена тим, що мало цю оцінку будувати лише на даних статистики. Для отримання об'єктивної оцінки необхідно залучати знання та досвід експертів. Поняття соціальної експертизи запроваджено провідним українським вченим Ю.І. Саєнко. Важливість соціальної експертизи у тому, що вона дозволяє уникнути ризику.

Слід зазначити, що українська наука та практика у галузі науково-технічного прогнозування давно використовує експертні оцінки, проте у сфері освіти є лише окремі приклади використання експертних оцінок. Разом з тим, добре відомо, що значення соціальної експертизи важко переоцінити при вирішенні таких завдань, як оцінка ситуації, прогнозування ситуації, прогноз соціальних результатів впровадження управлінських рішень, варіанти виходу з негативних ситуацій та їх запобігання [11].

Аналіз досліджень і публікацій. Великий внесок у розробку теоретичних та прикладних питань формування різних моделей соціальної експертизи та теорії прийняття рішень зробили: С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвіч, О. І. Ларичев, Б. Р. Литвак, Б. Р. Міркін, А. І. Орлов, У. Парето, У. У. Подиновський, Д. А. Поспелов, Т. Сааті, Р. Саймон, Р. Фішер, К. Дж. Ерроу [1].

Але в публікаціях не розглядалися окремі проблеми системи освіти. Є необхідність у подальшій розробці та конкретизації питань експертних оцінок у системі вищої освіти.

Відомий американський вчений, професор Дж. Форрестер пише: "Наші соціальні системи незрівнянно складніші і важко розуміються, ніж технологічні". Ця фраза підкреслює те, що питання непросте і вимагає детальної розробки.

Постановка задачі. Незважаючи на успіхи, досягнуті в останні роки у розробці та практичному використанні методу експертних оцінок, є низка проблем та завдань, що вимагають подальших методологічних досліджень та практичної перевірки. Необхідно вдосконалювати систему вибору експертів, підвищення надійності характеристик групової думки, розробку методів перевірки обґрунтованості оцінок, виключення психологічного фактору, який впливає на результат, дослідження прихованих причин, що знижують достовірність результату.

Методики, що використовуються, не вирішують питання оцінки викладачів за допомогою анкетування студентів. Існує потреба у систематизації цих питань. Отже, актуальність теми, побудови алгоритму та інформаційних технологій багатокритеріальної оцінки для прийняття рішень за результатами експертизи в системі освіти, очевидна.

Практика доводить, що за дотримання всієї методології проведення експертної оцінки очікується похибки до 5%, що можна порівняти з похибкою багатьох технічних розрахунків. Отже, результати таких оцінок цілком можна використовувати для ухвалення рішення у системі освіти.

Викладення матеріалу та результати. Анкетування – вид експертизи, студенти, у цій ситуації – експерти, викладачі – альтернативи, критерії – характеристики альтернатив (у даному випадку, їх значення – це відповіді на поставлені у анкеті питання).

У системі анкетування можна виділити 4 модулі: організація експертизи, оцінка альтернатив, обробка інформації, формування результату.

Науково-обґрунтована процедура обробки результатів опитування складається з кількох етапів.

Етап отримання колективних експертних оцінок включає:

- узагальнення індивідуальних експертних оцінок;
- визначення узгодженості індивідуальних експертних думок;
- визначення об'єктивності колективних експертних оцінок;
- визначення обліку крайніх значень;
- аналіз експертної інформації. [3, 4, 5]

Варіанти можливих шляхів проведення та опрацювання результатів експертизи представлені на рис.1.

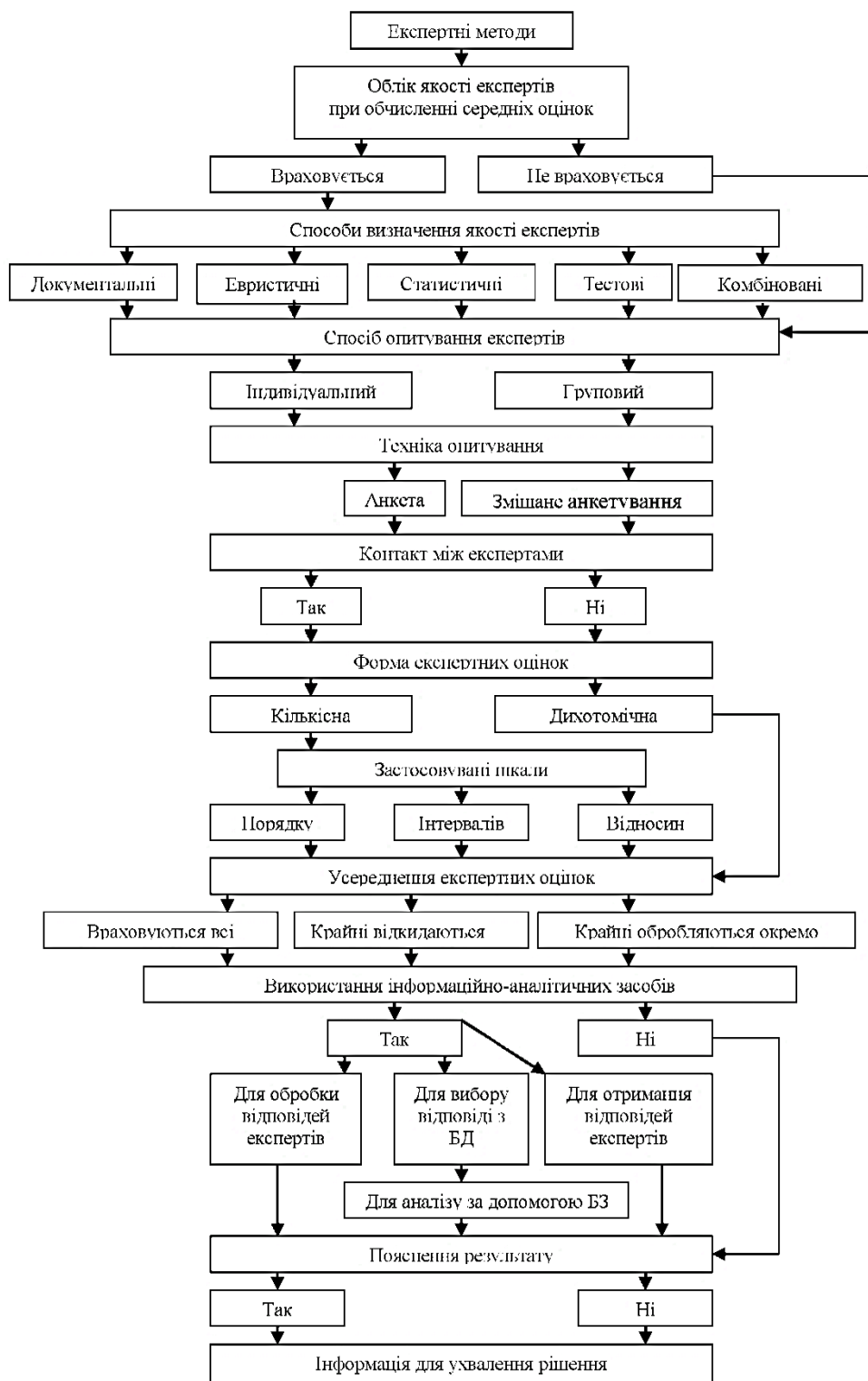


Рис. 1. Експертні методи

Проблеми при обробці інформації, отриманої під час анкетування, виникають з таких причин:

- не коректні питання;
- різні, не сумісні шкали оцінок;
- неправильна обробка кількісних чи якісних показників;
- ігнорування ступеня компетентності експертів;
- ігнорування нормування коефіцієнтів;
- ігнорування розкиду думок експертів;

ігнорування важливості (вагомості) значимості критеріїв;
не правильне використання математичного апарату та інше.

Важливе значення має правильне формування оцінної системи. Оцінна система, що формується, повинна складатися з:

набору критеріїв, що характеризують альтернативи;
шкали для оцінки порівняльної важливості критеріїв;
шкали для оцінки порівняльної важливості груп критеріїв;
шкали для оцінки альтернатив за критеріями;
формування принципу вибору.

В даному випадку, коли критерії задані за декількома порядковими шкалами, мета полягає в упорядкуванні елементів вихідної множини. Більш сильному виявленню ознаки відповідає більше число порядкової шкали чи шкали рангів.

Числа в шкалі порядку відображають лише порядок прямування об'єктів. Ранжування виконується у порядковій шкалі. Тип шкали визначає групу допустимих перетворень. У порядковій шкалі допустимими є всі перетворення, що строго зростають. Використання порядкових шкал дозволяє проводити перетворення отриманих від експертів оцінок, що відповідають всім функціям, що монотонно зростають.

Зручно використовувати 9-бальну шкалу: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Вона симетрична щодо 5 і ця кількість балів узгоджується з психофізичними можливостями людини.

Оцінки експертів слід вважати вимірними у порядковій шкалі. Порядкова шкала та шкала найменувань – шкали якісних ознак. Шкала найменувань чи класифікації використовується для класифікації критеріїв за групами. З її допомогою всім критеріям однієї й тієї групи присвоюються одні й ті самі числа.

В даному випадку, коли критерії задані за декількома порядковими шкалами, мета полягає в упорядкуванні елементів вихідної множини. Більш сильному виявленню ознаки відповідає більше число порядкової шкали чи шкали рангів.

Числа в шкалі порядку відображають лише порядок прямування об'єктів. Ранжування виконується у порядковій шкалі. Тип шкали визначає групу допустимих перетворень. У порядковій шкалі допустимими є всі перетворення, що строго зростають. Використання порядкових шкал дозволяє проводити перетворення отриманих від експертів оцінок, що відповідають всім функціям, що монотонно зростають.

Критерії мають бути виражені в номінальній, якісній чи кількісній шкалі. Кількісна вимірюваність потрібна щодо емпірико-статистичного аналізу.

За своєю значимістю, у загальній оцінці альтернативи, певні якості мають різну питому вагу. Отже, коефіцієнти вагомості є кількісними характеристиками значимості показників. Використання ваги дозволяє створити модель близьку до реальності [6].

Можна оцінити групи критеріїв за 5-ти бальною шкалою. Потрібно призначити ваги критеріїв усередині груп, ранжуючи критерії за важливістю, вага найважливішого значення відповідає 10 балам. Найменш важливого – 1. Упорядкування критеріїв важливості передбачає, що є загальна десятибальна шкала з однаковою інтерпретацією оцінок.

Перехід від вербальної шкали до числової для груп критеріїв можна виконати таким чином: 1 – не має значення, 2 – незначно, 3 – середнє значення, 4 – має значення, 5 – вирішальне значення. Далі вагові коефіцієнти нормуються на основі умови:

$$\sum_{i=1}^n b_i = 1.$$

Коефіцієнти вагомості критеріїв та груп критеріїв використовуємо на стадії підрахунку комплексного показника, що є сумою добутків оцінок альтернатив на відповідні коефіцієнти вагомості критеріїв, що складаються із суми вагомості критерію в групі та вагомості групи критеріїв.

Узгодженість думок експертів відображає стандартне відхилення. Якісний аналіз матеріалів експертного опитування включає: оцінку ступеня узгодженості думок експертів; виділення груп експертів з «близькою» думкою у разі наявності суттєвих розбіжностей у їхніх відповідях; виявлення розкиду думок; впливу характеристик експертів на зміст їхніх відповідей; ранжуван-

ня відповідей у однорідних групах, формування «об'єднаних» відповідей, яким присвоюється той самий порядковий номер при ранжуванні.

Треба якісно оцінювані ситуації оцінювати кількісно, за допомогою вербально-числових шкал, що спеціально вводяться. Кількісно силу кореляційного зв'язку оцінюють за допомогою коефіцієнтів кореляції, використовують коефіцієнт Пірсона. Для ознак, заданих у порядкових шкалах, обчислюють рангові коефіцієнти кореляції Спірмена і Кендела, які інтерпретуються так само, як коефіцієнт кореляції Пірсона. Серед методів багатовимірної статистики, найуживанішими, є факторний та кластерний аналізи.

Факторний аналіз дає можливість виявити латентні зв'язки, описати залежність між ними та первинними ознаками, обчислити значення всіх збудованих таким чином зв'язків для кожного об'єкта.

Виконання кластерного аналізу дає можливість розділити сукупність об'єктів на однорідні за певним критерієм групи (кластери) та аналізувати показники в межах цих груп.

Наприклад, для формування кластерів, виділити окремо думки студентів 2, 3, 4, 5 курсів. Окремо думки студентів із різною успішністю. Окрема думка студентів різних спеціальностей, різної форми навчання. Як показує досвід, це різні думки і не враховувати це не можна.

Методика побудови ієрархії груп критеріїв та критеріїв у групах

I етап. 1. Декомпозиція та побудова ієрархії критеріїв.

2. Визначення вагомості приватних критеріїв.

II етап. 1. Визначення кількісних показників приватних критеріїв кожної альтернативи .

III етап. 1. Розрахунок агрегатного значення критеріїв кожної альтернативи.

Згідно з цими етапами, для організації рішення пропонуємо наступні процедури: декомпозицію критеріїв на групи (наприклад: особисті якості, професійні якості (компетентність професійна, компетентність всебічна), інноваційні навички тощо);

ранжування цих груп та критеріїв у середині груп за важливістю;

вибір числових характеристик критеріїв;

розробка методів оцінки;

оцінка альтернатив;

вибір методів агрегування;

вибір виду інформації для остаточного рішення;

остаточне рішення.

Кожна ознака професійних та особистих якостей може мати 9 рівнів прояву та оцінюється за принципом відхилення від середнього значення. Відповідно до конкретної ознаки середнього рівня його кількісна оцінка = 5, нижче середнього – від 1 до 4, вище середнього – від 6 до 9.

Оцінка всієї сукупності ознак провадиться шляхом підсумовування оцінок ознак, помножених на їхню середню значимість:
$$П = \sum_{i=1}^k b_i x_i .$$

Визначаємо середню оцінку кожної альтернативи за кожним критерієм

$$x_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}^k, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, K},$$

де x_{ij}^k оцінка i – ої альтернативи, j – ім експертом за k – м критерієм. Ми пропонуємо враховувати вагу експерта, тоді формула розрахунку набуде вигляду:

$$x_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^n w_j x_{ij}^k}{\sum_{j=1}^n w_j},$$

де w_j – вага j -го експерта.

Як вагу експерта (у нашому випадку – студента) можна взяти значення з шкали: «задовільно», «добре», «відмінно», вказавши відповідні кількісні значення (3, 4, 5), після нормування коефіцієнти = 1/4, 1/3, 5/12.

Для кількісної ознаки обчислюють середнє арифметичне значення всіх об'єктів сукупності. Для якісних ознак такою узагальнюючою характеристикою є мода.

Думки експертів – бали, виміряні у порядковій шкалі, тому обґрунтованим є використання медіан як середні бали.

Однак, повністю ігнорувати середні арифметичні недоцільно через їхню поширеність. Тому доцільно використовувати одночасно обидва методи – і метод середніх арифметичних рангів (балів), і методів медіанних рангів. Така рекомендація знаходиться у згоді з концепцією стійкості, що рекомендує використовувати різні методи для обробки одних і тих самих даних з метою підтвердити висновки, що отримуються одночасно за всіх методів.

Логічно, що оцінки студента з більш високою успішністю мають перевагу перед оцінками менш компетентних студентів (див. вище).

Тому, групова оцінка являє собою середню оцінку добутків студентів (у свою чергу отриманих за методом середніх арифметичних рангів і медіан рангів) на показники їх успішності.

Бажано опитування експертів виконати за N блоками, що містять від 2 до M питань кожен. Тобто застосувати секційний підхід, який полягає в тому, що послідовно розглянути питання щодо окремих тем.

У блоках застосувати різні підходи. Наприклад: У першому треба оцінити вагу зазначеного фактора за 6 бальною шкалою від 0 до 5. У другому блоці вказати, чи згодні із запропонованим виразом за вербально-числовою шкалою: ні – 0; важко сказати – 2,5; так – 5. У третьому блоці виконати порівняння із запропонованою оцінкою по 11-бальній системі тощо.

Математична модель обробки експертних оцінок

Нехай n експертів провели оцінку n альтернатив за k критеріями. Результати оцінки представлені у вигляді величин x_{ij}^h , де j – номер експерта, i – номер альтернативи, h – номер критерію. Оцінку альтернатив виконуємо методом безпосередньої оцінки, тоді величини $x_{ij}^h (i=1, \dots, n; j=1, 2, \dots, n; h=1, 2, \dots, k)$ являють собою бали.

Для отримання групової оцінки альтернатив у разі можна скористатися середнім значенням оцінки кожної альтернативи [7, 8].

$$x_i = \sum_{h=1}^k \sum_{j=1}^n b_h x_{ij}^h w_j (i=1, 2, \dots, n),$$

де b_h – коефіцієнти ваг критеріїв, w_j – коефіцієнти ваг експертів.

Коефіцієнти ваг критеріїв та коефіцієнти ваг експертів мають бути нормованими величинами, тобто

$$\sum_{h=1}^k b_h = 1; \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1.$$

Підсумовування індивідуальних оцінок з вагами експертів та важливістю критеріїв при аналізі альтернатив у кардинальних шкалах ґрунтується на припущенні про виконання аксіом теорії корисності фон Неймана–Моргенштерна, як для індивідуальних, так і для групової оцінки та умов нерозрізненості альтернатив у груповому відношенні, якщо вони невідрізнимі у всіх індивідуальних оцінках (частковий принцип Парето). У реальних завданнях ці умови, як правило, виконуються, тому отримання групової оцінки альтернатив шляхом підсумовування з вагами індивідуальних оцінок експертів широко застосовується на практиці.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Перспективним напрямом підвищення ефективності обробки та об'єктивності результатів анкетування студентів, на наш погляд, є такі напрямки.

Дуже цінним є виявлення розкиду думок та облік впливу успішності студентів на зміст їх відповідей.

Треба сформулювати групи питань – визначення конкретної якості викладача: наприклад особисті (психологічні якості, такі як колективізм, толерантність, комунікабельність, відкритість до різних поглядів, чесність, справедливість, почуття гумору та інших.), професійні (компетентність, прагнення інновацій, навченість, дисциплінованість, грамотна мова, тактовність і т.д.) і характеризувати за цими групами.

Інтерес представляє визначення розбіжності оцінок експертів із конкретної групи (наприклад, відмінників чи «глибоких трісчників» тощо) із середньою думкою всіх експертів, з метою, з медіаною. Це дуже інформативний показник.

Виділити окремо думки студентів 2, 3, 4, 5 курсів. Окремо думки студентів із різною успішністю, різною формою навчання, різних спеціальностей.

Дуже цікаво виявити відмінності (якщо вони є) щодо оцінки альтернативи студентами різних спеціальностей.

Виявити найбільш спірні відповіді щодо альтернатив і розбіг думок щодо них.

Розробити систему особливих питань, так як питання типу «Чи ефективний викладач ...» – не коректні, тому що. однозначне визначення поняття «ефективності викладача» студентам ніхто не давав.

Розробити заходи, які нададуть можливість уникнути необ'єктивного оцінювання студентами викладачів.

Запропонований алгоритм аналізу результатів анкетування студентів та подальші дослідження даної теми, безперечно, сприятимуть підвищенню якості вищої освіти.

Список літератури

1. Саснко Ю.І. Методологія та методика визначення інтегральних соціальних показників. – К.: Ін-т соціології НАНУ, 2004. – 372 с.
2. Орлов А.И. Нечисловая статистика. – М.: МЗ-Пресс, 2004. – 513 с.
3. Бешелев С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич – М.: Статистика, 1974. – 159 с.
4. Денисова А. Л. Теория и практика экспертной оценки товаров и услуг. Учеб. Пособие / А. Л. Денисова, Е. В. Зайцев. – Тамбов: Т ГТУ, 2002. – 72 с.
5. Вдовиченко І.Н. Інформаційні технології многокритеріального експертного оцінювання альтернатив в соціальних системах. Дис-я. – Київ – 2008. – 192с.
6. Тоценко В.Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект. – Киев: Наукова думка, 2002. – 381 с.
7. Евланов Л. Экспертные оценки в управлении. – М.: Экономика, 1978. – 286 с.
8. Литвак Б.Г. Экспертные технологии в управлении. – М.: ДЕЛЮ, 2004. – 412 с.
9. Гнатіско Г. М., Снитюк В. Є. Експертні технології прийняття рішень : монографія. Київ, 2008. – 444 с.
10. Мураховська О.А., Н.А. Українець. Аналіз застосування методів статистичної обробки експертних оцінок на етапі попереднього проектування складних технічних пристроїв. Системи управління, навігації та зв'язку. Національний університет "Полтавська Політехніка імені Юрія Кондратюка" 2022. №3. С. 39–44.
11. Ворона В.М. Українське суспільство: моніторинг – 2000р. Інформаційно-аналітичні матеріали. – Київ: Інститут соціології НАН України, 2000. – 390 с.

УДК 622.7

Т.А. ОЛІЙНИК, д-р техн. наук, проф., М.М. ВІЛЬГЕЛЬМ, аспірант

Криворізький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ КОАГУЛЯЦІЇ ЧАСТИНОК ТА АДСОРБЦІЯ РЕАГЕНТІВ НА ПОВЕРХНІ ПІННОГО ПРОДУКТУ ФЛОТАЦІЇ

Мета. Метою даних досліджень є оцінка можливості зниження впливу коагуляції частинок та адсорбції реагентів на поверхні пінного продукту флотації. Огляд існуючих досліджень у цьому напрямку з метою пошуку оптимальних методів для вирішення даної проблеми. Розгляд механічних, вібраційних, хімічних та інших методів з метою вибору найбільш оптимального для вирішення поставленої мети.

Методи дослідження. При проведенні досліджень застосовувались наступні методи: наукове вивчення та узагальнення матеріалу в рамках існуючої проблеми; експериментальні - попередня підготовка пінного продукту методом розмагнічування в магнітному полі; визначення характеристик пінного продукту до операції розмагнічування та після; включення у схему методів магнітної сепарації та флотації з метою отримання продукту з покращеними технологічними характеристиками; проведення хімічних аналізів продуктів технологічних схем.

Наукова новизна. У ході експериментальних досліджень встановлено вплив підготовки пінного продукту з використанням магнітного поля перед наступними операціями збагачення. Виявлено відповідність пінного продукту до вологості піни зі сферичними бульбашками. Встановлено закономірність збільшення показників пінного продукту за рахунок зменшення коагуляції частинок під впливом магнітного поля. Визначені відповідності та закономірності надають можливість їх використання у якості вихідних даних для створення математичної моделі.

Практичне значення. В рамках досліджень отримані результати – підвищення вмісту заліза загального у магнітному продукті з 44,6 до 47,02% та у камерному продукті флотації з 59,3 до 61,42 %, при збільшенні виходу каме-

рного продукту флотації на 7,1 % при застосуванні операції розмагнічування. Ці дані підтверджують вплив, застосованої операції для зміни фізико-механічних властивостей пінного продукту, включення в технологічну схему додаткових операцій та формування напрямку подальших досліджень. Практична значущість також може бути оцінена внаслідок проведення промислових випробувань та отримання додаткової товарної продукції або використанні нового продукту в існуючій схемі з покращеними технологічними показниками.

Результати. В рамках досліджень підтверджено гранулометричний, мінералогічний та хімічний склад пінного продукту. Застосовані методи розмагнічування, магнітної сепарації та флотації, є доцільними при доведенні пінного продукту, але потребують детального вивчення з метою вдосконалення та отримання найкращих результатів.

Ключові слова: продукт пінний, коагуляція, адсорбція, магнітне поле, магнітна сепарація, флотація.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-70-77

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Практично всі процеси збагачення протікають у дисперсних системах. В них велику роль відіграють адгезія, змочування, капілярність, седиментація, коагуляція, адсорбція, а також багато інших поверхневих явищ. Закономірності протікання поверхневих явищ служать теоретичною основою отримання матеріалів із заданими властивостями [1].

Традиційно в схемах збагачувальних фабрик на різних етапах використовують методи мокрої магнітної сепарації, які не завжди дають очікуваний результат, особливо для родовищ зі складними текстурно-структурними особливостями, розкриттям рудних зерен та ін.

Другою розповсюдженою операцією збагачення залізних руд є флотація. При флотації використовують три основні види флотації: пряма аніонна, зворотна аніонна або зворотна катіонна [2-6].

Може використовуватися поєднання методів флотації з магнітною сепарацією або іншими методами збагачення.

Метод флотаційного збагачення, заснований на відмінності фізико-механічних властивостей мінералів які розділяються [7, 8]. Він широко використовується у гірничодобувній промисловості. Важливою частиною цього процесу є пінний продукт, який складається із найдрібніших частинок мінералів та води. Однак ці частинки залишаються в пінному стані і потребують додаткових заходів для їх збагачення.

Пінний продукт зворотної флотації представлений рудною та нерудною складовою. В процесі флотації він піддається коагуляції під впливом температури, рН пульпи, інтенсивності процесів агітації, конструкції та параметрів флотаційного обладнання та ін.

При флотації також існує явище так званої природної коагуляції, яке є невід'ємною частиною процесу флотації в промисловості. Оптимізація умов для природної коагуляції може покращити ефективність флотації та знизити витрати на хімічні реагенти.

Для успішної реалізації зворотної флотації необхідні ефективні реагенти, які адсорбуються на поверхні рудної та нерудної складової, змінюючи її гідрофільні та гідрофобні властивості.

Основними реагентами при флотації залізних руд є збирачі або колектори. Вони адсорбуються на гідрофобній поверхні мінералів і створюють гідрофобні оболонки навколо частинок, роблячи їх гідрофобними. Це дозволяє частинкам прилипати одна до одної й утворювати пінний продукт, в якому гідрофобні мінерали збираються разом, а рудні компоненти залишаються в суспензії.

Адсорбція реагентів на поверхні рудної та нерудної складової пінного продукту в процесі зворотної флотації - складний і багатогранний процес, який відіграє важливу роль у збагаченні рудних матеріалів. Розуміння механізмів адсорбції, управління параметрами процесу та постійне дослідження нових рішень є ключовими факторами для підвищення ефективності та стійкості цього процесу.

Аналіз досліджень і публікацій. Флотаційне доведення концентратів в технологічному відношенні є найбільш досконалим. Воно кардинально вирішує проблему виробництва чистих залізрудних концентратів, аж до мономінеральних фракцій [1]. Однак при флотаційному збагаченні утворюється побічний продукт – пінний продукт. В деяких схемах він циркулює в схемі (замкнутий цикл флотації), в деяких піддається дозбагаченню з використанням різних технологічних операцій або просто відправляється у хвости.

Пінний продукт флотації є доволі тонкодисперсною системою з великою кількістю шламів які формують седиментаційно стійкі гетерогенні системи.

В роботі [9] наведена характеристика зарубіжних фабрик, які використовують флотаційну доводку магнетитових концентратів з використанням різноманітних операцій з доведення пінного продукту, а саме:

США, Мінтак (US Steel) – пінний продукт основної флотації доподрібнюється та прямує на грохот Dettick, підрешітний продукт збагачується на мокрій магнітній сепарації, отриманий концентрат об'єднується з камерним продуктом основної флотації;

США, Nirthshore Min. Co (Clevel and Cliffs) – доподрібнення та перемелування пінного продукту флотацією;

Канада, Адамс (Dom.f. and Stelf) – пінний продукт направляється на другу стадію подрібнення, збагачується на мокрій магнітній сепарації, потім концентрат направляється на основну флотацію;

Норвегія, Кіркінес (б.Сідваргер) – пінний продукт перемелування направляється на мокру магнітну сепарацію, магнітний продукт на доподрібнення та дозбагачення та ін.

На Полтавському та на Інгулецькому гірничо-збагачувальних комбінатах застосовується зворотна флотація, де пінний продукт – це хвости, а камерний продукт – це концентрат.

На Полтавському ГЗК також існує вузол доведення пінного продукту з встановленням в голові процесу вертикальних млинів та отримання на цій лінії відносно низькоякісного флотаційного концентрату.

Дослідження інтенсифікації зворотної флотації магнетитових кварцитів Михайлівського ГЗК, в частині доведення пінного продукту, проводились з використанням електрохімічної обробки рідкої фази пульпи та без неї. Проведеними дослідженнями встановлено, що при зміні рН водних систем з 3,63 до 10,6 при використанні хімічних реагентів середовище є окислювальним та окислювально-відновлюючий потенціал (Eh) знаходиться в діапазоні 207-447 мВ. Змінюючи значення рН досліджуваних вод методом їх електрохімічної обробки, можливо отримати відновлююче середовище $Eh = (-74) - (-362)$ мВ при значеннях рН в області 8,5-10,5, підвищити адсорбцію позитивно заряджених іонів аміна на поверхні кварцу і відповідно, посилити гідрофобність його поверхні та здатність до флотації [10].

Необхідність дестабілізації пін та контролю їх утворення у промислових процесах добре описана в роботі [11]. Вирішення цієї проблеми можливо з використанням фізичних руйнівних методів таких як механічна та ультразвукова вібрація. Ефективність даних методів визначається амплітудою та частотою коливань, а також структурою піни.

Аналіз публікацій говорить про те, що роботи направлені на створення оптимальних умов для коагуляції частинок та адсорбції реагентів є доцільними та потребують вирішення з метою отримання продукту з новими фізико-механічними характеристиками.

Постановка задачі. Метою даних досліджень є вивчення можливості включення додаткових операцій в технологічну схему на підставі аналізу явищ коагуляції частинок та адсорбції реагентів на поверхні пінного продукту флотації, встановлення залежностей руйнування мінеральних флокул та їх впливу на технологічні показники.

Викладення матеріалу та результати. Флотація – це процес розділення дрібних частинок, який базується на різному ступені змочування поверхні. В процесі задіяні три фази: тверда – подрібнений цінний компонент, рідка – пульпа та газоподібна – бульбашки повітря. Частинки, які не змочуються водою (гідрофобні), прилипають до поверхні бульбашок повітря та спливають у камеру флотаційної машини вгору, формуючи на поверхні камери пінний шар (пінний продукт флотації – в основному кварц). Частинки, які добре змочуються водою (гідрофільні), залишаються у зваженому стані (камерний продукт флотації – магнетит).

Для формування або посилення природної гідрофобності при флотації використовуються збирачі [12]. Вони адсорбуються на поверхні твердої фази та сприяють прилипанню частинок до бульбашок повітря. На рис. 1, згідно з адсорбційною теорією, відображено формування нової одиничної поверхні тверде-газоподібне, яке подібне формуванню пінного продукту [7].

В процесі флотації також присутнє явище коагуляції або флокуляції представлене на рис. 2. Коагуляція – це поєднання дрібних частинок у більш крупні агрегати.

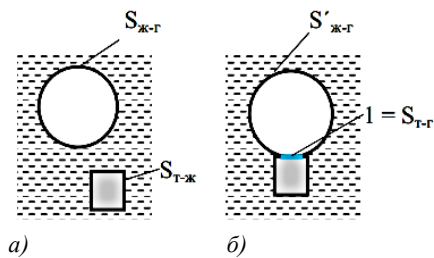


Рис.1. Формування нової поверхні:
а - до прилипання; б - після прилипання

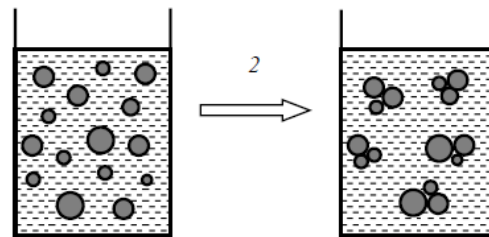


Рис.2. Явище коагуляції

Коагуляція частинок пінного продукту та адсорбція колектору на його поверхні при флотації залізних руд позитивно впливає при виконанні основної операції флотації – розділення на камерний (концентрат) та пінний продукт (умовно відходи). Але негативно впливає на наступні процеси при подальшому збагаченні пінного продукту.

Шляхами вирішення даної проблеми можуть бути:

оптимізація умов флотації: Вивчення та оптимізація параметрів флотації, таких як рН, концентрація реагентів, температура і швидкість перемішування, може допомогти запобігти коагуляції частинок та зменшенню адсорбційної схильності колектору;

використання диспергентів: Диспергенти - це хімічні реагенти, які допомагають запобігти коагуляції частинок пінного продукту. Вони зменшують сили тяжіння між частинками і сприяють їх рівномірному розподілу в суспензії;

використання додаткових реагентів: Для керування коагуляцією можна використовувати додаткові реагенти, такі як депресанти або дисперсанти, залежно від характеристик руди та умов процесу;

застосування сучасних методів аналізу та моделювання, таких як комп'ютерне моделювання та машинне навчання, може допомогти оптимізувати процес флотації та передбачати коагуляцію частинок;

застосування методів сепарування, відстоювання та ін.

Використання диспергентів та додаткових реагентів у даній роботі не розглядається, тому що призведе до додаткового екологічного навантаження технологічного процесу.

Опираючись на матеріали наведені [11], розглянемо структури пін – рис. 3.

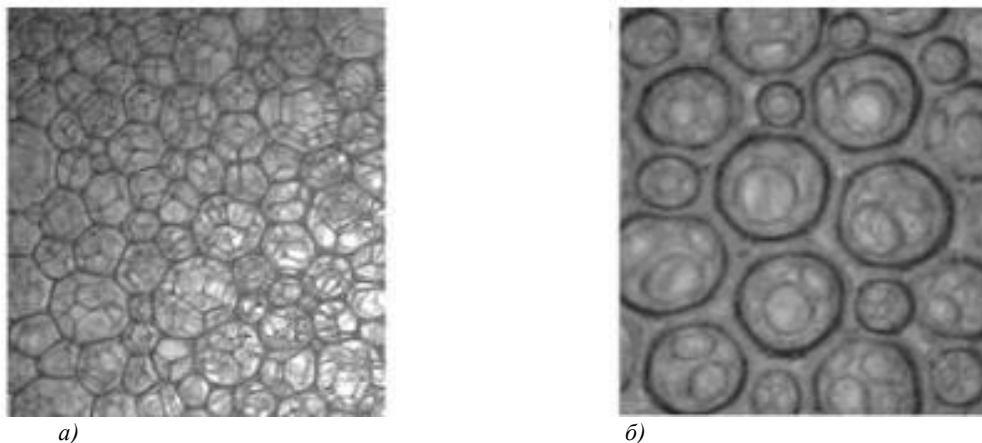


Рис.3. Типи піна: а - суха піна – осередки багатогранні; б - волога піна – сферичні бульбашки

На рисунку 3 наведені фото сухої та вологої піни. Пінний продукт відноситься до вологої піни, тобто має сферичні бульбашки зі включеннями рудної та нерудної складової.

Розглянувши теоретичні умови формування пінного продукту, переходимо до експерименту.

Перед початком експериментів була відібрана свіжа проба пінного продукту флотації Інгулецького ГЗК і на її базі виконані наступні уточнення:

повного хімічного складу, мінералогічного складу та розподілу основних мінералів пінного продукту;

оптичної мікроскопії класів крупності пінного продукту.

Результати повного хімічного аналізу наведені в табл.1.

Таблиця 1

Повний хімічний аналіз пінного продукту

Компоненти, %	Fe _{заг.}	SiO ₂	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO
Пінний продукт	40,7	22,8	0,15	1,0	0,24	0,23	0,24	0,46	0,013	0,039

Мінералогічний аналіз пінного продукту наведено в табл.2.

Таблиця 2

Мінералогічний аналіз пінного продукту по класам крупності

Мінерали/класи крупності	+0,045 мм	+0,038 -0,045 мм	+0,020 -0,038 мм	-0,020 мм	Всього по пробі
Магнетит	25,56	38,95	54,91	86,69	72,13
Кварц	60,45	48,76	34,26	7,10	19,27
Силікати	11,81	10,36	9,04	5,03	7,28
Карбонати	2,18	1,93	1,79	1,17	1,33
Всього	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Розподілення основних мінералів у пінному продукті наведено в табл.3.

Таблиця 3

Розподілення кварцу та магнетиту в класах крупності пінного продукту

Класи крупності	Вихід	+0,045 мм	+0,038 -0,045 мм	+0,020 -0,038 мм	-0,020 мм
Кварц, %	19,27	60,45	48,76	34,26	7,1
Розподіл кварцу, %	100	41,10	9,23	23,73	25,94
Розкритий кварц	57,42	56,13	56,47	53,67	63,22
Магнетит, %	72,13	25,56	38,96	54,91	86,69
Розподіл магнетиту, %	100	4,58	1,94	10,02	83,46
Розкритий магнетит	83,7	21,22	49,86	56,11	91,22

Оптична мікроскопія класів крупності пінного продукту наведена на рисунку 4 .

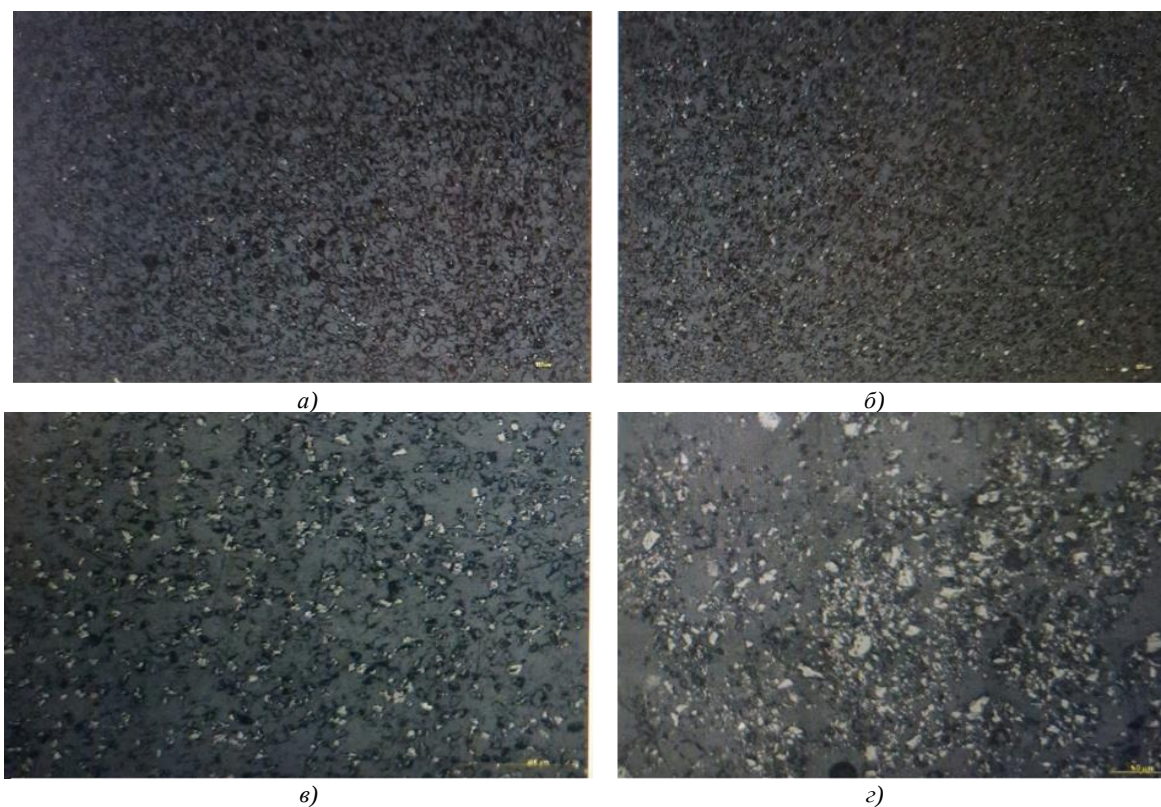


Рис.4. Оптична мікроскопія класів крупності пінного продукту: *a* – +0,045 мм; *б* – +0,038-0,045мм; *в* – +0,020-0,038 мм; *г* – -0,020 мм

Оптична мікроскопія класів крупності +0,045 мм, +0,038-0,045 мм, +0,020-0,038 мм та -0,020 мм, показує, що крупні класи представлені в основному кварцем, в той час як дрібні – магнетитом. Це також підтверджується мінералогією пінного продукту та розподілом основних мінералів.

Наведені вище характеристики хімічного та мінералогічного складу пінного продукту підтверджують раніше проведені дослідження [13], та говорять про те, що протягом часу вони практично не змінюються.

Першим етапом експериментів є оновлення поверхні пінного продукту та руйнування коагуляційних агрегатів.

В матеріалах дисертаційної роботи [14] одним із методів керування процесу коагуляції є магнітна обробка. Вода пропускається через магнітне поле, яке створюється постійним магнітом або електромагнітом. Багатьма дослідниками [15,16] проводилась оцінка впливу магнітного поля на процес коагуляції. Механізм дії на воду, що оброблюється автори пов'язують з резонансними явищами. Коли частота коливань магнітного поля співпадає з власною частотою коливальних рухів домішок води (атомів, іонів, молекул, у тому числі і колоїдних частинок), то порушуються сполучні їх взаємодії та система дестабілізується.

Методи керування коагуляції магнітним полем описані в роботах [14,15,16] стосуються води. В рамках досліджень даний метод застосовується при збагаченні пінного продукту.

Дослідження пінного продукту проводились з використанням:

магнітного лабораторного сепаратора 237-СЕ-Б, з трьохполюсною магнітною системою з напруженістю середнього полюсу 1500 ерстед, крайніх полюсів 1000 ерстед;

флотомашини 137 ФЛ конструкції інституту Механобр з об'ємом камери 0,5 л у відкритому циклі на технічній воді Інгuleцького ГЗК.

У якості збирача використовувався реагент Лілафлот 811 М амінного ряду, діюча речовина ізодецилоксипропіламін (фірма «Akzo Nobel», Швеція). Досліди проводились при витратах реагенту від 50 до 250 г/т. Найкращий результат був отриманий при витраті 250 г/т.

Підготовка проби пінного продукту для подальшого збагачення починається з операції розмагнічування у полі з напруженістю $H=0,05$ Тл або 39,8 кА/м. З огляду досліджень на воді, така обробка пінного продукту призведе до зменшення коагуляції частинок, буде сприяти більш швидкому їх осіданню, а також повинно відобразитися на технологічних показниках.

Для можливості порівняння технологічних показників досліди пінного продукту з використанням магнітної сепарації та флотації виконувались послідовно та складалися з двох серій: подача пінного продукту на сепарацію без розмагнічування та з використанням операції розмагнічування. Найкращі результати наведені на рис.5, 6.

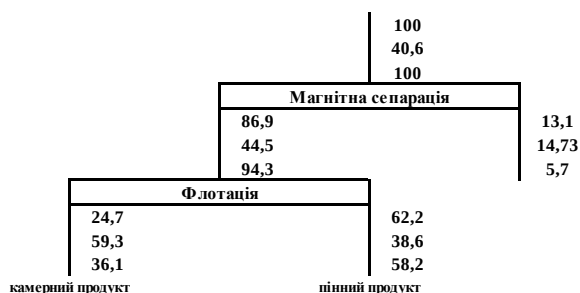


Рис.5. Схема дослідження пінного продукту без розмагнічування

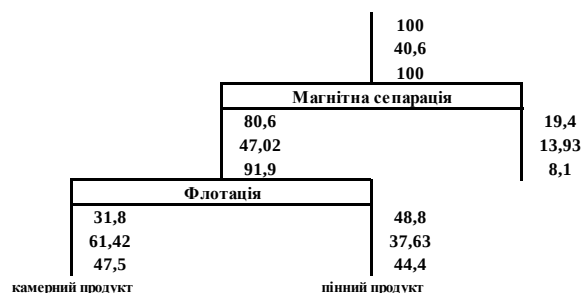


Рис.6. Схема дослідження пінного продукту з розмагнічуванням у полі $H=0,05$ Тл або 39,8 кА/м

Наведені результати лабораторних досліджень свідчать про те, що обробка пінного продукту у магнітному полі перед операціями збагачення позитивно впливає на технологічні показники. Наступні операції збагачення такі як, магнітна сепарація та флотація дозволяють підвищити вміст заліза загального з 40,6 % до 61,42 %.

Отже, отримані результати дозволили встановити залежність руйнування мінеральних флокул під впливом магнітного поля, що в свою чергу позначилось на технологічних показниках кінцевого продукту.

Висновки і напрямки подальших досліджень. Аналіз проведених досліджень свідчить про можливість використання операції розмагнічування перед операціями збагачення, з метою

зменшення впливу коагуляції частинок та подальшого використання отриманого продукту у технологічній схемі.

Оцінка впливу зниження явища коагуляції виконана на основі зіставлення показників технологічної схеми без операції розмагнічування та з її застосуванням, а саме:

підвищення вмісту заліза загального у магнітному продукту на 2,42 % (з 44,6 % до 47,02 %) та у камерному продукті флотації на 2,12 % (з 59,3 % до 61,42 %);

зниження виходу магнітного продукту на 6,3 % (з 86,9 % до 80,6 %), але підвищення виходу камерного продукту флотації на 7,1 % (з 24,7 % до 31,8 %).

Включення даної операції в існуючу схему Інгuleцького ГЗК потребує проведення промислових випробувань для підтвердження технологічних показників, отриманих в лабораторних умовах.

Для отримання конкурентноспроможного продукту та підвищення якості концентрату, з пінного продукту необхідно направити подальші дослідження на пошук додаткових операцій у схемі. Можливо розглянути операції магнітної дешламації, доподрібнення, оновлення поверхні пінного продукту тощо.

Отримані результати дозволили встановити залежність руйнування мінеральних флокул під впливом магнітного поля, що в свою чергу позначилось на технологічних показниках кінцевого продукту.

Список літератури

1. **Клындюк А.И.** Поверхностные явления и дисперсные системы: учебное пособие. Минск. 2011: Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет». 317с.
2. **Белан Ф.Н.** Пути освоения флотации железных окислов в Криворожском бассейне. Известие Вузов. Горный журнал. – 1960. – №3.
3. **Бехтле Г.А., Румянцева Н.М.** Флотация гематита, магнетита и мартита некоторыми собирателями анионного и катионного типа. Вопросы разработки месторождений КМА.
4. **Бехтле Г.А., Силищенская Н.М., Глембоцкий В.А., Плаксин И.Н.** Флотация железных минералов из хвостов магнитной сепарации обогатительных фабрик КМАруда. Горный журнал. – 1958. – №1.
5. **Глембоцкий В.А.** Флотация железных руд. – М.: Недра, 1964. – 2016. – 223 с.
6. **Гристан Е.Л., Турецкий Я.М.** Обогащение железных руд и доводка манетитовых концентратов методом обратной флотации. Горный журнал. – 2007. – №2. С. 58-64
7. **Абрамов А.А.** Флотационные методы обогащения. – Москва. – 2016. – Издательство «Горная книга». 595 с.
8. **Олейник Т.А., Сляр Л.В., Олейник М.О., Скляр А.Ю.** Особенности флотации железных руд. Збагачення корисних копалин. – Дніпропетровськ. – 2017. – Вип. 67(108). Фахове видання.
9. **Сушацький Ю.В.** Гідродинамічний кавітатор для кавітаційно-флотаційного розділення водних гетерогенних середовищ: дис. канд. тех. наук : 05.17.08 / Національний університет «Львівська Політехніка». Львів, 2017. 194 с.
10. **Журавлева Е.С.** Научное экспериментальное обоснование электрохимических методов повышения технологических показателей переработки черновых магнетитовых концентратов: дис. канд. тех. наук : 25.00.13 / ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», ФГБУН Институт Проблем комплексного освоения недр РАН. Москва, 2017. 111 с.
11. **М. Barigou** Foam Rupture by Mechanical and Vibrational Methods. Chemical Engineering & Technology 24(6):659 – 663. DOI:[10.1002/1521-4125\(200106\)24:6<659::AID-CEAT659>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/1521-4125(200106)24:6<659::AID-CEAT659>3.0.CO;2-1) - June 2001
12. **V.Morkun, G.Gubin, T.Oliinyk, V.Lotous, V.Ravinskaia, V.Trone, N.Morkun, M.Oliinyk** High-energy ultrasound to improve the quality of purifying the particles of iron ore in the process of its enrichment. 2017. doi:10.15587/1729-4061.2017.118448.
13. **Олійник Т.А., Вільгельм М.М.** Передумови підвищення селективності розділення рудної та нерудної складової пінного продукту флотації. Гірничий вісник. –Кривий Ріг. – 2021. Вип.109, -с.73
14. **Бойкова Т.Е.** Применение методов коагуляции в подготовке на целлюлозно-бумажных предприятиях: дис. канд. тех. наук : 05.21.03 / Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова. Архангельск, 2019. 144 с.
15. **Очков В.Ф.** Магнитная обработка воды: история и современное состояние // Энергосбережение и водоподготовка. 2006. № 2, с.23-29
16. **Шиблева Т.Г., Воронцова Н.В., Солобова Г.В.** О влиянии магнитной обработки на основные стадии коагуляционной очистки воды.// Вестник Тюменского государственного университета. 2008. № 3, с.54-57

А.М. ПИЖИК, М.М. ПИЖИК, кандидати техн. наук, доценти, І.О. ПАШКОВА, асистент
Криворізький національний університет
С.А. ПИЖИК, гірн.майстер, ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

ТЕХНОЛОГІЯ СКЛАДУВАННЯ БЕЗРУДНИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД У ВИРОБЛЕНОМУ ПРОСТОРІ ВИВЕДЕНОГО З ЕКСПЛУАТАЦІЇ КАР'ЄРУ

Мета. Проблема рекультивациі навколишнього середовища на сучасному рівні розвитку гірничодобувного виробництва досягла екстремальних значень. Сотні тисяч гектарів природних ресурсів практично назавжди виведені з балансу сільськогосподарських угідь. Сучасне гірське виробництво, як ніколи, гостро потребує розробки ефективних ресурсозберігаючих технологій. Мета наданої роботи присвячена саме цьому питанням і полягає в розробці ефективної технології складування безрудних гірських порід у виробленому просторі виведеного з експлуатації кар'єру.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети роботи використано метод комплексного дослідження. Був виконаний достатньо глибокий аналіз патентних, наукових, довідкових літературних джерел та технічної документації. Був проаналізований сучасний досвід діючих гірничо-видобувних підприємств щодо технологій розміщення пустих порід у виробленому просторі гірничих виробок.

Наукова новизна. На вітчизняних гірничодобувних підприємствах станом на сьогоднішній день питання рекультивациі порушених земель набрало своєї граничної значущості. Характерним прикладом може бути ландшафт Криворізького регіону. Сотні гектарів зайняті виробітками виведених з експлуатації кар'єрів. В наданій роботі запропоновано високоефективну технологію розміщення безрудних гірських порід у відкритих виробках виведених з експлуатації, яка характеризується високими техніко-економічними показниками.

Практична значимість. Пропонована технологія розміщення безрудних гірських порід у виробленому просторі кар'єрів, що виведені з експлуатації, характеризується принципово новим підходом до вирішення даного питання. Рішення, що рекомендується, характеризується високими техніко-економічними показниками, значними показниками інтенсификації ведення робіт, суттєвим рівнем безпеки. На умови застосування даної технології не в якій мірі не впливають ні гірничо-гідрологічні не гірничо-технологічні характеристики виведеної з експлуатації гірничої виробки. В основі її використання закладені переваги вибуху на скидання.

Результати. Аналіз існуючих технологій розміщення безрудних гірських порід у виробленому просторі виведених з експлуатації відкритих гірських виробок свідчить, що всі вони характеризуються досить складними методиками їх реалізації на практиці, високими економічними показниками, наявністю граничних умов їх застосування. Пропонований метод повною мірою позбавлений даних недоліків і цілком гідний до використання на практиці. Він характеризується високим показниками інтенсификації робіт, відсутністю залежності використання від гірничо-гідрологічних або гірничо-технологічних умов.

Ключові слова: вироблений простір, складування, безрудні гірські породи, технологічні та робочі параметри драглайну, призма можливого обрушення, технологічні свердловинні заряди, вибух на скидання.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-77-80

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сучасне гірниче підприємство з видобування корисних копалин відкритим способом характеризується значними витратами земельних ресурсів. Так, наприклад, параметри земельного відводу гірничо-збагачувального комбінату ОАО «ПівдГЗК» на теперішній час складають 837 гектарів. Цей показник має ненабагато менше значення, а то і більше, відносно інших ГЗК Кривбасу. Під кар'єри, відвали, шламосховища задіяні тисячі гектарів сільськогосподарських земель, які в недалекій перспективі повинні бути повернені у народне господарство. Процес повернення земельних ресурсів, це комплекс проектних, гірничо-технологічних і біологічних питань, які необхідно враховувати і вирішувати ще до виведення гірничого підприємства з експлуатації.

Слід відзначити, що весь комплекс робіт з гірничо-технологічної рекультивациі не є матеріально прибутковим для підприємства. Відповідно вони повинні виконуватися з використанням сучасних високоефективних і економічних технологій.

Як свідчить практика, нині, при вирішенні питань гірничо-технологічної рекультивациі, досить складним є питання відносно вибору технології розміщення гірських порід у виробленому просторі виведеного з експлуатації кар'єру. Геометричні параметри сучасних кар'єрів (глибина, ширина та довжина верхнього контуру) суттєво впливають на техніко-економічні показники цих робіт. Використання транспортної системи пов'язане з необхідністю вирішення комплексу досить складних технологічних і організаційних питань. Постійно міняється форма траси для перевезення гірських порід у вироблений простір кар'єру, її план і профіль, відстань транспор-

тування та ін. Як підсумок все це відбивається на досить високих значеннях економічних показників цих робіт.

Аналіз досліджень і публікацій. Вирішенню питання по розробці високоефективної та економічної технології розміщення розкривних порід у виробленому просторі виведеного з експлуатації кар'єру присвячена велика кількість наукових і інженерних робіт, які в даний час використовуються на практиці.

В дисертаційній роботі Капустіної С.В. проаналізовані діючі та запропонована принципово нова технологія розміщення розкривних порід у виробленому просторі виведених з експлуатації кар'єрів з використанням аеростатно-канатної транспортної системи (АКС) [2].

На рис. 1 наведена технологічна схема розміщення розкривних порід у вироблений простір кар'єру за допомогою аеростатно-канатного спуску. Сутність пристрою і функціонування АКС полягає у зворотньо-поступовому переміщенні каретки 4 з закріпленим на ній аеростатом 3 і транспортною ємністю 5 по напрямним канатам 2, які натягнуті між опорами 1, що встановлені на нижньому та верхньому горизонтах кар'єру. Аеростат використовують у АКС з метою полегшення вантажу, який транспортується (зниження навантаження на канатну магістраль) та створення аеростатичної сили тяги для підйому розвантаженої ємності на верхній горизонт.

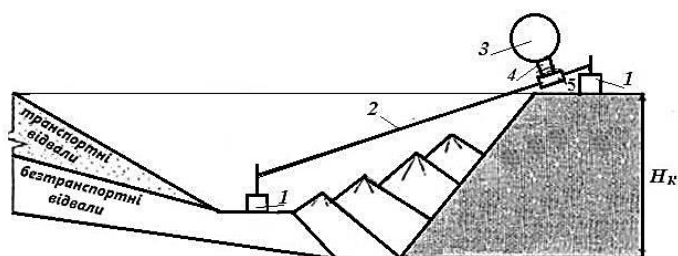


Рис.1. Схема внутрішнього відвалоутворення за допомогою аеростатно-канатного спуску (по В.Д. Буткіну та О.С. Моріну): 1 - опори; 2 - напрямні канати; 3 – аеростат; 4 – каретка; 5 – транспортна ємність

На рис.2 наведена технологічна схема використання двомагістрального аеростатно-канатного спуску для доставки гірської маси у вироблений простір кар'єру. За даними авторів особливості АКС створюють можливість у любых гірничо-геологічних умовах (включаючи нестійкі породи) розміщувати розкрив у внутрішніх відвалах на усю глибину і по усьому периметру кар'єру без внутрішньокар'єрних шляхів і доріг, забезпечуючи суттєве зниження енерго- та ресурсомісткості. Головну роль при цьому грає великий радіус дії АКС та можливість переміщення порід по найкоротшим надземним траєкторіям з використанням та частковою регенерацією енергії вантажів, які спускаються у низ.

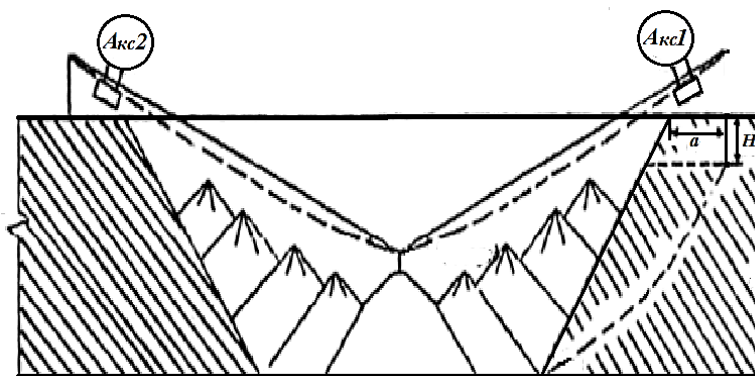
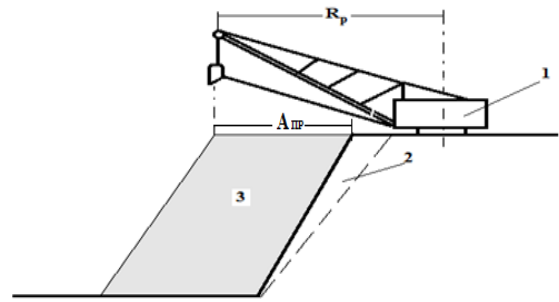


Рис.2. Двомагістральний АКС з двома пунктами завантаження (по Буткіну В.Д. і Капустіної С.В.)

Програма широкого використання ресурсозберігаючих та природоохоронних технологій реалізується гірничим департаментом ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг». Для розміщення розкривних порід, які виймаються у кар'єрі №2біс, використовується вироблений простір виведеного з експлуатації кар'єру №1. Принципова схема технології виконання даних робіт наведена на рис.3.

Рис.3. Технологія розміщення розкривних порід у вироблений простір кар'єру за допомогою драглайну: 1 – драглайн; 2 – призма можливого обвалення гірського масиву; 3 – розкривні породи, які розміщені у виробленому просторі драглайном



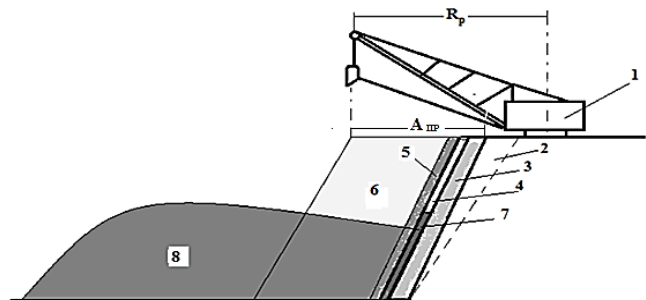
Постановка завдання. На відмову від вище наведених технологій це рішення не потребує досить складних спеціальних пристроїв, воно базується на використанні типового гірничо-технологічного обладнання. Але, як свідчить практика, на ефективність її використання істотно впливає співвідношення робочих параметрів драглайну та параметрів кар'єру: максимальний радіус розвантаження драглайну, глибина, ширина та довжина верхнього контуру та ін. Під час розміщення гірської породи у виробленому просторі, на борту кар'єру формується призма, параметри якої (ширина по верху $A_{пр}$) будуть визначати повноту заповнення виробленого простору. Розташовувати драглайн на покрівлі даної призми заборонено з причини її можливого обвалення. Дана технологія для кожної марки драглайну має свої граничні параметри, які визначаються максимальним радіусом розвантаження екскаватора (R_p). Для збільшення повноти заповнення виробленого простору кар'єру слід використовувати драглайн з більшими робочими параметрами, що пов'язане зі значними капітальними витратами.

Викладення матеріалу та результати. При використанні технологічного рішення, що пропонується, роботи по розміщенню розкривних порід у виробленому просторі кар'єру виконуються з високим рівнем техніко-економічних показників. Не виникає потреби використовувати спеціалізоване обладнання, виключається залежність ефективності заповнення простору кар'єру від параметрів технологічного обладнання, значно скорочується час виконання робіт. Основною перевагою пропонованої технології є використання енергії направленного вибуху на скидання.

Пропоноване технічне рішення базується на використанні енергії направленного вибуху на скидання для розміщення гірської маси у виробленому просторі кар'єру, яка попереднє відвантажувалась на укіс борту кар'єру драглайном. Дане рішення суттєво впливає на техніко-економічні та часові показники процесу розміщення розкривних порід у виробленому просторі виведеного з експлуатації кар'єру.

Методика практичного використання запропонованої технології наведена на рис. 4.

Рис. 4. Технологія розміщення порід розкриття у виробленому просторі кар'єру з використанням направленного вибуху на скидання: 1 - драглайн; 2 - призма можливого обвалення; 3 – шар з тонкодисперсної гірської маси; 4 – ПВХ труби $\varnothing 220 \div 250$ мм; 5 – шар з тонкодисперсної гірської маси; 6 – гірська маса, яка відвантажувалась у вироблений простір кар'єру за допомогою драглайну; 7 – заряд вибухової речовини; 8 – розміщення гірської маси після вибуху на скидання



Попереднє, на укіс борту виведеного з експлуатації кар'єру, за допомогою драглайну відсипається шар дрібнодисперсної гірської маси 3 і здійснюється виположування укосу, при цьому ширина сектору виположування по периметру верхнього контуру кар'єру приймається довільно. Після цього, на відсипаний шар з дрібнодисперсної гірської маси 3 на всю глибину кар'єра вкладаються ПВХ труби 4 діаметром $0,22 \div 0,25$ м з інтервалом $6 \div 7$ метрів. Зверху, за допомогою драглайну, труби вкриваються шаром хвостів або іншою тонко дисперсною гірською масою 5. Товщина шару 5 повинна забезпечити цілісність ПВХ труб 4 при подальшому розташуванні драглайном пустих порід у виробленому просторі кар'єру 6. На момент, коли ширина призми з порід розкриття ($A_{пр}$), що складаються у вироблений простір кар'єру 6, досягне кінцевого значення, яке визначається радіусом розвантаження драглайну (R_p), відвантажувальні роботи призупиняються. Після цього в ПВХ трубах з використанням промислової вибухової речовини, техніки і технології формуються свердловинні заряди на скидання і виконується їх підривання. Направленим вибухом на

скидання розкривні породи розміщуються по дну виробленого простору кар'єру. Укіс борту кар'єру оголюється і драглайн розпочинає новий цикл робіт.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Запропонована технологія виключає необхідність використовувати спеціалізовані пристрої та техніку. Роботи виконуються серійним технологічним гірничим обладнанням, яке може бути задіяне у промисловому виробництві. Пункт доставки розкривних порід для їх подальшого перевантаження у вироблений простір кар'єру драглайном довгий час залишається стаціонарним, що зменшує об'єм робіт, які пов'язані з переоснащенням пунктів прийому гірської маси. Кінцеве розміщення порід розкриву у виробленому просторі відпрацьованого кар'єру здійснюється за рахунок використання енергії направленої вибуху на скидання, що суттєво впливає на техніко-економічні та часові показники процесу.

Напрямок подальших досліджень полягає в комплексному вивченні фізики вибуху на скидання з урахуванням дійсних гірничо-технологічних та гідрогеологічних умов його виконання, розробці методики розрахунку основних параметрів промислового вибуху на скидання, вдосконаленні комплексних інженерних рекомендацій по застосуванню розробленої технології в промислових умовах.

Список літератури

1. **Пижик А.М., Пижик М.М., Пашкова І.О., Пижик С.А.** Патент на корисну модель №151821 Спосіб складування безрудних гірських порід у виробленому просторі виведеного з експлуатації кар'єру Зареєстровано в Державному реєстрі України корисних моделей 14.09.2022.
2. **Капустина С.В.** Автореферат диссертации по разработке полезных ископаемых, 05.15.03, Технология размещения вскрышных пород в погашенные карьеры с использованием аэростатно-канатных транспортных систем., Красноярск, 2000.
3. **Михайлов О.М.** Охрана окружающей среды на карьерах: Учеб. Пособие. –К.: Вища шк., 1990. – 264 с.
4. **Прокопенко В.И., Мормуль Т.Н., Литвинов Ю.И.** Развитие технологических схем открытой разработки горизонтальных месторождений с целью землесбережения, Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», Днепропетровск, Украина, Екологія і природокористування, 2012, Випуск 15.
5. **Буткин В.Д., Морин А.С., Точилин В.И.** Об аэротехнологиях на карьерах. В кн.: Проблема открытой добычи угля в Кузбассе. – Кемерово. Изд. «Родник», 1990, -с. 81 – 83.
6. **Морин А.С.** Изыскание эффективных аэростатно-канатных транспортных систем для открытых горных работ. Автореферат кандидатской диссертации. Иркутск, 1993.
7. **Васильев Г.А.** Вскрытие Алтын-Топкинского месторождения полезных ископаемых массовыми взрывами на сброс. – В кн.: Применение массовых взрывов в горной промышленности и строительстве. М., изд. ГОИНТИ, 1960. С. 37-39.
8. **Дороничева Л.А.** Массовые взрывы для вскрытия Байничанского месторождения в КНР. – В кн.: Применение массовых взрывов в горной промышленности и строительстве. М., изд. ГОИНТИ, 1960. С. 50-56.
9. **Кузнецов В.М., Лаврентьев М.А., Шер Е.Н.** О направленном выбросе грунта при помощи ВВ. – ПМТФ. 1960, №4. С. 49-50.
10. **Кузнецов В.М., Шер Е.Н.** Направленный взрыв в грунте. – В кн.: Взрывные работы в современных условиях, №50/8. М., Госгортехиздат, 1963. С. 22-39.
11. **Черниговский А.А.** Направленный выброс горной породы системой скважинных зарядов. – В кн.: Взрывные работы в современных условиях, №50/8. М., Госгортехиздат, 1963. С. 13-22.
12. **Давыдов С.А., Кузнецов В.А.** Взрывание на выброс траншейными зарядами ВВ. – В кн.: Взрывное дело, №69/26. М., «Недра», 1970. С. 168-174.

УДК 622.77

Т.А. ОЛІЙНИК, д-р техн. наук, проф., В. В. НЕВЗОРОВ, аспірант
Криворізький національний університет

ТОНКЕ ГРОХОЧЕННЯ ЯК СПОСІБ ВИРІШЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПИТАНЬ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ВИСОКОЯКІСНИХ ЗАЛІЗОРУДНИХ КОНЦЕНТРАТІВ

Мета. Метою даних досліджень є оцінка можливості застосування тонкого грохочення у схемах переробки залізрудних концентратів для підвищення їх якості.

Методи дослідження. Вивчення та аналіз публікацій по застосуванню тонкого грохочення у різних галузях: нафтогазова, будівельна, видобувна та інші. Лабораторно-аналітичні дослідження для визначення найбільш оптима-

льного місця використання тонкого грохочення в технологічних схемах діючого виробництва. Аналіз результатів лабораторно-аналітичних досліджень та формування напрямків наступних експериментів.

Наукова новизна. В рамках дослідження встановлено, що тонке грохочення є сучасним та перспективним методом, який можливо застосовувати в технологічних схемах збагачення залізорудних концентратів. При проведенні подальших експериментів необхідно визначити оптимальні параметри грохочення, а також сформулювати залежності ефективності розділення від витрат води, амплітуди коливань, навантаження на грохот та інше.

Практичне значення. Використання тонкого грохочення для руд з низьким вмістом корисного компонента, дозволяє раціонально використовувати природні ресурси, а також оптимізувати технологічні процеси за рахунок підвищення їх ефективності. Ефективність розділення грохотів тонкого грохочення складає 70-80%, що на 25-30% вище ефективності класифікації в гідроциклонах, в діючих схемах виробництва. Для підтвердження практичного значення виконаного аналізу потрібно проведення промислових випробувань.

Результати. В рамках виконаного аналізу підтверджено можливість використання тонкого грохочення для підвищення якості залізорудної продукції та зниження її собівартості. Визначено переваги тонкого грохочення у порівнянні з традиційними методами збагачення та класифікацією в гідроциклонах, а саме: висока точність сортування; підвищення ефективності збагачення; мінімізація втрат цінних компонентів; зниження витрат на виробництво концентратів, за рахунок скорочення операцій у технологічних схемах; адаптивність технології під вимоги сортування та характеристики матеріалу.

Сформовані напрямки подальшого вивчення, можливі точки застосування тонкого грохочення у схемах збагачення та продукції.

Ключові слова: тонке грохочення, поверхні для грохочення, ефективність розділення, оптимізація технологічних процесів, ГЗК.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-80-88

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. У світі, де металургійна промисловість і технології відіграють ключову роль розвитку економіки, виробництво високо-сортних концентратів стає дедалі важливим напрямом. Тому гірничо-видобувна промисловість України та усього світу стикається з високою конкуренцією та постійним питанням необхідності підвищення якості залізорудної сировини. В Україні цим питанням свого часу займалося багато науковців, в тому числі і Губін Г. В. [1], Ширяєв А. А. [2].

«Магнетитові концентрати, що на світовому ринку користуються попитом, мають масову частку заліза 69-70%, діоксиду кремнію 2,5-3%, сірки 0,06-0,08% та інших шкідливих домішок не більше 0,3%. Вміст заліза в агломераційних рудах України на 1,6-2,0%, а в концентратах на 4-5% нижчий, ніж у продукції провідних зарубіжних виробників» [3].

Якісні характеристики залізорудних концентратів України в більшості своїй пов'язані з властивостями вихідної сировини та існуючими технологіями їх виробництва.

Залізорудна сировина України представлена магнетитовими кварцитами з тонкими вкрапленнями рудних і нерудних мінералів, яким притаманна складна структура, текстура, речовий склад та виражена.

«Масова частка заліза в промислових рудах коливається від 16 до 70%. Руди, що містять менше 50% заліза загального, збагачують до продуктів з масовою часткою заліза загального 62-67%» та масовою часткою кремнезему на рівні 5 %» [4].

Необхідність пошуку альтернативних, більш економічних технологій та обладнання для підвищення якості концентратів сприяло те, що за роки експлуатації кар'єрів, фабрик з переробки залізорудної сировини сталось наступне:

- погіршення якості сировини;
- застарілість існуючих технологій;
- зростання вимог до якості залізорудних концентратів.

Класичні технологічні схеми збагачення магнетитових руд в Україні однотипні та передбачають трьох- або чотирьох стадійне дроблення та трьохстадійне подрібнення руди з її класифікацією до крупності більше 95,0-98,0 класу 0,050 мм, поетапну магнітну сепарацію у слабкому магнітному полі з послідовним виведенням нерудної частини у хвости. Це є відмінною рисою технології переробки магнетитових руд. При цьому відбувається послідовне видалення рудних мінералів у товарні продукти по мірі їх розкриття. Однією з важливих операцій в цих схемах в циклах подрібнення руди є класифікація продуктів за крупністю, яка відбувається у класифікаторах та гідроциклонах. Ефективність класифікації за граничним зерном 0,074 мм у класифікаторах складає 60-70 %, а у гідроциклонах за граничним зерном 0,05 мм – на рівні 40 %, а іноді і набагато менше. Низька ефективність класифікації в гідроциклонах призводить до накопичення продуктів у циркулюючому навантаженні другої та третьої стадії подрібнення (піски гідроцик-

лонів), які мають крупність менше 0,05 мм. В результаті відбувається збільшення циркулюючого навантаження, яке становить – у другій стадії подрібнення більше 300%, у третій стадії подрібнення більше 200%. При цьому продукти, що циркулюють у циклах подрібнення мають підвищену масову частку заліза у зрівняні з продуктами, які подаються у цикли. Накопичення «готових» за крупністю та збагачених за корисним компонентом продуктів у циркулюючому навантаженні призводить до переподрібнення залізистих мінералів, ошланування та зниження якості кінцевого концентрату в результаті утворення вторинних зростків і як наслідок, до втрат заліза з хвостами. Також високі значення циркулюючого навантаження викликають додаткові витрати на подрібнення через збільшений об'єм пульпи, що циркулює в процесі.

Відповідно виробництво високосортних концентратів супроводжується технологічними проблемами, пов'язаними з організацією циклів подрібнення і класифікації промпродуктів.

При цьому часто розглядають не тільки можливість підвищення якості залізистих концентратів, а й зниження собівартості виробництва. Одним із таких способів є використання тонкого грохочення в замкнених циклах подрібнення замість гідроциклонів з метою зниження циркулюючих навантажень на вузол.

Починаючи з 2000-го року все частіше у світі застосовується тонке грохочення як ще один спосіб розділення мінеральної сировини, який надає можливості одночасно ще і підвищити якість, або отримати високоякісні залізисті концентрати.

В період 2000-2010 років гірничо-збагачувальні комбінати України розпочали модернізувати свої технологічні схеми. Найбільш суттєві це роздільна подача вихідної руди на збагачувальні фабрики та використання флотаційного методу для доводки кінцевих концентратів.

Аналіз досліджень і публікацій. У гірничодобувній промисловості використовуються різні методи класифікації. Двома найважливішими процесами для розділення частинок певного розміру є гідроциклони та грохоти.

Вимоги до тонкості подрібнення залежать від того, який метод може бути використаний для збагачення вмісту заліза і при якій тонкості подрібнення можливо відокремити пусту породу і цінний компонент [5].

До цього часу гідроциклони найчастіше використовувалися для задоволення вимог для тонкого розділення, тоді як системи грохочення, як правило, використовувалися для діапазону крупності вище цього. Але, схоже, ця традиція втратила свою актуальність. Технологія тонкого грохочення проникає у все більш дрібні діапазони розмірів, замінюючи гідроциклони і роблячи систему більш ефективною та економічною.

У гідроциклонах ефективність розділення і класифікації досягається за рахунок взаємодії відцентрових сил (до 1000 g) і сил потоку. Дрібні відділяються від крупних частинок у пропорції, що відповідає співвідношенню об'ємного потоку між зливом верхнього та зливом нижнього продуктів гідроциклону. Іноді ефективність, що досягається гідроциклонами, становить менше 50 % [5].

На грохотах вихідна сировина розділяється на два продукти – надрешітний та підрешітний. Загальною оцінкою роботи грохоту є розрахунок ефективності грохочення. У практичному сенсі під ефективністю грохочення розуміється кількість правильно розподіленого матеріалу, як правило, виражена у відсотках.

За заданим класом можуть бути розраховані три показники ефективності: по надрешітному продукту (по плюсовому класу), по підрешітному продукту (за мінусовим класом) і загальна ефективність [6].

Надрешітна ефективність – це частка плюсового щодо розміру розділення класу в вихідній сировині, яка отримана в надрешітний клас. Аналогічно, підрешітна ефективність – це частка мінусового щодо розміру розділення класу в вихідній сировині, яка отримана в підрешітному класі.

Загальна ефективність – це вміст частинок, що взагалі правильно розподілені у продукті відносно їх кількості у вихідній сировині.

Для розрахунку ефективності за заданим розміром поділу необхідні такі дані:

A – % плюсового класу у вихідній сировині;

B – % мінусового класу у вихідній сировині ($100 - A$);

C – % плюсового класу в надрешітному;

D – % мінусового класу в підрешітному.

Масу продуктів та значення ефективності розраховуються таким чином:

$$U = \text{маса підрешітного продукту (\%)} = \frac{100(C-A)}{C+D-100};$$

$$O = \text{маса надрешітного продукту (\%)} = 100-U;$$

$$E_u = \text{підрешітна ефективність} = \frac{UD}{B};$$

$$E_o = \text{надрешітна ефективність} = \frac{OC}{A};$$

$$E = \text{загальна ефективність} = \frac{UD+OC}{100}.$$

Історія виникнення тонкого грохочення бере свій початок у 1979 році, коли Derrick Corporation запатентувало ситом Mutlifeed для гірничодобувної промисловості. Подальший розвиток пов'язаний з розробкою поліуретанових панелей в 1989 році [7].

На протязі удосконалення існуючого обладнання для тонкого грохочення, розробки нових інноваційних рішень, виконання науково-дослідних робіт, тонке грохочення використовувалось як для мокрого так і для сухого розділення, як процес розділення матеріалу так і його зневоднення (рис. 1).

Застосування знайшло своє місце в різних галузях: нафтогазова, будівельна, видобувна та інші. Тонке грохочення використовується не тільки у простих процесах розділення матеріалів, але усе більше находить своє застосування у складних технологічних схемах переробки мінеральної сировини, таких як перемітка кінцевих продуктів виробництва так і робота в замкнутих контурах подрібнення. У порівнянні з другим обладнанням для розділення, тонке грохочення має більш вищу ефективність розділення.

Це в більшій мірі пов'язано з можливістю виробництва поверхонь для грохочення (сіток), з розмірами отворів менше за 0,1 мм та більш висою ефективністю розділення у порівнянні з гідроциклонами. Ефективність розділення у грохотів для тонкого грохочення досягають 70-80% та вище.

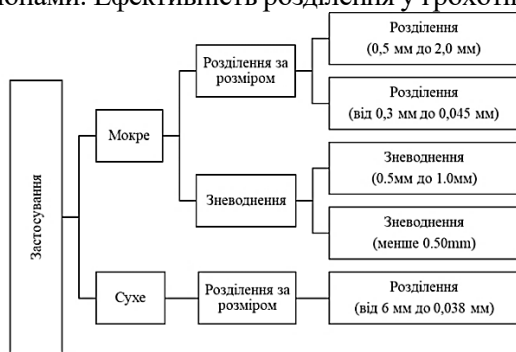
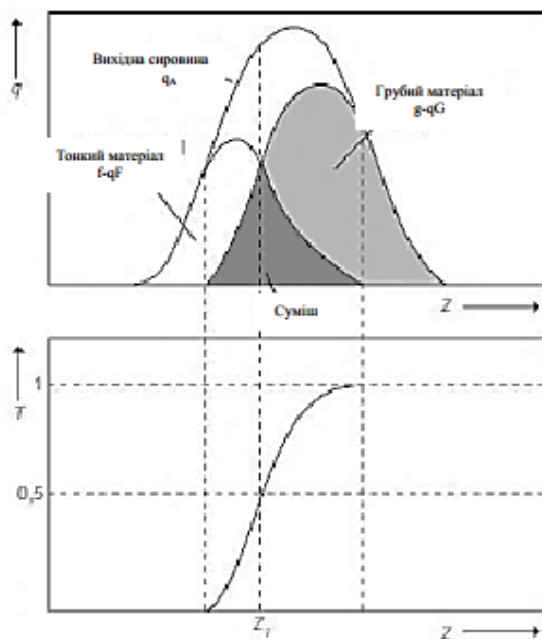


Рис. 1. Застосування грохочення у різних процесах переробки корисних копалин

Технологія тонкого грохочення є процесом розділення продуктів збагачення на фракції різних розмірів з використанням спеціалізованих грохотів з розміром отворів поверхонь для грохочення 0,1 мм та менше. Ця технологія дозволяє більш точно розділити частинки з близькими розмірами та покращити якість концентратів. Процес заснований на використанні вібрації та гравітаційних сил, що забезпечує ефективне сортування навіть за малих відмінностей у розмірах частинок.

Схематично взаємозв'язок гранулометричного розділення показано на рис. 2.

Рис. 2. Ефективність розділення в реальній практиці [5]



У цьому прикладі вихідна сировина qA розділяється на грубий матеріал $g-qG$ і тонкий $f-qF$. В ідеальній ситуації розділення криві густини розподілу крупного і тонкого матеріалу не перетинаються, але в реальній практиці - вони перетинаються. Матеріал в зоні перекриття складається з частинок великого розміру. Некондиційні фракції з боку крупних частинок називаються підрешітними, а на стороні дрібних частинок - надрешітними. Для кожної точки на осі z діаграми розподілу можна визначити ефективність розділення. Ця ефективність розділення характеризує кількість зваженої фракції вхідного матеріалу, яка потрапляє в

крупний матеріал. Залежність ефективності розділення від характеристики крупності має вигляд S-подібної кривої. Чим крутіша крива, тим більша селективність [5].

Сьогодні виробники грохотів для тонкого грохочення пропонують безліч різноманітних конструкцій, таких як одно-, або багатодечні, горизонтальні чи грохоти з різним кутом нахилу, з різними подільниками пульпи, геометричними розмірами тощо.

За даними посилання [5] «У сфері систем тонкого просіювання, для діапазону розмірів частинок менше 0,1 мм у гірничодобувній промисловості, на ринку зараз представлені дві просіювальні машини, дія яких заснована на технології високочастотного просіювання. Одна з них - Stack Sizer корпорації Derrick.

На рис. 3 показано принцип роботи грохоту з 5 ситовими деками. Свіже живлення розподіляється в 5 окремих живильних коробок на кожній ситовій деці. Ситові деки, які працюють паралельно, оснащені високоефективними поліуретановими ситовими панелями. Грохот приводиться в лінійні коливання двома вібраційними двигунами. Високочастотна лінійна вібрація створює прискорення матеріалу на ситі, завдяки чому він затримується на поверхні сита на довший час.

Надтонкий грохот (UFS) компанії Metso працює аналогічно до грохоту Derrick's Stack Sizer. UFS може мати до 10 ситових дек та поверхонь для грохочення до 15 м². Всі решітні деки збуджуються одним і тим же вібраційним блоком, який генерує амплітуду коливань від 0,6 до 2,5 мм. Для забезпечення рівномірного розподілу вихідного матеріалу використовується інноваційний дільник. Він подає матеріал на 2 деки одночасно й однорідної густини. За словами Metso, ця просіювальна машина є такою ж компактною, як і гідроциклона установка, але вимагає більших інвестиційних витрат.

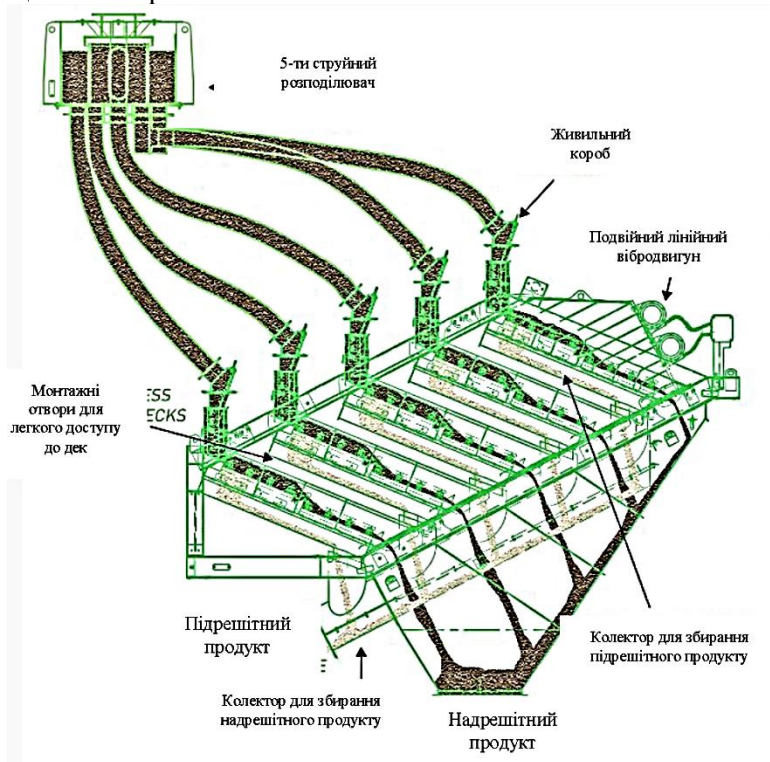


Рис.3. Блок-схема Stack Sizer [5]

Порівняно зі Stack Sizer, розмір просіювання наразі все ще обмежений ситами з розміром отворів 0,075 мм. Машина Derrick має найменший розмір отворів - 400 меш (0,038 мм)». [5].

Наразі сьогодні найвідомішими виробниками грохотів для тонкого грохочення є Derrick Corporation (США). Нещодавно компанія розробила 8-дечний грохот, що прийшов на заміну 5-дечному грохоту Stack Sizer.

Технологія SuperStack від Derrick дає змогу використовувати до восьми дек, кожна з яких оснащена запатентованими поліуретановими панелями Derrick. Поєднання цих двох технологій дає змогу машинам замінити гідроциклони в контурах подрібнення, виконуючи, по суті, роль

класифікуючого обладнання, що вони роблять набагато ефективніше й економічніше. У результаті підприємство може виробляти більше продукції, використовуючи ту саму або менше енергії [8].

Сьогодні на збагачувальних фабриках далекого і ближнього зарубіжжя встановлюються грохоти провідних фірм: "Деррік" (США), "ННІ" (Китай), Компанія "Knelson", Компанія "Crush Technologies Ltd", корпорація Metso [9].

Постановка задачі. Для обґрунтування необхідності встановлення додаткової стадії класифікації у грохотах або заміни гідроциклонів у циклах подрібнення необхідно провести детальний аналіз цієї практики. Тому метою цього дослідження є аналіз та синтез результатів використання технології тонкого грохочення в існуючій практиці світового виробництва залізрудного концентрату.

Викладення матеріалу та результати. Застосування технології тонкого грохочення може суттєво покращити якість концентратів та вирішити проблеми, пов'язані з нерівномірним розподілом розмірів частинок у сировині.

Грохочення в основному використовується в гірничодобувній промисловості в системах первинного і вторинного дроблення, крупного просіювання (скальпування) в процесі попереднього купчастого вилуговування, тонкого просіювання і дрібнозернистої елютріації (пневмокласифікації) на різних стадіях процесу збагачення, наприклад, в контурах подрібнення і просіювання (відкритих і закритих), а також на грохотах в DMS-схемах (DMS = Розділення в щільному середовищі). З огляду на те, що вміст заліза в руді в усьому світі знижується, ще однією зростаючою сферою застосування є промивання руди на збагачувальних фабриках. У цій галузі різноманітні вимоги від дуже тонкого до дуже крупного просіювання можна задовольнити лише за допомогою різних систем просіювання. У багатьох випадках різні просіювальні машини комбінуються для більш ефективного задоволення зростаючих вимог [5].

Перші спроби використання в Україні в 1972-1973 роках на Полтавському ГЗК. [9]. Використовуючи тонке грохочення на стадії доведення концентрату, підвищували вміст заліза в товарному продукті на 1,5 %. Надрешітний продукт, в якому концентрується найбільш важко збагачувана частина руди, слід допрацьовувати в окремому циклі. Таке доопрацювання вимагає його доподрібнення з подальшим збагаченням на магнітному сепараторі з великою селективністю поділу [1].

Однак більш поширене його використання у залізрудній галузі сталося в останні 20 років. Що стосується вітчизняних виробників залізрудних концентратів, то були проведені дослідження та випробування на АрселорМіттал Кривий Ріг, Північному, Південному, Центальному та Полтавському ГЗК. На Центральному ГЗК тонке грохочення набуло промислового використання.

На АрселорМіттал Кривий Ріг були виконані дослідження тонкого грохочення магнітних продуктів 2 та 3 стадій мокрої магнітної сепарації.

Як зазначається у статті [2] «у продукті другої стадії містилося 59,2% заліза загального. Після грохочення по класу -0,05 мм при ефективності 80% вміст заліза в підрешітному продукті становив 65,2%. При подальшому збагаченні підрешітного продукту на лабораторному магнітному сепараторі 236-СЕ та знешамлюванню на конусі діаметром 600 мм досягнуто вміст заліза в концентраті в перерахунку на промислові показники 67,5%. Вихід надрешітного продукту виявився досить значним і становив 46,5%.

У пробі продукту третьої стадії магнітної сепарації вміст заліза загального становив 64,5%. Класи крупністю мінус 0,05 мм - плюс 0,01 мм і мінус 0,01 мм містять залізо загальне від 67,1% до 69,6%, у середньому – 67,5%. Вихід цих класів дорівнює 85,8%. У класах крупності (0,25 - 0,05 мм) вміст заліза загального знаходиться в межах від 23,0% до 52,6%.

Видалення бідних класів крупності з ефективністю 80% дозволяє виділити багату частину продукту з вмістом заліза від 67,0 до 67,5%. Магнітна сепарація підрешітного продукту підвищує вміст заліза у перерахунку на промислові показники до 68,0-68,2%. При цьому вміст кремнезему становитиме 3,7-3,75%.

Наступним етапом було проведення напівпромислових випробувань.

На напівпромисловій установці при продуктивності 67,3 кг/год (млин МШЦ 400x800 об'ємом 0,08м) була випробувана схема, що відтворює третю стадію подрібнення з класифікацією та магнітною сепарацією секції № 10. Магнітний продукт розмагнічувався і подавався на висо-

кочастотний лабораторний грохот ГНВС -0.5x1,5, що має частоту обертання валу $24,33 \text{ с}^{-1}$, амплітуду коливань до 2 мм і поверхню, що грохоче, з отвором 0,07 мм. Підрешітний продукт надходив на магнітну сепарацію в два прийоми, а надрешітний - повертався до млина на доподрібнення.

Застосування тонкого грохочення дозволило одержати кінцеву крупність подрібнення 98% класу -0,05 мм. Досягнута ефективність грохочення становила 90%.

При досягнутій крупності подрібнення 98% класу -0,05 мм отримано вміст заліза в концентраті 69,6%, що у перерахунку на промислові умови становило 68,2%. Отримані показники напівпромислових випробувань дозволили рекомендувати тонке грохочення для промислового впровадження». [2].

У період 2015-2016 років на ПівдГЗК були проведені промислові випробування тонкого грохочення в замкнутих циклах 2 та 3 стадії подрібнення. Як зазначено у статті [10], «у ході проведення випробувань на Південному ГЗК на пробі руди з масовою часткою заліза 35,4% було досліджено: базову 3-х стадіальну технологічну схему із застосуванням гідроциклонів; 2-х і 3-х стадіальні технологічні схеми із застосуванням грохотів Derrick. У ході випробувань із застосуванням технології тонкого грохочення Derrick було отримано концентрат із масовою часткою $\text{Fe}_{\text{заг}}$ більше 67% як за 3-х стадіальною, так і за 2-х стадіальною схемами, у той час як за базовою технологічною схемою відбувалося перевантаження технологічного процесу. При відпрацюванні 3-х стадіальної схеми з грохотами Derrick найкращі показники були досягнуті при роботі млинів II та III стадії в замкнутому циклі із застосуванням поверхонь, що просівають, у II стадії 0,075 мм, у III стадії 0,053 мм. Рекомендована 3-х стадіальна схема дозволяє отримати концентрат з масовою часткою заліза 67,1% при виході концентрату 41,6%. Продуктивність по вихідній сировині 3-х стадіальної схеми з грохотами на 10-20% вище порівняно з базовою схемою. Рекомендовано 10 п'ятидечних грохотів Stack Sizer (4 грохоти для другої стадії та 6 грохотів для третьої стадії подрібнення)».

За результатами додаткових промислових випробувань з класифікації розвантаження млинів 2 та 3 стадій подрібнення на грохотах тонкого грохочення в умовах секції №8 РЗФ-1 встановлено, що ефективність грохочення для 2 стадії подрібнення - 83,07% для поверхонь, що просівають з розміром отвору 0,075 мм та для 3 стадії подрібнення - 92,42% для поверхонь, що просівають з розміром отвору 0,063 мм.

В умовах ПівдГЗК були проведені випробування тонкого грохочення. Як зазначається у статті [11] було випробувано 5 технологічних схем з використанням тонкого грохочення.

«У трьох схемах тонке грохочення використовувалось після I стадії магнітної сепарації з використанням поверхонь, що просівають з розміром отвору 0,1 мм та 0,063 мм. Було відмічено, що підрешітний продукт приблизно на 10% багатший за надрешітний. Це пов'язано з наявністю у підрешітному продукті зростків до 45%. За всіма схемами був отриманий концентрат з вмістом заліза більше 67,0%.

В четвертій та п'ятій схемах використовується тонке грохочення магнітного продукту II стадії магнітного збагачення. Але в четвертому варіанті передбачене додаткове доподрібнення надрешітного продукту з подальшим його збагаченням в окремій технологічній гілці. А в обраному для впровадження, п'ятому варіанті, надрешітний продукт тонкого грохочення подрібнюється у III стадії подрібнення, далі класифікується у гідроциклонах. Піски гідроциклону повертаються на подрібнення у III стадію подрібнення. Злив гідроциклону повертається у II стадію магнітного збагачення».

В 2019 роках на базі Полтавського ГЗК були виконані лабораторно-аналітичних дослідження [12], «метою яких була визначити найбільш оптимальне місце використання тонкого грохочення в діючій технологічній схемі діючого виробництва. Згідно цих досліджень:

на ділянці ОВД – 2 найбільш раціональним місцем використання є тонке грохочення концентрату МГС – IV стадії. Можливо, припустити, що впровадження грохоту дозволить підняти якість одержуваного концентрату первинної схеми збагачення - на 3,22% загального заліза, знизити вміст SiO_2 - на 3,74%;

на ділянці ОВД – 4 найбільш раціональним місцем використання є тонке грохочення концентрату ММС III стадії. Можна припустити, що використання грохоту дозволить виділити готовий концентрат із первинної схеми збагачення якістю заліза загального – 68,3%, виходом – 88,80%;

на ділянці ФЛОТАЦІЯ №1 найбільш раціональним місцем використання є тонке грохочення вихідної сировини ділянки подрібнення, живлення вертикальних млинів, проміжного продукту ММС флотації. Це може дозволити виділити готовий концентрат до основної операції флотації, якістю не менше – 68,0% заліза загального. Використання тонкого грохочення концентрату флотації дозволить підняти якість продукції операції флотації на – 1,70% заліза загального, знизити вміст SiO₂ на - 2,0%;

на ділянці ФЛОТАЦІЯ №2 найбільш раціональним місцем використання є тонке грохочення пісків гідроциклонів Ø250 мм з подальшим виділенням готового концентрату до основної операції флотації. Впровадження тонкого грохочення концентрату флотації дозволить підняти якість продукції на - 1.20% заліза загального, знизити вміст SiO₂ на - 1,02%.

За підсумками лабораторно-аналітичних досліджень, рекомендовано провести напівпромислові безперервні випробування на однодечному грохоті 2SG48-60W-1STK, щоб уникнути технологічної похибки його застосування».

Самим успішним впровадженням тонкого грохочення є використання 12 грохотів виробництва Derrick Corporation для очищення високосортного концентрату від пустої породи та доведення його якості до потреб виробництва DRI-окатишів відбулося на Центральному ГЗК. Як повідомляється у статті: Metinvest Media «Найбільш знаковим досягненням 2020 року для комбінату стало завершення проекту модернізації обладнання переробного комплексу. Кілька років проектних і будівельно-монтажних робіт, встановлення сучасного обладнання - і ЦГЗК отримав першу в Україні технологічну лінію з виробництва концентрату із вмістом заліза 70,5%. Він стає сировиною для високоякісного окатишу, який можна використовувати, зокрема, і для бездоменного виробництва сталі за технологією прямого відновлення заліза (DRI)». [13].

Висновки і напрямки подальших досліджень. Проведений аналіз стану використання технології та обладнання для тонкого грохочення дає змогу вважати це сучасним та перспективним методом, завдяки якому можливо вирішити питання підвищення якості продукції та зниження її собівартості.

Перевагами технології тонкого грохочення є:

висока точність сортування: Технологія тонкого грохочення дозволяє розділяти частинки з високою точністю, що значно підвищує якість кінцевих продуктів;

поліпшена ефективність: Завдяки більш точному сортуванню ефективність збагачення підвищується, що веде до збільшення вилучення цінного компонента у високосортні концентрати;

мінімізація втрат цінних компонентів: Технологія дозволяє ефективно вилучати цінні компоненти з сировини, мінімізуючи втрати;

зниження витрат: Підвищена ефективність та точність сортування скорочують потребу у наступних етапах обробки та переробки, що може знизити витрати на виробництво;

адаптивність: Технологія тонкого грохочення може бути налаштована під конкретні вимоги сортування та характеристики сировини.

Недоліками можна вважати необхідність додаткового доопрацювання надрешітного продукту в окремому циклі для отримання «монопродукту» з більш вищим вмістом цінного компонента та більшу площу займання у порівнянні з гідроциклонами.

Згідно з результатами проведеного аналізу сучасного стану використання у світі та в Україні, можна зробити висновок, що у порівнянні з гідроциклонами, тонке грохочення має більш високу ефективність розділення, та досягає 70-80%, а в деяких випадках і більш 90%. Це залежить від розміру поверхонь, що просіюють та місця застосування тонкого грохочення. Така висока ефективність дозволяє виділити у підрешітний продукт матеріал з вмістом заліза загального 68-70,5% у промисловому використанні. При цьому масова частка кремнезему знижується до рівня 3-5%.

Тому застосування тонкого грохочення суттєво поліпшує металургійну цінність залізрудних концентратів.

Для подальшого та більш детального вивчення умов та параметрів тонкого грохочення потрібно:

розглянути його використання в циклах подрібнення II, III стадій та використання на кінцевих продуктах переробки магнетитових кварцитів; з визначенням оптимальних параметрів грохочення;

сформувати залежності ефективності розділення від втрат води, амплітуди, навантаження на грохот та інше.

Список літератури

1. Губін Г.В., Хованець В.А., Лотоус, В.В., Равінска В.О. Шляхи подальшого підвищення якості залізрудних концентратів на ПрАТ «Полтавський ГЗК» у сучасних умовах, Вісник ЖДТУ. 2018. № 1 (81), с.1.
2. Ширяєв А. А. Застосування тонкого грохочення для підвищення якості залізрудного концентрату на збагачувальній фабриці гірничозбагачувального комплексу «АрселорМіттал Кривий Ріг»
3. Олійник Т.А., Перспективи розвитку технологій збагачення залізних руд. Збагачення корисних копалин, 2018.-Вип. 69(110),-с.34.
4. Олійник Т.А., Сучасні тенденції розвитку технологій збагачення гематитових руд в Україні, Збагачення корисних копалин, 2014. – Вип. 56(97).
5. [Advances in screening technology in the mining sector](#)
6. [Maurice C. Fuerstenau and Kenneth N. Han, Principles of Mineral Processing, Copyright © 2003 Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc](#)
7. <https://derrick.com/about-us/>
8. Carly Leonida. [Screens Offer New Era in Process Efficiency](#)
9. Олійник Т.А., Скляр Л.В., Олійник М.О., Кушнірук Н.В., Скляр А. Ю. Коржан І.А. Використання тонкого грохочення в умовах ПРАТ Північного ГЗК. Збагачення корисних копалин, 2018-вип. 69-с.69.
10. Губін Г.В., Скляр Л.В., Ярош Т.П., Губін Г.Г., Аналітичний огляд шляхів покращення якості магнетитових кварцитів. Збагачення корисних копалин, 2016. – Вип. 64(105).
11. Булах О. В., Хміль І. В., Костючик О. В. Виробництво залізрудного концентрату в умовах ПАТ «Північний ГЗК з впровадженням у технологію збагачення операції тонкого грохочення. Гірничий вісник, 2014-Вип. 97.
12. Звіт з проведення лабораторно-аналітичних досліджень проб продуктів збагачення секції ОВД – 2 ДЗФ, ОВД – 4 ДЗФ, Флотація № 1, 2, 3 у компанії ТОВ «Ферострой» з метою визначення можливості та технологічної доцільності застосування гуркотів тонкого гуркотіння Stack Sizer™ компанії Derrick Corporation. Договір № 2735 від 13.11.18р
13. Metinvest Media ЦГЗК відмічає день народження. <https://metinvest.media/ru/page/den-rozhdeniya-cgok->

УДК 331.45:613.6:159.9:65

О.В. ПИЩИКОВА, канд. техн. наук, доц, А.І. НАСТИЧ, аспірантка
Криворізький національний університет

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІ ЩОДО СТВОРЕННЯ ОПИТУВАЛЬНИКА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТРЕСОТІЙКОСТІ ПРАЦІВНИКІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ НА РОБОТАХ ЗІ ШКІДЛИВИМИ УМОВАМИ ПРАЦІ

У цій статті розглядається проблема стресостійкості працівників на промислових підприємствах, які виконують роботи в умовах, що можуть впливати на їхнє фізичне і психічне здоров'я. Проводиться комплексний аналіз різних сучасних методик оцінки стресостійкості. Крім того, стаття надає рекомендації щодо створення опитувальника для визначення стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці.

Мета цієї статті, вирішення питання щодо стресостійкості працівників на промислових підприємствах, які працюють у шкідливих умовах, надання рекомендацій для їх оцінки та підвищення стресостійкості.

Методи дослідження. Стаття використовує комплексний аналіз сучасних методик визначення рівня стресостійкості працівників та досліджує розробку рекомендацій щодо створення опитувальника для визначення стресостійкості працівників підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці.

Наукова новизна. Стаття вносить вклад в галузь адаптувати опитувальники для визначення стресостійкості під національні вимоги, контекст та потреби підприємств, враховуючи критерії, які не були раніше використані.

Практичне значення. Західні методики оцінки стресостійкості працівників на промислових підприємствах, де виконуються роботи в шкідливих умовах праці, мають численні переваги, такі як визнана валідність і надійність, врахування специфічних факторів стресу, пов'язаних із роботою в таких умовах, та можливість адаптації для працівників промислових підприємств. Проте вони можуть не охоплювати всі аспекти стресостійкості. Тому впровадження різних методів оцінки стресостійкості на основі формул ORS-HWE для підприємств в Україні дозволить отримувати більш точну оцінку стресостійкості.

Результати. Запропонований підхід до розробки опитувальника для визначення стресостійкості працівників національних промислових підприємств ляже в основу удосконалення методики розрахунку стресостійкості та продовжить дослідження, щодо розробки рекомендацій визначення рівня стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці.

Ключові слова: стресостійкість працівників, шкідливі умови праці, оцінка стресу, психологічні тести, фізіологічні вимірювання, безпека праці, робоче середовище, здоров'я працівників.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-88-94

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В сучасному світі індустріального виробництва та розвитку технологій, працівники промислових підприємств нерідко стикаються з важкими умовами праці, що можуть впливати на їхнє фізичне та психічне здоров'я. Незалежно від галузі, шкідливі умови праці можуть включати в себе екстремальні температури, хімічні речовини, шум, вібрацію, а також великі фізичні навантаження та стреси на робочому місці. У таких умовах збереження здоров'я працівників, забезпечення безпеки на робочих місцях, а також гарантування високого рівня працездатності стає завданням вирішальної важливості для підприємств.

Один із способів підвищення безпеки праці на підприємствах – це визначення рівня стресостійкості працівників і розробка заходів для його підвищення. Стресостійкість в цьому контексті означає здатність працівника витримувати та адаптуватися до стресових ситуацій, пов'язаних з умовами праці.

В даному разі однією з ключових складових успішної роботи в умовах стресу та негативно-го впливу на здоров'я є рівень стресостійкості працівників. Стресостійкість – це здатність працівника адаптуватися до стресових ситуацій, реагувати на них та ефективно працювати в умовах підвищеного напруження. Розуміння та оцінка рівня стресостійкості стає ключовим завданням для забезпечення безпеки, здоров'я та продуктивності працівників.

У даній статті ми пропонуємо докладний аналіз різних сучасних методик визначення рівня стресостійкості працівників, включаючи етап анкетування, психологічного тестування, фізіологічних вимірювань та спостережень за поведінкою працівників. Також в статті будуть розглянуті переваги та недоліки кожного методу та надано рекомендації щодо розробки системи оцінки стресостійкості працівників та підвищення їхньої здатності працювати в умовах виробничого стресу.

Аналіз досліджень і публікацій. Аналіз літературних джерел щодо тематики стресостійкості працівників на промислових підприємствах умовно можна поділити на наступні аспекти: недоліки та проблеми, які виникають у цій галузі, та можливі рішення для їх подолання.

У раніше виконаних дослідженнях розглядається взаємозв'язок між стресом та безпекою на робочому місці [1]. Автори обговорюють вплив стресу на фізичне і психічне здоров'я працівників та наводять приклади програм і стратегій для зменшення стресу на робочих місцях. В роботі [2] досліджується поняття професійного стресу, його причини та наслідки. Автори надають огляд різних стратегій управління стресом на робочому місці та висвітлюють ефективні методи.

В роботі [3] акцентується увага на потребі досліджень зв'язку між стресом та безпекою на робочому місці і розглядаються стратегії для підвищення стресостійкості працівників.

Аналізуючи наукові труди [1-15] встановлено, цілий ряд недоліків. Насамперед, відсутність єдиної методики для оцінки стресостійкості працівників, особливо в сучасному робочому середовищі. Це робить складним порівняння результатів між різними дослідженнями [1, 3, 6, 12, 14]. З даного приводу автори робіт [6, 14] пропонують розробку єдиної методики. Зокрема в роботі [14] вказано, що необхідно активно працювати над розробкою та впровадженням єдиної методики для визначення стресостійкості, що була б придатною для різних галузей та типів робіт.

Також проаналізувавши наукові роботи нами було виявлено недостатність висвітлення питання стандартизації визначення стресу та стресостійкості працівників на роботах зі шкідливими умовами праці. У багатьох дослідженнях не враховується стандартизація у визначенні стресу та стресостійкості, що може призводити до суб'єктивності та непорівнюваності результатів [3,4, 7, 8, 10]. З даного приводу в роботах [3,7, 8] пропонується зосередитися на розробці стандартів та нормативів для визначення стресостійкості шляхом забезпечення стандартного підходу у дослідженнях та впровадженні програм управління стресом.

Відповідно запровадження програм з підвищення стресостійкості. Підприємства повинні активно впроваджувати програми та навчальні заходи з підвищення стресостійкості працівників, зокрема, опитувальники, тренування та консультації з психологами.

Необхідність подальших досліджень. Сфера впливу стресу на безпеку та продуктивність на робочому місці все ще потребує додаткових досліджень та доказів, щоб розкрити всі аспекти цієї проблеми і розробити ефективні стратегії управління стресом [2, 9, 11, 13, 15].

В роботах [10-13] зазначається проблема відсутності єдиної методики визначення стресостійкості. Згідно з поглядами авторів роботи [11] один з основних недоліків полягає в тому, що немає універсальної методики визначення стресостійкості, яка б була застосовна до всіх сфер і галузей промисловості.

Також у фаховій літературі [1-15] можна знайти різні методи оцінки стресостійкості, включаючи психологічні, фізіологічні та поведінкові методи. Це ускладнює порівняння результатів та вибір найбільш фахового підходу. В роботах [2, 4, 7] відмічається, що у багатьох країнах відсутні нормативні вимоги, що регулюють визначення та підтримку стресостійкості на робочих місцях.

Зважаючи на виявлені проблеми [1-15], потрібно розробити уніфікований опитувальник оцінки стресостійкості працівників різних галузей, які задіяні на роботах зі шкідливих умов праці.

Для створення єдиної методики оцінки стресостійкості було бажано сприяти науковим дослідженням впливу стресу на працівників та розробки стандартів, які регламентують визначення стресостійкості для працівників, що працюють в різних галузях.

Важливо врахувати усі переваги та недоліки існуючих методів оцінки стресостійкості та інтегрувати в систему управління охороною праці для запобігання випадків травматизму, для підвищення продуктивності праці. Для забезпечення сталого підходу до оцінки стресостійкості необхідно розробити і впровадити відповідні стандарти та нормативи. Це допоможе підвищити рівень безпеки та здоров'я працівників на промислових підприємствах.

Навчання та підготовка працівників забезпечить необхідними навичками та стресостійкістю. Досягнути це можливо за допомогою навчальних програм та тренувань, спрямованих на підвищення стресостійкості.

Усі ці рішення вимагають співпраці між науковцями, фахівцями з безпеки праці, психологами для досягнення більш високого рівня стресостійкості та безпеки на робочих місцях.

Постановка задачі. Потрібно розробити опитувальник для методики оцінки стресостійкості працівників, використовуючи сучасні підходи визначення рівня стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці.

В табл.1. наведено результати аналізу сучасних методик визначення рівня стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці.

Таблиця 1

Результати аналізу сучасних методик визначення рівня стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці

Методика	Автор	Опис	Переваги	Недоліки
The Occupational Resilience Scale (ORS)	Krishnan, A., Eissa, M. A.	Оцінює чотири компоненти стресостійкості: прийняття змін, адаптація до стресу, управління емоціями та позитивне ставлення до життя	Доведена валидність та надійність	Враховує специфічні фактори стресу, пов'язані з роботою
The Resilience-based Occupational Stress Inventory (R-OSI)	Alonso-Almeida, M., Cava, M. J.	Оцінює три компоненти стресостійкості: саморегуляція, прийняття змін та позитивне ставлення до життя	Доведена валидність та надійність	Враховує специфічні фактори стресу, пов'язані з роботою
The Occupational Resilience Scale for Workers in Hazardous Environments (ORS-HWE)	Bakker, A. B., Demerouti, E.	Оцінює три компоненти стресостійкості: адаптація до змін, управління емоціями та позитивне ставлення до життя	Доведена валидність та надійність	Враховує специфічні фактори стресу, пов'язані з роботою в шкідливих умовах

Усі три методики, які представлені в табл. 1, мають ряд спільних рис. Вони всі є самооцінювальними опитувальниками, які дозволяють визначити стресостійкість за допомогою кількох компонентів.

Спільні риси: тип (самооцінювальні опитувальники); компоненти стресостійкості (прийняття змін, адаптація до стресу, управління емоціями, позитивне ставлення до життя); цільова аудиторія (працівники промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці).

Відмінності методик в кількості компонентів стресостійкості: ORS оцінює чотири компоненти, R-OSI та ORS-HWE – три; кількість питань: ORS – 20 питань, R-OSI – 25 питань, ORS-HWE – 20 питань; валидність та надійність: всі методики мають доведену валидність та надійність.

В табл.1. методики оцінюють стресостійкість за допомогою кількох компонентів, які є важливими для працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці, вони є самооцінювальними опитувальниками, що робить їх доступними для широкого використання та мають доведену валидність та надійність, що означає, що вони є точними та надійними інструментами для оцінки стресостійкості.

Для умов України вважаємо найбільш доцільно застосовувати опитувальники на базі методики «ORS-HWE» яка передбачає створення самооцінювального опитувальника, який складається з 20 питань, що оцінюють три компоненти стресостійкості: адаптація до змін (здатність працівників пристосовуватися до нових або непередбачених ситуацій, пов'язаних з роботою в шкідливих умовах), управління емоціями (здатність працівників регулювати свої емоції та не давати їм керувати собою в умовах стресу), позитивне ставлення до життя (здатність працівників знаходити позитивні сторони в житті навіть у важких ситуаціях).

Кожне питання опитувальника має 5-бальну шкалу відповідей, від 1 (дуже не вірно) до 5 (дуже вірно).

Результати опитувальника методики ORS-HWE оцінюються за допомогою формул (1-3). Отриманий результат відображає рівень стресостійкості працівника.

ORS-HWE можна використовувати для оцінки стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці. Методика може бути використана для індивідуальної оцінки стресостійкості працівника або для оцінки стресостійкості колективу працівників.

Для оцінки стресостійкості колективу працівників необхідно провести опитування всіх працівників, які працюють на роботах зі шкідливими умовами праці.

Для отримання більш точних результатів оцінки стресостійкості за допомогою методики ORS-HWE необхідно дотримуватися таких рекомендацій: опитування слід проводити в зручному місці та часі, працівникам слід пояснити мету опитування та запевнити їх у конфіденційності їхніх відповідей, відповіді на питання опитувальника слід оцінювати відповідно до інструкції.

В табл.2 наведено результати проведеного нами аналізу можливостей адаптування сучасних методик визначення рівня стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці під умови контексту українських промислових підприємств.

Таблиця 2

Результати авторського аналізу можливостей адаптування сучасних методик на базі ORS-HWE для визначення рівня стресостійкості працівників промислових підприємств

Фактор	Підходи до оцінки	Опис
Тип методики	Самооцінювальні опитувальники	Цей тип методик є найбільш поширеним для оцінки стресостійкості, оскільки вони є доступними та простими у використанні
Компоненти стресостійкості	Адаптація до змін, управління емоціями, позитивне ставлення до життя	Ці компоненти є важливими для працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці, оскільки вони дозволяють працівникам справлятися зі стресом, пов'язаним з роботою в таких умовах
Кількість компонентів стресостійкості	2-4	Більша кількість компонентів може забезпечити повнішу оцінку стресостійкості, але може також зробити методику складнішою у використанні
Кількість питань	15-30	Більша кількість питань може забезпечити детальну оцінку стресостійкості, але може також зробити методику тривалішою у заповненні
Валидність та надійність	Доведена	Методики з доведеною валидністю та надійністю є точними та надійними інструментами для оцінки стресостійкості
Цільова аудиторія	Працівники промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці	Методики, адаптовані для цієї аудиторії, є більш точними та надійними інструментами для оцінки стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці
Можливості застосування на підприємствах України	Бальна оцінка можливості комбінованого впровадження подібних методик 4 із 5	Методики, розроблені або адаптовані для України, є більш доступними та зрозумілими для українських працівників

У сучасних методиках на базі ORS-HWE щодо визначення рівня стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці зазвичай застосовують різні формули для розрахунку результатів. Для адаптації доцільно використовувати такі формули [1-15]: середнє значення (для кожного компонента стресостійкості обчислюється середнє значення відповідей на запитання, які його оцінюють) [1, 4, 5]; варіаційний ряд (для кожного компонента стресостійкості обчислюється розмах значень відповідей на запитання, які його оцінюють) [6, 9, 13]; індекс стресостійкості (для кожного компонента стресостійкості обчислюється індекс, який показує, наскільки людина відповідає критеріям стресостійкості) [2, 8, 14].

Формули розрахунку середнього значення

$$x_{\text{сер}} = (x_1 + x_2 + \dots + x_n)/n, \quad (1)$$

де $x_1, x_2, \dots, x_n$ – значення відповідей на запитання, які оцінюють компонент стресостійкості; n – кількість відповідей на запитання.

Формули розрахунку варіаційного розмаху

$$V = \max(x) - \min(x), \quad (2)$$

де $\max(x)$ – максимальне значення відповідей на запитання; $\min(x)$ – мінімальне значення відповідей на запитання, %.

Формули розрахунку індексу стресостійкості

$$RI = (x_{\text{сер}} - x_{\text{min}})/(x_{\text{max}} - x_{\text{min}}), \quad (3)$$

де $x_{\text{сер}}$ – середнє значення відповідей на запитання, яке оцінює компонент стресостійкості; x_{min} – мінімальне значення відповіді на запитання, яке оцінює компонент стресостійкості; x_{max} – максимальне значення відповіді на запитання, яке оцінює компонент стресостійкості.

Відповідно [3] при виборі методики оцінки стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці слід враховувати такі фактори: ціль оцінки (акцентуються потреби для чого буде використовуватися результат оцінки); вік і стать досліджуваних (деякі методики призначені для певної вікової групи або статі); час проведення оцінки (деякі методики є тривалими і вимагають багато часу для проведення); ліцензування (деякі методики є ліцензованими і вимагають спеціальної підготовки для використання).

Західні методики оцінки стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці є ефективними інструментами для оцінки рівня стресостійкості працівників. Вони мають ряд переваг, таких як доведена валидність та надійність, врахування специфічних факторів стресу, пов'язаних з роботою в шкідливих умовах, та адаптація для працівників промислових підприємств. Також методи можливо вдосконалювати використовуючи додаткові компоненти стресостійкості, такі як фізіологічна стресостійкість (здатність організму протистояти фізичним впливам стресу); психологічна стресостійкість (здатність людини справлятися з психологічними наслідками стресу); соціальна стресостійкість: (здатність людини отримувати підтримку від інших людей під час стресу).

Для застосування світових методик оцінки стресостійкості до умов українських підприємств необхідно провести їх адаптацію до контексту умов конкретних підприємств. Це може включати такі заходи: переклад методики на українську мову, адаптація питань методики до українських реалій, тестування методики на українській аудиторії.

Після проведення адаптації світові методики оцінки стресостійкості можуть бути використані для оцінки стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці в Україні.

Викладення матеріалу та результати. На даний момент часу запропоновані в статті опитувальників не адаптовані до реальних умов українських підприємств, тому необхідно розробити адаптовані питання, що дасть можливість керувати стресостійкістю працівників, які зайняті на роботах зі шкідливими умовами праці.

Відповідно [5, 9] методики оцінки стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці повинні враховувати такі фактори: вік і стать працівників (працівники різних вікових груп і статей можуть мати різні рівні стресостійкості); професійна діяльність (працівники різних професій можуть бути піддані різним видам стресу); умови праці (шкідливі умови праці можуть підвищувати рівень стресу працівників).

На основі цих факторів можна розробити методику оцінки стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці, яка буде включати такі

компоненти: адаптація до змін (здатність працівників пристосовуватися до змін у робочому середовищі, викликаних шкідливими умовами праці); управління емоціями (здатність працівників регулювати свої емоції та не давати їм керувати собою в умовах стресу); здатність долати труднощі (здатність працівників справлятися з труднощами та перешкодами, пов'язаними зі шкідливими умовами праці); соціальна підтримка (здатність працівників отримувати підтримку від інших людей під час стресу).

Така методика може бути представлена у вигляді опитувальника, який складається з питань, що оцінюють ці компоненти стресостійкості табл.3.

Таблиця 3

Приклади питань, які можна включити в опитувальник

Питання
Чи легко Ви адаптуєтесь до змін у робочому середовищі, викликаних шкідливими умовами праці
Чи можете справлятися з труднощами та перешкодами, пов'язаними зі шкідливими умовами праці
Ви вмієте контролювати свої емоції, навіть коли працюєте в шкідливих умовах
Ви отримуєте підтримку від інших людей під час стресу, пов'язаного зі шкідливими умовами праці
Ви часто відчуваєте фізичний дискомфорт внаслідок сильного стресу
Ви здатна (ий) адаптуватися до фізичних стресів, таких як недостатній сон чи неправильне харчування

Результати опитування працівників дозволяють оцінити стресостійкість працівників та розробити заходи, які дозволять підвищити стресостійкість на роботах зі шкідливими умовами праці.

Такі заходи можуть включати програми навчання стрес-менеджменту (навчання працівників методам управління стресом), програми підтримки працівників (надання працівникам можливості отримувати підтримку від інших людей під час стресу), зміни в робочому середовищі (впровадження заходів, які знизять рівень стресу в робочому середовищі).

Розробка та впровадження методик оцінки стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці є важливим завданням, яке може сприяти підвищенню безпеки та здоров'я працівників.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Методики на базі ORS-HWE є ефективними інструментами для оцінки стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці. Вони мають ряд переваг, таких як доведена валідність та надійність, врахування специфічних факторів стресу, пов'язаних з роботою в шкідливих умовах та адаптації працівників промислових підприємств. Також ці методи можливо вдосконалювати використовуючи додаткові компоненти стресостійкості, такі як фізіологічна стресостійкість, психологічна стресостійкість, соціальна стресостійкість та ін.

Запропонований підхід до розробки опитувальника для визначення стресостійкості працівників національних промислових підприємств ляже в основу удосконалення методики розрахунку стресостійкості та продовжить дослідження, щодо розробки рекомендацій визначення рівня стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці.

Список літератури

1. Сна А., Кальниш В., Маслюк В. Набір методик для психофізіологічної експертизи працівників, які залучаються до виконання робіт підвищеної небезпеки та тих, що потребують професійного добору. Київ, 2013.: Інфопринт. DOI: <https://doi.org/10.36074/mcnd-19.02.2021.medicine.03>.
2. Кальниш В. Шляхи удосконалення професійного психофізіологічного добору та моніторингу професійно важливих якостей спеціалістів, які працюють в умовах з підвищеною небезпекою. Київ, 2005, <https://doi.org/10.33573/ujoh2015.04.014>
3. Demir, S. The role of self-efficacy in job satisfaction, organizational commitment, motivation and job involvement. Eurasian Journal of Educational Research, 2020, 205-224.
4. Stefurak, T., Morgan, R., & Johnson, R. B. The Relationship of Public Service Motivation to Job Satisfaction and Job Performance of Emergency Medical Services Professionals. Public Personnel Management, 2020, 49(4), 590-616.
5. Pancasila, I., Haryono, S., & Sulisty, B. A. Effects of work motivation and leadership toward work satisfaction and employee performance: Evidence from Indonesia. The Journal of Asian Finance, Economics, and Business, 2020, 7(6), 387-397.
6. Anwar, K. Factors affecting stock exchange investment in kurdistan. The International Journal of Accounting and Business Society, 2017, 25(1), 32-37.
7. Pananrangi, M., Lewangka, O., & Sudirman, I. The Influence of Motivation and Job Satisfaction on Employee Performance in PT. Son Karella Mare. Hasanuddin Journal of Applied Business and Entrepreneurship, 2020, 3(2), 20-32

8. Ali, B. J. Assessing (The impact) of advertisement on customer decision making: Evidence from an educational institution, 2021, 6(01), 267-280.
9. Andavar, V., & Ali, B. Rainwater for Water Scarcity Management: An Experience of Woldia University (Ethiopia). ANDAVAR, V., ALI, B.J., & ALI, S.A. (2020). Rainwater for Water Scarcity Management: An Experience of Woldia University (Ethiopia). The Journal of Business Economics and Environmental Studies, 2020,10(4), 29-34
10. Dorta-Afonso, D., González-de-la-Rosa, M., GarcíaRodríguez, F. J., & Romero-Domínguez, L. Effects of High-Performance Work Systems (HPWS) on Hospitality Employees' Outcomes Through Their Organizational Commitment, Motivation, and Job Satisfaction. Sustainability, 2021, 13(6), 3226.
11. Mahaffey BL, Mackin DM, Rosen J, Schwartz RM, Taioli E, Gonzalez A. The disaster worker resiliency training program: a randomized clinical trial. Int Arch Occup Environ Health 2020, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s00420-020-01552-3>
12. Lebares CC, Guvva EV, Ascher NL, O'Sullivan PS, Harris HW, Epel ES. Burnout and Stress Among US Surgery Residents: Psychological Distress and Resilience. J Am Coll Surg, 2018, 226(1): 80–90.
13. Syamsir, S. Competence, Job Satisfaction, Work Motivation, and Job Performance of The Village ("Nagari") Masters in Managing E-Village Finance. International Journal of Advanced Science and Technology, 2020, 29(8), 1337- 1350.
14. Smith, K., Davis, M., Malone, C. F., & Owens-Jackson, L. A. (2020). Faculty That Look Like Me: An Examination of HBCU Accounting Faculty Motivation and Job Satisfaction. Available at SSRN 3744399, 2020.
15. Febrianti, N. T., & SE, S. The Effect of Career Development and Motivation on Employee Performance Through Job Satisfaction in Pt Jabar Jaya Perkasa. International Journal of Business and Social Science Research, 2020, 1(2), 1-12

УДК: 528.4:332.6

К. А. МАМОНОВ, д-р екон.наук, проф., О. В. ДОБРОХОДОВА, канд.техн.наук, доц.
Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова
О. М. КАНІВЕЦЬ, ст. викл., Сумський національний аграрний університет

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ: МОНІТОРИНГОВІ АСПЕКТИ

Метою статті є формування й реалізація моніторингових процедур використання земель на регіональному рівні. Сучасні трансформаційні умови, які характеризуються зниження ефективності використання земель, накопиченням негативного впливу зовнішніх і внутрішніх чинників, розбалансування регіональних зв'язків, агресією РФ, потребують переосмислення підходів до землекористування, формування моніторингових процедур.

За останні роки спостерігається зниження рівня нормативної грошової оцінки земель, відбувається скорочення встановлення меж населених пунктів, зниження ефективності функціонування об'єднаних територіальних громад.

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні завдання: розробка теоретичних підходів до визначення моніторингу використання земель; формування та реалізація методу оцінки рівня побудови моніторингу використання земель на прикладах функціонування суб'єктів регіонального розвитку; виокремлення практичних аспектів моніторингу використання земель.

Методи дослідження. Систематизація теоретико-методичних розробок для визначення моніторингу використання земель об'єднаних територіальних громад. Метод інтегральної оцінки для визначення узагальнюючого показника використання земель, враховуючи особливості просторового, містобудівного, екологічного й соціально-економічного забезпечення. Метод математичного моделювання для побудови моделі й встановлення причинно-наслідкових зв'язків між чинниками використання земель об'єднаних територіальних громад для формування й застосування моніторингових процедур.

Наукова новизна. Удосконалено категоріальний апарат щодо визначення моніторингу використання земель об'єднаних територіальних громад. Запропоновано метод інтегральної оцінки визначення рівня використання земель, який на відміну від існуючих, дозволяє отримати узагальнюючу оцінку та створити кількісне підґрунтя для прийняття рішень. Надало подальшого розвитку математичне моделювання впливу моніторингових чинників використання земель об'єднаних територіальних громад. Це дозволило сформулювати подальше бачення зміни визначених показників.

Практична значимість полягає у реалізації системи моніторингу використання земель в діяльності об'єднаних територіальних громад.

У результаті дослідження розроблено методи інтегральної оцінки використання земель та здійснено математичне моделювання впливу чинників на інтегральний показник.

Результати оцінки інтегрального показника та математичного моделювання дозволили сформулювати кількісну основу та визначили практичні аспекти для побудови моніторингу використання земель, враховуючи вплив просторових, містобудівних, соціально-економічних й екологічних чинників.

Ключові слова. Використання земель, метод інтегральної оцінки, математичне моделювання, моніторинг використання земель, регіональний рівень, об'єднані територіальні громади.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сучасні трансформаційні умови, які характеризуються зниження ефективності використання земель, накопиченням негативного впливу зовнішніх і внутрішніх чинників, розбалансування регіональних зв'язків, агресією РФ, потребують переосмислення підходів до землекористування, формування моніторингових процедур.

За останні роки спостерігається зниження рівня нормативної грошової оцінки земель, відбувається скорочення встановлення меж населених пунктів, зниження ефективності функціонування об'єднаних територіальних громад (ОТГ).

В Україні для забезпечення розвитку земельних відносин об'єднаних територіальних громад створена нормативно-правова база. Зокрема, Законом України «Про добровільне об'єднання територіальних громад» виокремлені територіальні особливості формування та використання земель ОТГ. Розпорядженням Кабінету Міністрів України «Питання передачі земельних ділянок сільськогосподарського призначення державної власності у комунальну власність об'єднаних територіальних громад» сформовано порядок передачі земель сільськогосподарського призначення державної власності у комунальну власність об'єднаних територіальних громад. Слід вказати на зростання кількості ОТГ за останні роки. Проте на їх створення й функціонування здійснюють певний вплив центральні органи державної влади, визначені протиріччя між регіональними інституціями й об'єднаними територіальними громадами.

Таким чином, актуальним питанням є виокремлення особливостей використання земель, враховуючи моніторингові аспекти.

Аналіз досліджень і публікацій. В існуючих наукових розробках відсутні єдині підходи до визначення моніторингу використання земель. Тому, у дослідженні систематизовані теоретичні підходи щодо обґрунтування моніторингу використання земель:

функціональний: базується на формуванні та реалізації напрямів побудови та застосування моніторингу використання земель [1-2];

стейкхолдерний: характеризуються напрями та особливості формування й реалізації стейкхолдерних відносин відносно побудови моніторингу [3];

просторовий: визначаються просторові характеристики використання земель для розробки та реалізації моніторингових процедур [4];

факторний: виокремлюються та оцінюються фактори, що впливають на формування та використання моніторингу використання земель. Зокрема, визначаються містобудівні чинники [5];

екологічні [6-7];

інвестиційної привабливості [8-9];

інструментальний: характеризуються інструменти реалізації моніторингу використання земель [10];

нормативно-правового забезпечення [11].

У результаті дослідження запропоновано визначення моніторингу використання земель, зокрема, об'єднаних територіальних громад [12], який представляє собою систему, що складається із просторового, містобудівного, екологічного й соціально-економічного забезпечення земель об'єднаних територіальних громад, визначених на основі оцінних процедур шляхом застосування аналітичних, експертних методів, математичного моделювання, інструментарію геоінформаційних систем. Вона спрямована на характеристику існуючого стану використання земель ОТГ, виявлення диспропорцій у системі земельних відносин та встановлення перспектив їх розвитку.

Постановка задачі. Метою дослідження є формування й реалізація моніторингових процедур використання земель на регіональному рівні.

Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні завдання:

розробка теоретичних підходів до визначення моніторингу використання земель;

формування та реалізація методу оцінки рівня побудови моніторингу використання земель на прикладах функціонування суб'єктів регіонального розвитку;

виокремлення практичних аспектів моніторингу використання земель.

Викладення матеріалу та результати. Для забезпечення моніторингу використання земель на регіональному рівні формується кількісне підґрунтя на основі розробки та застосування

методу оцінки рівня використання земель. У цьому контексті для вирішення цього складного питання запропоновані метод інтегральної оцінки використання земель, зокрема, об'єднаних територіальних громад, який включає наступні етапи:

- визначення просторових, містобудівних, соціально-економічних і екологічних характеристик використання земель ОТГ, формування відповідних локальних чинників;
- формування узагальнюючих показників ВЗ об'єднаних територіальних громад;
- побудова багаторівневої системи показників інтегральної оцінки використання земель ОТГ;
- оцінка локальних чинників із застосуванням кількісних і якісних методів;
- розробка математичних моделей оцінки узагальнюючих чинників використання земель об'єднаних територіальних громад;
- оцінка узагальнюючих чинників із застосуванням методу середньої геометричної;
- побудова інтегральної моделі оцінки використання земель ОТГ;
- визначення вагових коефіцієнтів з урахуванням відповідних стимуляторів;
- оцінка інтегрального показника ВЗ об'єднаних територіальних громад;
- інтерпретація отриманих результатів;
- розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо формування та здійснення моніторингу для підвищення ефективності використання земель ОТГ [13-14].

Відповідно до запропонованих етапів виокремлені чинники використання земель, побудована багаторівнева система чинників. Розроблені моделі для оцінки:

узагальнююча модель оцінки просторових, містобудівних, соціально-економічних, екологічних показників наступна

$$G_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n G_{ij}}, \quad (1)$$

де n – кількість чинників, відн. од.; i – значення просторових, містобудівних, соціально-економічних, екологічних показників, відн. од.; j – номер просторових, містобудівних, соціально-економічних, екологічних показників, відн. од.;

інтегральна модель оцінки рівня використання земель ОТГ на основі застосування узагальнюючих просторових, містобудівних, соціально-економічних і екологічних показників та вагових коефіцієнтів

$$G = \sum_{p=1}^n w^{(p)} \cdot G_i^{(p)}, \quad (2)$$

де G – інтегральний показник ВЗ об'єднаних територіальних громад, відн. од.; $w^{(p)}$ – вагові коефіцієнти, що характеризують ступень впливу просторових, містобудівних, соціально-економічних і екологічних показників на інтегральний чинник використання земель ОТГ, відн. од.

Вагові коефіцієнти визначаються із застосуванням методу аналізу ієрархій.

Результати оцінки інтегрального показника використання земель ОТГ за регіонами України представлено на рис. 1.

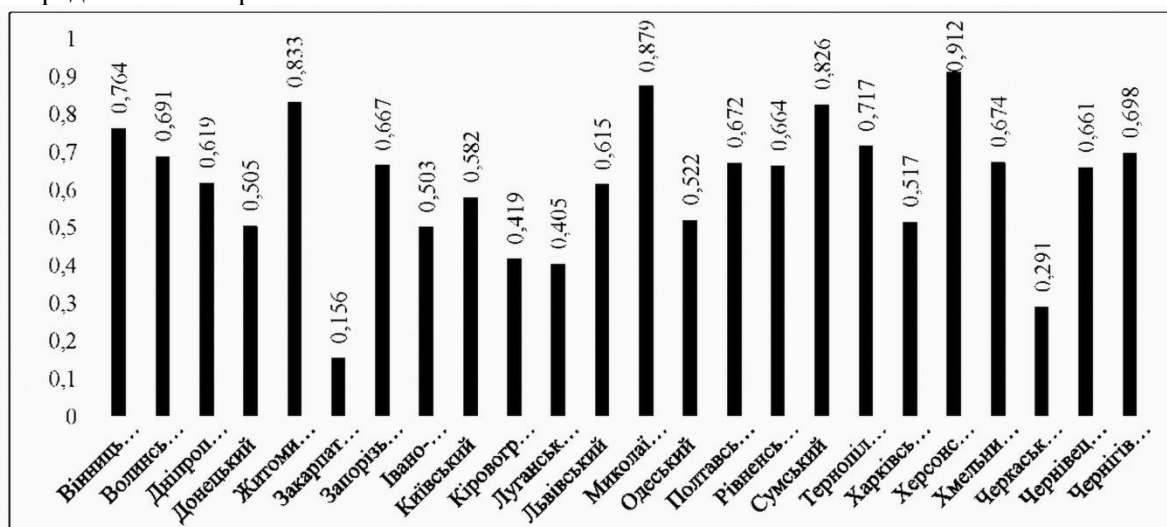


Рис. 1. Результати оцінки інтегрального показника використання земель ОТГ за регіонами України, відн. од.

Для формування моніторингу використання земель запропоновано здійснювати математичне моделювання. Інтегральний показник використання земель об'єднаних територіальних громад побудований на підставі дослідження чотирьох узагальнюючих чинників, саме тому досліджується не зв'язок між окремими компонентами, а сукупний вплив обраної множини. Це можливо виконати із застосуванням множинної регресії, яку можна представити залежністю

$$y_x = b_{yx_1}x_1 + b_{yx_2}x_2 + b_{yx_3}x_3 + b_{yx_4}x_4 + b_0, \quad (3)$$

де b_{yx_i} - коефіцієнти регресійного рівняння знаходяться за методом найменших квадратів;

$$\sum_{j=1}^k (y_{x_j} - \bar{y}_j)^2 n_j = \sum_{j=1}^k (b_{yx_1}x_1 + b_{yx_2}x_2 + b_{yx_3}x_3 + b_{yx_4}x_4 + b_0 - \bar{y}_j)^2 n_j \rightarrow \min. \quad (4)$$

Оцінка достовірності моделі проведено на підставі аналізу параметрів регресійної моделі. Встановлено, що коефіцієнт кореляції $R = 1$ (зі стандартною похибкою $2,6 \cdot 10^{-7}$), отже обрана модель формування інтегрального показника є достовірною.

Побудована математична модель (за рівнянням лінійної регресії) інтегрального показника за регіонами України. Ця модель підтвердила результати кореляційного аналізу щодо ступеня впливу узагальнюючих показників. Коефіцієнти моделі лінійної регресії висвітлюють різницю впливу узагальнюючих показників на інтегральний чинник. Коефіцієнти регресійної моделі набувають значень для: просторових показників – 0,29; містобудівних – 0,219; соціально-економічних – 0,104; екологічних – 0,089.

У результаті дослідження встановлено, що найбільший вплив просторових показників спостерігається для більшості регіонів (рис. 2). Проте, незважаючи на достатньо високий вплив (що обумовлюється загальною тенденцією), найменша частка в загальному оцінюванні узагальнюючих чинників використання земель об'єднаних територіальних громад припадає на містобудівні показники.

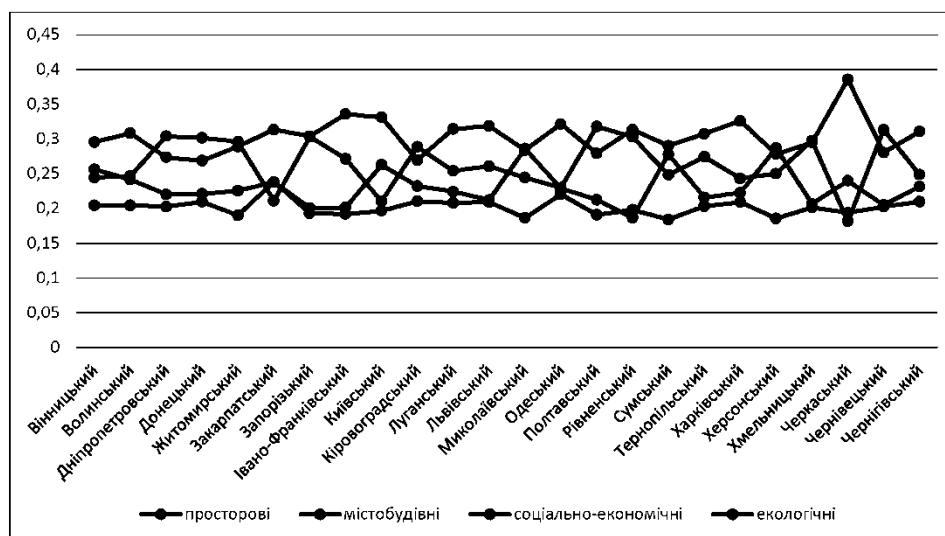


Рис. 2. Вплив узагальнюючих показників використання земель ОТГ на інтегральний чинник, визначений на основі кореляційно-регресійного аналізу, відн. од.

Слід відзначити, що знижується значення як соціально-економічних, так і екологічних чинників на рівень використання земель об'єднаних територіальних громад. Це протирічить сучасним напрямкам формування та реалізації земельних відносин, де особливої уваги приділяється соціально-економічним та екологічним напрямкам. Більш того, сучасні системи управління земельними відносинами передбачають багатоцільове їх забезпечення із врахуванням широкого кола факторів. Така ситуація гальмує розвиток ОТГ та потребує розробки й реалізації науково обґрунтованих рекомендації підвищення рівня використання земель на основі здійснення моніторингових процедур із врахуванням зміни просторових, містобудівних, соціально-економічних й екологічних чинників.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Таким чином, у результаті дослідження визначено, що за регіонами України спостерігається різноаспектність у контексті використання

земель ОТГ. Зокрема, у Житомирському, Миколаївському, Сумському, Херсонському регіонах спостерігається високий рівень використання земель об'єднаних територіальних громад. На достатньому рівні визначаються регіони: Вінницький, Волинський, Дніпропетровський, Запорізький, Львівський, Полтавський, Рівненський, Тернопільський, Хмельницький, Чернівецький, Чернігівський. Поряд з цим, у деяких регіонах відбувається недостатній або слабкий рівень використання земель ОТГ (Закарпатський, Черкаський). У цілому, відзначимо, що за останні роки відбуваються позитивні зрушення щодо використання земель об'єднаних територіальних громад за регіонами у розрізі комплексного врахування просторового, містобудівного, соціально-економічного й екологічного забезпечення. Проте, слід вказати, що на регіональному рівні виникає необхідність здійснення заходів щодо зростання рівня використання земель на основі розробки й реалізації науково обґрунтованих рекомендації відносно здійснення моніторингових процедур.

Результати оцінки інтегрального показника та математичного моделювання дозволили сформувати кількісну основу та визначили практичні аспекти для побудови моніторингу використання земель, враховуючи вплив просторових, містобудівних, соціально-економічних й екологічних чинників.

Список літератури

1. Вишиванюк М. В., Брус В. Х., Баланюк І. Ф., Матковський П. Є. Моніторинг земель сільськогосподарського призначення. URL: <http://personal.pu.if.ua/depart/petro.matkovsky/resource/file/pdf/Monitoring%20of>.
2. Дорожинська О. В. Проблеми рекреаційних аспектів у багатофакторній кадастровій оцінці території. Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. Львів, 2006. Вип.1 (11). С. 317–321.
3. Петриченко В., Балюк С., Медведєв В. Моніторинг земель як рятівний круг. Урядовий кур'єр. 2014. 12 квітня. № 68. С. 8.
4. Горланчук В. В., В'юн В. Г., Песчанська І. М. Управління земельними ресурсами: підручник. Львів: Видавництво «Магнолія Плюс», 2006. 443 с.
5. Мамонов К. А., Грек М. О., Метешкін К. О. Визначення містобудівних факторів, які впливають на використання земель міст. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків. 2017. Вип. 169. С. 174–182.
6. Боголюбов В. М., Клименко М. О., Мокін В. Б. Моніторинг довкілля: підручник. Вінниця: ВНТУ. 2010. 232 с.
7. Ємець М. А. Сучасні системи екологічного моніторингу та ефективність їх функціонування. Екологія і природокористування: збірн. наук. праць. ІППЕ НАН України. Дніпропетровськ, 2008. № 11. С. 159–169.
8. Бутко М., Зеленський С., Акименко О. Сучасна проблематика оцінки інвестиційної привабливості регіону. Економіка України. 2008. № 11. С. 30–35.
9. Мамонов К. А., Радзінська Ю. Б. Дослідження стану та особливостей інвестиційної привабливості земель міст України. Автомобільні дороги і дорожнє: Науково-технічний збірник. К.: НТУ. 2017. Випуск 102. С. 125–129.
10. Гордій М. С. Проблеми та перспективи використання ГІС-картографування в Україні. Часопис картографії. 2012. Вип. 4. С. 23–30.
11. Метешкін К.О., Кондращенко О.В., Нестеренко С.Г., Радзінська Ю.Б. Методичні принципи організації об'єктів нерухомості в тривимірному кадастр. Комунальне господарство міст. 2023. Том 1. Вип. 175. С. 88–93.
12. Мамонов К. А., Канівець О. М., Вень Мін Мін, Лю Чан. Моніторинг використання земель об'єднаних територіальних громад. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Новітні технології та досягнення земельного адміністрування та територіального планування», Харків, 6 жовтня 2022 р./ ред. кол.: М.К. Сухонос, С. Г. Нестеренко, Ю.Б. Радзінська. Х.: ХНУМГ, 2022. 100 с. С. 16–17.
13. Мамонов К. А., Канівець О. М., Лю Чан. Розробка методу інтегральної оцінки використання земель об'єднаних територіальних громад / Комунальне господарство міст: Харків: Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова. Серія: Інженерні науки і архітектура. 2022. Том 4. Вип. 171. С. 87–91.
14. Мамонов К. А., Канівець О. М., Фролов В. О., Кондратюк І. В. Територіальний розвиток використання земель регіонів: концептуальні положення, проблеми та методологічний підхід до оцінки. Наукове видання комунальне господарство міст. Науково-технічний збірник. Серія: «Технічні науки та архітектура». Том 1. Вип. 154. 2020. С. 154–158

А.М. ТУРИЛО, А.А. ТУРИЛО, доктори екон. наук, професори,
Р.В. КОРОЛЕНКО, канд. екон. наук, доц.
Криворізький національний університет

ІННОВАТИКА: СУТНІСТЬ І ХАРАКТЕРНІ ОСОБЛИВОСТІ

Мета. Метою даної роботи є дослідження, розкриття й удосконалення сутності категорії «інноватика». Уточнення понятійно-категорійного апарату відносно базових аспектів науки інноватики.

Методи дослідження. В процесі дослідження для змістовного розкриття сутності проблеми використано методи наукової абстракції, комплексного аналізу і синтезу, структурно-декомпозиційності, логіки й узагальнення результатів попередніх досліджень, причинно-наслідкового зв'язку, змістовно-порівняльний, науково-аналітичний.

Наукова новизна. Обґрунтовано і сформульовано базові постулати, що розкривають характерні особливості інноватики. Розглянуті і представлені науково-методичні підходи до уточнення сутності таких категорій як «інноваційна діяльність», «інноваційний процес». Удосконалено підходи до тлумачення інноватики з позиції теорії, методології, методичності та предметності.

Надано удосконалення трактування мети, об'єкту і предмету інноватики. Запропоновано з методико-прикладних позицій підхід до визначення категорії «інноватика».

Практична значимість. Представлений матеріал конкретизує зміст, підвищує науковий рівень і можливості обґрунтованого використання розглянутих у роботі термінів і категорій.

У роботі уточнено зміст категорій «інноваційна діяльність», «інноваційний процес», «об'єкт інноватики», «предмет інноватики», «мета інноватики», «інноватика».

Результати. Представлено базові постулати, що методично розкривають характерні риси інноватики і є підґрунтям для обґрунтованості прийняття ефективних практичних рішень щодо формування і впровадження інновацій в усіх сферах і у всіх видах діяльності суспільства і людини.

Визначено і рекомендовано для використання удосконалені за змістом базові категорії і поняття інноватики.

Автори роботи дослідили і визначили з методико-прикладних позицій базові постулати, що комплексно розкривають суспільно-економічну сутність інноватики.

Уточнено з практичних позицій сутність категорій «інноваційна діяльність» та «інноваційний процес», які можуть бути використані на рівні вищих навчальних закладів при викладанні відповідних дисциплін та в системі менеджменту підприємств.

Надано предметне тлумачення щодо мети, об'єкту і предмету інноватики.

Ключові слова: інноватика, мета, предмет, об'єкт, інноваційна діяльність, інноваційний процес.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-99-103

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Інноватика як наука і науково-практична категорія до теперішнього часу недостатньо повно досліджені. Окремі аспекти інноватики потребують свого змістовного і термінологічного уточнення та удосконалення.

Аналіз досліджень і публікацій. Існуюча наукова, економічна і навчальна література, в якій досліджуються і розглядаються питання інновацій, інноваційності, науково-методологічних підходів щодо забезпечення інноваційної діяльності на різних рівнях господарювання, формування і визначення сутності інноватики достатньо ґрунтовно розкривають сутність даних понять і процесів [1-11 та ін.].

Разом з тим, на наш погляд, ряд важливих елементів і підходів до розкриття сутності інноватики потребують свого уточнення і удосконалення.

Постановка задачі. Комплексний підхід до дослідження сутності науково-практичної категорії «інноватика».

Викладення матеріалу та результати. Ринкова модель господарювання, конкуренція між суб'єктами господарювання вимагають від них комплексних і ґрунтовних пошуків щодо свого ринкового існування.

Якщо ж питання стоїть відносно формування стратегії розвитку суб'єкта господарювання, бажання поточного отримання значних величин продажів і прибутку, розширення ринкового сегменту, забезпечення зростання гудвілу суб'єкта господарювання, то такі завдання і цілі вимагають від менеджменту ґрунтовних і якісних рішень.

І тут на перший план виходять інновації.

Інновації, їх розробка і впровадження в господарську діяльність суб'єктів підприємництва є дуже складною, відповідальною і значною мірою ризиковою операцією.

Як показує практика в багатьох випадках інновації того чи іншого виду і їх впровадження не виправдовують себе в більшій або меншій мірі. Іноді це пов'язано з самою інновацією (за їх якість, продуктивність тощо), іноді порушується баланс між суміжними технологічними операціями (робочими місцями, технологіями, структурними підрозділами), а іноді сам процес використання інновації не відповідає очікуванням тощо.

Саме за такої ситуації виникла наука «інноватика», як важливий чинник розуміння сутності інновації і обґрунтованості їх впровадження на всіх рівнях і у всіх сферах суспільного розвитку, зокрема це стосується і підприємницької діяльності.

Інноватика – це молода наука і далеко не всі питання в ній вирішені, і це логічно, бо процес вдосконалення є перманентною величиною для ринкової моделі господарювання.

Актуальність і значимість інноватики постійно зростає, це обов'язковий атрибут на шляху до забезпечення економічної безпеки і конкурентності.

Інноватика стала неодмінною навчальною дисципліною вищих навчальних закладів.

Така актуальність і значимість інноватики для наукової, практичної і навчальної діяльності визначає суспільну потребу в питаннях уточнення, удосконалення, як окремих аспектів, так і в цілому подальшого розвитку науки «інноватика».

У даній роботі представлено окремі авторські позиції по таким проблемам. Почнемо з головного, визначення категорії «інноватика».

У роботі [8] надано таке визначення інноватики. «Інноватика – це область знань, про сутність інноваційної діяльності, організацію та управління інноваційними процесами, які забезпечують трансформацію нових знань в затребувані суспільством нововведення як на комерційній і некомерційній основі».

«Інноватика – галузь знань, що охоплює питання методології й організації інноваційної діяльності» [4].

«Інноватика – це наука, що вивчає теоретичні аспекти нововведень, в тому числі процеси формування нововведень і їх поширення, фактори протидії нововведенням, методи стимулювання науково-технічного розвитку» [2].

Розглядаючи дані й інші аналогічні тлумачення інноватики [9, 11], а також інші проблеми, що розкриваються в них, бажаємо зазначити наступне.

У даних роботах в тлумаченнях і визначеннях категорії «інноватика» використовуються одночасно різні терміни, такі як «інноваційна діяльність», «інноваційний процес» і «нововведення». Вони є різними за своєю сутністю і це ускладнює розуміння категорії «інноватика».

У даних визначеннях категорії «інноватика» відсутнє використання терміну «інновація», який і є основою, першоджерелом походження назви даної категорії. Інновація суть інноватики. Вся інноватика «будується» навколо інновації.

У роботі [8] відмічається, що інноватика досліджує процес прогресивного розвитку соціально-економічного об'єкта.

Вважаємо, що: інноватика не тільки досліджує, а і є джерелом, умовою, чинником, засобом, практичним інструментом тощо; стосується і охоплює не тільки соціально-економічну сферу, а і всі інші сфери життєдіяльності суспільства (людини), як то організаційну, технічну, управлінську, інформаційну, морально-духовну тощо.

Представлення об'єктом інноватики – тільки інноваційну діяльність, яка характеризується як процес здійснення інновацій в соціально-економічних системах, на наш погляд, є дещо звуженим підходом. За межами об'єкту залишаються інші процеси і явища (інноваційний розвиток, інноваційний процес, процеси дослідження, формування, оцінки, результатів тощо).

Існує значна кількість трактувань терміну «інновація». В роботах по інноватиці інновація визначається як один із варіантів у вигляді результату масштабного застосування і поширення нових знань, результатів науково-технічної та творчої діяльності.

У такому трактуванні інновації наголос робиться на процесах застосування і поширення (нових знань, результатах науково-технічної діяльності тощо); але сутність даного терміну, виходячи із аналізу сукупності інших літературних джерел, є більш ширшою.

У роботі [8] «предметом інноватики визначено принципи, закони і закономірності інноваційних процесів в соціально-економічних системах, моделі і методи опису, дослідження, організації та управління інноваційною діяльністю на макrorівні, мезорівні і мікрорівні».

Така трактовка предмету інноватики представляє собою високий рівень теоретичності, обґрунтованості, комплексності і логічності. Разом з тим, на нашу думку, воно потребує певного уточнення. Дану трактовку інноватики умовно можна розбити на дві частини (для більш аналітичного підходу). Верхня (перша) частина визначення інноватики пов'язана з інноваційним процесом, нижня (друга) частина – пов'язана з інноваційною діяльністю. Однак, як визначено практично у всіх літературних джерелах інноваційний процес і інноваційна діяльність – це різні за змістом і трактуванням поняття.

Саме з цього виникає питання, чому закони і закономірності віднесені тільки до інноваційних процесів, а моделі і методи опису, дослідження, організації та управління віднесені до інноваційної діяльності? Тобто в такій трактовці предмету інноватики є певне теоретико-методологічне роздвоєння.

У літературних джерелах пов'язаних з інноваціями, інноваційною діяльністю тощо, і в тому числі в навчально-наукових працях по інноватиці, термін «інновація» дуже часто розкривається за допомогою терміна «нововведення».

У певних роботах інновація трактується прямо або опосередковано як нововведення.

Разом з тим, логіка підказує, що різні за змістом і призначенням терміни. Тому дуже важливо при дослідженні і трактуванні терміну «інновація» надати визначення терміну «нововведення» і показати основні відмінності між ними.

В основу категорії «інноватика» все ж таки покладено термін «інновація», а не «нововведення».

«Інноваційна діяльність – діяльність, що спрямована на використання і комерціалізацію результатів наукових досліджень та розробок і зумовлює випуск на ринок нових конкурентоспроможних товарів і послуг» [8].

Термін «інноваційна діяльність» є одним із ключових як в теорії інновацій, так і в науці інноватика. Тому спираючись на своє розуміння інноваційної діяльності вискажемо свою дискусійну позицію стосовно терміну, що представлено в роботі [8].

Інноваційна діяльність не спрямована на використання результатів наукових досліджень та розробок, а безпосередньо пов'язана з використанням наукових досліджень і розробок.

Інноваційна діяльність не зумовлює випуск на ринок нових конкурентоспроможних товарів і послуг. Напроти ринок і конкуренція зумовлюють всіх суб'єктів господарювання здійснювати інноваційну діяльність і за рахунок інноваційної діяльності виробляти конкурентоспроможну продукцію (виконувати роботу, надавати послуги).

У тлумаченні терміну «інноваційна діяльність» не використовується термін «інновація» (можливо замість «результатів наукових досліджень та розробок» використати термінологічне словосполучення «сукупність взаємопов'язаних інновацій»).

У роботі [8] інноваційний процес характеризується як процес послідовного перетворення ідеї в товар.

А сам інноваційний процес в ній розділяється на дві стадії: перша включає в себе наукові дослідження і розробки, а друга характеризує і представляє собою життєвий цикл продукту.

Визначення інноваційного процесу, на наш погляд, є чітким, змістовним і виважено коротким. Разом з тим дане визначення інноваційного процесу більш чітко відобразило б даний термін, завершив його таким чином, щоб в ньому процес послідовного перетворення ідеї закінчився не просто певним товаром, а безпосередньо інновацією.

Стосовно двох стадій інноваційного процесу, на нашу думку, друга його стадія не зовсім предметно розкриває сутність даного терміну (потребує свого додаткового розкриття).

Як результат розглянутого всього вище матеріалу ми, як і інші автори, хочемо представити свої погляди на певні ключові питання, що пов'язані з інноватикою. Розглядаємо це як загальний, сумісний з усіма іншими авторами процес уточнення, удосконалення та розвитку науки інноватики.

Подамо наше бачення в концентрованому вигляді (стосовно базових термінів і змістовних складових науки інноватика).

Постулати інноватики.

Інноватика це:

науково-практична категорія;

універсальна категорія (інноватика досліджує і реалізується в усіх сферах і у всіх видах життєдіяльності суспільства і людини);

фундаментальний чинник і засіб розвитку суспільства у всьому його багатогранності;

гармонізація і прогресивність розвитку суспільства й окремої людини;

системність і всебічність ефективного розвитку суспільства і людини;

засіб адаптації суспільства і людини до змін зовнішнього і внутрішнього характеру;

інструмент в системі менеджменту країни, регіону, галузі, суб'єкта господарювання;

наука, в якій інноваційний розвиток є всезагальною і об'єднуючою поняттям;

потенціал розвитку суспільства – зміст і рівень якого визначається величиною, якістю і ступенем реалізації людського ресурсу (людського капіталу, людського активу).

Інноватика має теоретико-методологічний і методико-практичний аспекти.

Інноватика в аспекті теоретико-методологічності стосується сутності, факторів впливу, принципів, методів, законів і закономірностей пов'язаних з інноваціями й інноваційним розвитком.

Інноватика в аспекті методико-практичності пов'язана з питаннями методико-прикладного характеру, які всебічно розкривають процес практичного застосування результатів теоретико-методологічної інноватики на всіх рівнях і у всіх сферах життєдіяльності суспільства.

Інноватика теоретико-методологічна й інноватика методико-практична знаходяться в постійному русі і розвитку у відповідності до загальних тенденцій науково-технічного прогресу.

Інноватика має в своїй основі теорію інновацій і інноваційного розвитку.

Мета інноватики – розробляти і рекомендувати системні і найбільш ефективні напрями і підходи щодо прогресивного і гармонійного розвитку людини і суспільства на засадах інновацій та всебічної його інноватизації.

Предмет інноватики – теоретико-методологічні підходи і розробки, методико-прикладні положення і рекомендації стосовно створення та формування суспільно-необхідних за кількістю й якістю інновацій і забезпечення на цій основі максимального рівня інноваційного розвитку суспільства і всіх його складових.

Об'єкт інноватики – процеси розробки і реалізації системних інновацій в розвитку суспільства.

Висновок та напрямок подальших досліджень. Весь матеріал, що розглянутий вище дозволяє нам підсумувати його у якості авторського трактування такої важливої категорії як «інноватика».

Інноватика – це наука, яка за своєю специфікою сформувалася і діалектично розвивається на засадах, результатах і досягненнях світової науки і практики, за своїм змістом направлена на системне і всебічне дослідження категорій «інновація» і «інноваційний розвиток», за своєю логікою пізнання спирається на сукупність законів і закономірностей, що мають сутнісно-характерний зв'язок з нею, а за своїм вектором використання направлена безпосередньо в практичну площину для забезпечення ефективного розвитку суспільства і конкретної людини.

Таким чином, представлені теоретико-методичні матеріали дозволяють більш предметно і змістовно підійти до розкриття сутності такої важливої для сучасного етапу розвитку суспільства категорії як «інноватика».

Список літератури

1. **Турило А.А.** Основи управління інноваційним розвитком підприємства: моногр. Кривий Ріг: Козлов Р., 2017. 307 с.
2. **Байн В.Ф.** Економіка підприємства та організація виробництва: навч. посіб. URL: <https://ebib.pp.ua>.
3. **Василенко В.О.** Інноваційний менеджмент: навч. посіб. К.: ЦУЛ, 2003. 440 с.
4. Вікіпедія. URL: <https://uk.m.wikipedia.org/wiki>.
5. **Давіла Тоні, Епштейн Марк, Шелтон Роберт.** Працююча інновація /пер. з англ.. Дніпропетровськ: Баланс, 2007. 322 с.
6. **Ілляшенко С.М.** Управління інноваційним розвитком: навч. посіб. Суми: Унів.КНИГА, 2005. 324 с.
7. **Максимов С.В., Темченко О.А., Кадол Л.В.** Економіка і організація інноваційної діяльності: навч. посіб. Кривий Ріг: КТУ, 2007. 268 с.
8. **Непокупна Т.А., Степаненко С.В., Шевченко Б.О., Якрвенко Л.Л., Сакало О.Є.** Основи сучасної інноватики: навч.-метод. посіб. Полтава: ПНТУ, 2021. 187 с.
9. Основні поняття і сутність теорії інноватики: бібліотека економіста. URL: <https://library.if.ua>book>.
10. **Петрович Й.М.** Управління інноваційними проектами. Львів: львівська політехніка, 2016. 316 с.
11. Формування сучасної теорії інноватики: підруч. для студ. URL: <https://stud.com.ua>investuvannya>.

**ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ УНОРМУВАННЯ ПИТОМИХ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ
ВУГІЛЬНОЮ ШАХТОЮ**

Мета статті – визначення і співставлення показників точності прогнозу унормованих значень питомого енергоспоживання в процесі контролю енергоємності вуглевидобутку при використанні відомого і нового способів поновлення регресійної моделі.

Методика дослідження – аналіз та співставлення показників точності розрахунку унормованих значень питомого енергоспоживання вугільної шахти при застосуванні відомого і нового способів поновлення регресійної моделі.

Результати дослідження. Визначено недолік відомого підходу до поновлення регресійної моделі. Він полягає у тому, що дані, які використовують для побудови регресійної залежності, не перевіряють на однорідність, і це може привести до зниження точності прогнозу при визначенні унормованих значень енергоспоживання. Співставлення показників точності ретроспективного точкового прогнозу унормованих значень щоденного електропоживання вугільної шахти при використанні відомого і нового способів поновлення регресійної моделі свідчать про те, що в розглянутому періоді контролю середні значення похибки прогнозу в новому варіанті поновлення моделі нижчі аналогічних значень для відомого варіанту, а відносне значення зниження похибки склало 15%. Таким чином, в розглянутій ситуації підтверджена доцільність застосування нового способу поновлення регресійної моделі. Запропоноване обмеження кількості експериментальних даних приєднаної вибірки супроводжується збільшенням значення показника F – розподілу, що зменшує можливості отримання об'єднаної вибірки з неоднорідними даними, визначеної методом Г. Чоу. Це зменшує можливість зміни структури регресійної моделі, зумовленої неоднорідністю даних, що спрощує процедуру формування унормованих значень електропоживання.

Наукова новизна. Вперше виконано співставлення показників точності ретроспективного точкового прогнозу унормованих значень щоденного електропоживання вугільної шахти при використанні відомого і нового способів поновлення регресійної моделі. Доведено, що в розглянутому періоді контролю середні значення похибки прогнозу в новому варіанті поновлення моделі нижчі аналогічних значень для відомого варіанту.

Практичне значення. Підтверджена доцільність застосування нового способу поновлення регресійної моделі при унормуванні енергоємності вуглевидобутку в розглянутих умовах, що важливо для якісного контролю енергоефективності виробничого процесу.

Ключові слова: контроль енергоефективності, унормування, енергоємність, енергозбереження, точність прогнозу, ретроспективний прогноз.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-103-110

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Енергоємність процесу видобутку вугілля суттєво змінюється в часі, що зумовлено впливом на цей показник ряду чинників, зокрема обсягу видобутку вугілля. Щоденна реєстрація показника питомих витрат енергії однією із вугільних шахт Донбасу підтверджує цей факт (рис.1).

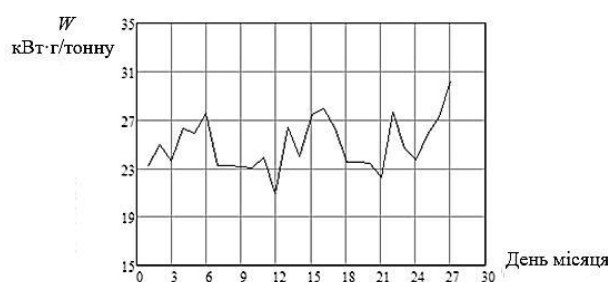


Рис.1. Графік щоденної енергоємності видобутку вугілля протягом місяця

В 2020 році набув чинності стандарт України ДСТУ ISO 50001:2020 (ISO 50001:2018, IDT)- Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання [1]. Стандарт передбачає виконання певного переліку дій, що сприяють визначенню енергетичної політики підприємства, завдань та конкретних планів, спрямованих на підвищення енергетичної ефективності виробничих процесів. Зокрема мова йде про упровадження на підприємствах систем енергоменеджменту, діяльність яких передбачає реалізацію концепції «постійного поліпшення ситуації» [1]. Дослідження свідчать про значну енергоємність гірничих робіт [2, 3], що сприяє зосередженню уваги на визначенні ефективних алгоритмів керування технологічними

процесами [4-8]. В умовах суттєвих коливань показника енергоємності вуглевидобутку наявність «постійного поліпшення ситуації» не є очевидною. Тенденція до покращення ситуації проявляється в результаті визначення унормованих значень питомого енергоспоживання, характерних для конкретних умов вуглевидобутку, і їх співставлення з реальними значеннями. Відмінність фактичних значень від прогнозованих (унормованих) здійснюють постійно (бажано щоденно) в процесі контролю енергоефективності вуглевидобутку. Результати контролю залежать від точності визначення унормованих значень, яку в існуючих умовах вуглевидобутку слід підвищувати.

Аналіз досліджень і публікацій. Існують різні способи унормування питомого енергоспоживання [4,9]. В [10] показано, що в умовах частих і суттєвих змін умов виробництва продукції (що характерно, зокрема, для вугільних шахт), доцільно використовувати регресійні моделі змінної структури, де коефіцієнти при пояснюючих змінних періодично змінюються в залежності від виробничих умов. Розглянемо один із відомих способів унормування, що використовується в процесі контролю енергоефективності вуглевидобутку [4]. Спосіб передбачає розподіл даних на окремі вибірки з формуванням на їх основі регресійних моделей. Фактичні показники енергоспоживання об'єкта застосовують як для виконання операції співставлення з унормованими значеннями, так і для побудови поновленої регресійної моделі. Після чергового накопичення експериментальних даних відбувається заміна однієї регресійної моделі іншою (поновленою). Поновлена модель використовує ряд отриманих останніми експериментальних даних з їх послідовною фіксацією в часі. Принцип побудови моделі зі змінною структурою, де кожна структура діє певний проміжок часу і використовується для унормування електроспоживання об'єкта, розглянуто, наприклад, в роботах [4, 9]. Перехід від однієї моделі до іншої відбувається після накопичення певної кількості експериментальних даних, необхідних для побудови нової регресійної моделі. В [4] зроблено припущення про однорідність даних регресійних вибірок, що пояснюється незмінністю об'єкту контролю і не завжди виконується при частих змінах умов вуглевидобутку. Розподілення експериментальних даних не передбачає їх перевірку на однорідність, але, не зважаючи на це, процес поновлення регресійної моделі виконується. Рис.2 ілюструє послідовність поновлення регресійної моделі в певних проміжках часу. Контролюючі дії співпадають у часі з накопиченням експериментальних даних для побудови наступної регресійної залежності.

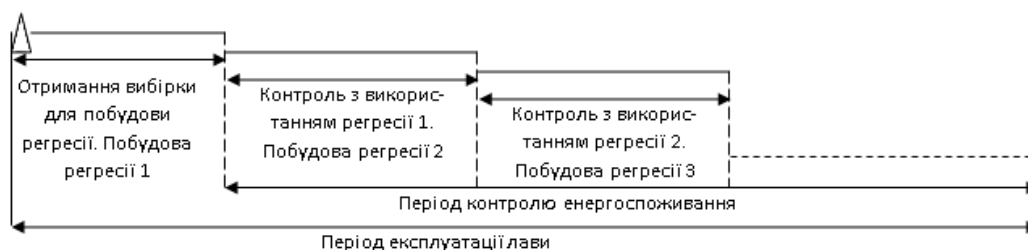


Рис.2. Збір експериментальних даних та побудова регресійної моделі

Недолік відомого підходу до поновлення моделі полягає у тому, що дані, які використовують для побудови регресійної залежності, не перевіряють на однорідність. Це може привести до зниження точності прогнозу при визначенні унормованих значень енергоспоживання. Наступний недолік розглянутого підходу полягає у тому, що проміжки часу між контролюючими діями і періодом формування регресійної моделі, за допомогою якої здійснюється контроль, можуть бути значними. Затримка контролю особливо відчутна в кінці терміну контролю (див. рис.2). Виходячи з того, що у проміжку часу між введенням в дію регресійної залежності і моментом контролю цілком можливі зміни умов споживання енергії, урахування цих змін не відбувається. При цьому унормовані значення питомого енергоспоживання не містять складових, зумовлених змінами, які відбулися, що знижує точність їх визначення.

Недоліки відомого підходу до поновлення моделі можуть бути усунені завдяки використанню нового способу поновлення [10]. В статті запропоновано здійснювати поновлення регресійної моделі щоразу після виконання контролю енергоефективності виробничого процесу і здійснення коригування вибірки експериментальних даних. Коригування виконують шляхом перевірки однорідності отриманих даних з наступним приєднанням їх до елементів існуючої вибірки та вилу-

ченням (у разі необхідності) із вибірки застарілих даних. Така послідовність коригування вихідних даних дозволяє своєчасно здійснювати поновлення моделі і виконання прогнозу питомого енергоспоживання, вводячи дані, що відображають останні зміни, які відбулися в енергозабезпеченні об'єкта. Запропонований в [10] спосіб поновлення моделі реалізує наближення в часі моменту контролю енергоефективності до моментів отримання експериментальних даних для побудови регресійної моделі унормування значень енергоспоживання. Це сприяє підвищенню точності прогнозу унормованих значень. Очевидно, що кількісні показники досягнутої точності прогнозу залежать від особливостей об'єкту контролю, для якого визначають унормовані значення. Співставлення показників точності прогнозу відомого (рис.2) і розглянутого в [10] способів унормування дозволить оцінити ефективність застосування кожного з них.

Постановка задачі. Задача дослідження полягає у визначенні і співставленні показників точності прогнозу унормованих значень питомого енергоспоживання вугільної шахти при використанні відомого і нового способів поновлення регресійної моделі.

Викладення матеріалу та результати. Розглянемо приклад перевірки експериментальних даних вибірки на однорідність і запропоновану в [10] процедуру поновлення регресійної моделі. Проаналізуємо роботу однієї із вугільних шахт Західного Донбасу. Показники видобутку вугілля та відповідні показники питомого споживання електроенергії W у лютому та на початку березня місяцях наведені в табл.1. Вважаємо, що лютий місяць завершився і необхідно контролювати значення W в перших числах березня.

Таблиця 1

Питоме споживання електроенергії W та видобуток вугілля X в лютому та на початку березня місяцях. Лютий

Дата	1	2	3	4	5	6	7
W , кВт*г/т	28	23.3	24.9	24	26.3	25.8	28.1
X , тис.т	4.5	4.9	4.7	5	4.3	4.5	4.2
Дата	8	9	10	11	12	13	14
W , кВт*г/т	23.6	23.3	23	22.9	23.8	20.9	26.4
X , тис.т	5.2	5.2	5.2	4.8	4.4	5.1	5
Дата	15	16	17	18	19	20	21
W , кВт*г/т	23.88	27.44	28.1	26.1	23.5	23.5	23.3
X , тис.т	4.9	4.3	4.2	4.1	4.8	4.9	4.8
Дата	22	23	24	25	26	27	28
W , кВт*г/т	22.5	28.1	24.6	23.6	26.3	27.7	30.3
X , тис.т	5.3	4.2	4.3	4.7	4.3	3.9	3.3

Березень					
Дата	1	2	3	4	5
W , кВт*г/т	24.5	27.7	30.1	22.3	21
X , тис.т	4.7	3.9	3.6	4.8	5.1
Дата	6	7	8	9	10
W , кВт*г/т	23.5	24.9	21.3	22.8	20.5
X , тис.т	5.2	4.5	4.9	4.7	5.5

Лінійну регресійну залежність для унормування питомого енергоспоживання представимо у вигляді

$$\hat{W} = Q_0 + Q_1 \cdot X, \quad (1)$$

де $\hat{W}$ – оцінка середнього значення щоденних питомих витрат енергії вугільною шахтою; X – щоденний видобуток вугілля вугільною шахтою; Q_0 , Q_1 – коефіцієнти регресійної залежності.

Побудуємо залежність (1) за експериментальними даними лютого місяця. Використовуючи матричний метод розрахунку та метод найменших квадратів [4,9], визначимо матрицю коефіцієнтів регресійної моделі та матрицю коваріації

$$Q = [Q_0 \ Q_1]^T = [X'X]^{-1} X'W; \quad (2)$$

$$\text{cov}(Q) = S^2 [X'X]^{-1},$$

де X , W – матриці, побудовані за значеннями щоденного видобутку вугілля X_i та питомого енергоспоживання W_i ($i=1 \dots 28$); S^2 – вибіркова дисперсія. Визначення $\text{cov}(Q)$ за залежністю (2) дозволяє розрахувати середньоквадратичні значення відхилення δ_0 , δ_1 для коефіцієнтів регресійної залежності. Отримаємо $Q_0 \pm \delta_0 = 43.7 \pm 2.4$, $Q_1 \pm \delta_1 = -4.04 \pm 0.518$. У випадку відсутності

щоденного поновлення регресійної моделі (відомий спосіб) отримані значення коефіцієнтів Q_0 , Q_1 залишаються незмінними для всіх контролюючих дій, що здійснюються в березні місяці. Недоліки відомого способу [4] викладені вище.

Можливість об'єднання однорідних даних в одну вибірку визначають за допомогою критерія Г. Чоу [9]. Розглянемо цей критерій з метою його застосування в процесі коригування вибірових даних при застосуванні нового способу поновлення моделі. Значення критичної статистики $\gamma_{n,n1}$ визначають за формулою

$$\gamma_{n,n1} = \frac{(\hat{\varepsilon}^T \cdot \hat{\varepsilon} - \hat{\varepsilon}^{(1)T} \cdot \hat{\varepsilon}^{(1)} / n2)}{(\hat{\varepsilon}^{(1)T} \cdot \hat{\varepsilon}^{(1)}) / n1 - p - 1}, \quad (3)$$

де $\hat{\varepsilon}$, $\hat{\varepsilon}^{(1)}$ – вектори нев'язок об'єднаної та існуючої вибірок, $n1$, $n2$, n – кількість спостережень існуючої, приєднаної та об'єднаної вибірок відповідно ($n=n1+n2$), P – кількість пояснюючих змінних регресійної моделі.

Новий спосіб поновлення регресійної моделі реалізують наступним чином. Першого березня здійснюють контроль значень питомого енергоспоживання за результатами співставлення фактичних значень з унормованим, отриманими з вибірки діючої регресійної моделі. Формують вихідні дані існуючої вибірки ($n1$) шляхом вилучення з переліку даних, отриманих першого лютого. Експериментальні дані, отримані першого березня, вважають приєднаною вибіркою ($n2$). На основі значень ($n1$) та ($n2$) формують об'єднану вибірку (n). Здійснюють перевірку однорідності даних вибірок (n) та ($n1$) шляхом визначення критичної статистики $\gamma_{n,n1}$ (3) та співставлення її зі значенням F – розподілення $F_{\alpha}(n2, n1 - p - 1)$ [9]. Прийнято $\alpha=0.05$, $n2=1$, $n1=27$, $p=1$. Тоді $F_{0.05}(1,25) = 4.24$. На основі співставлення роблять висновок про можливість приєднання даних ($n2$) до даних вибірки ($n1$). У разі підтвердження такої можливості на основі об'єднаної вибірки (n) будують поновлену регресійну модель. Приєднання експериментальних даних, отриманих першого березня, не зафіксувало появу неоднорідності ($\gamma_{28,27}=0.0011 < F_{0.05}(1,25) = 4.24$). Тому здійснена побудова поновлюваної регресійної моделі з коефіцієнтами $Q_0 = 43.43 \pm 2.21$, $Q_1 = -3.99 \pm 0.475$. Ця модель визначає унормовані значення питомого енергоспоживання на наступному кроці контролю з експериментальними даними за друге березня. Далі процедура поновлення моделі повторюється. Табл.2 ілюструє зміну коефіцієнтів регресійної моделі в процесі її поновлення, а також значення критичної статистики $\gamma_{28,27}$ на кожному кроці перевірки однорідності даних.

Таблиця 2

Перевірка однорідності даних регресійної моделі та визначення похибки точкового прогнозу електроспоживання

Число березня	Коефіцієнти моделі		$\gamma_{28,27}$	$\hat{W}_B$ кВт*г/т	$\hat{W}_3$ кВт*г/т	$\Delta \hat{W}_B$ кВт*г/т	$\Delta \hat{W}_3$ кВт*г/т	S^2 [кВт*г/т] ²
	$Q_0 \pm \delta_0$, кВт*г/т	$Q_1 \pm \delta_1$, кВт*г/т ²						
1	43.43±2.21	-3.99± 0.48	0.0011	24.75	24.75	-0.25	-0.25	1.34
2	43.17±2.13	-3.93± 0.46	0.058	27.98	27.85	-0.28	-0.15	1.33
3	43.74±2	-4.05± 0.44	0.516	29.19	29	0.91	1.1	1.35
4	43.17±2.12	-4.17± 0.46	2.66	24.34	24.28	-2.04	-1.97	1.48
5	44.75±2.18	-4.3± 0.48	2.16	23.13	22.9	-2.13	-1.9	1.61
6	44.3±2.17	-4.21± 0.47	0.78	22.73	22.33	0.77	1.17	1.65
7	43.8±2.14	-4.12± 0.46	0.095	25.55	25.36	-0.65	-0.46	1.57
8	44.69±2.21	-4.34± 0.49	3.1	23.9	23.64	-2.64	-2.34	1.69
9	45.21±2.33	-4.47± 0.51	1.19	24.75	24.31	-1.95	-1.51	1.72
10	45.7±2.22	-4.58± 0.48	0.0004	21.51	20.62	-1.01	-0.12	1.66

Дані табл.2 свідчать про те, що новий спосіб поновлення даних діючої вибірки приводить до зміни коефіцієнтів регресійної моделі, але рівні змін не перевищують таких, що забезпечують появу неоднорідності даних. Це підтверджується отриманими значеннями критичної статистики.

В той же час, зрозуміло, що підстави до можливої неоднорідності даних існують. Про це, зокрема, свідчать відомі аналітичні залежності [4] для визначення коефіцієнтів Q_1 , Q_0 методом найменших квадратів, де їх значення залежать від кожного показника отриманих експериментальних даних. Так, наприклад, приєднання до існуючих вибірки експериментальних даних за восьме березня суттєво змінило значення критичної статистики $\gamma_{28,27}$, наблизившись його до

граничного значення F –розподілення. Слід звернути увагу на те, що збільшення кількості приєднаних до існуючої вибірки даних (збільшення ступеня свободи чисельника) приводить до зменшення значення показника F –розподілення, збільшуючи можливість отримання об'єднаної вибірки з неоднорідними даними. Тому щоденне приєднання одного значення експериментальних даних ($n_2=1$) є вдалим рішенням, яке зменшує можливість отримання неоднорідності даних і, в той же час, коригує значення коефіцієнтів Q_1 , Q_0 з урахуванням змін умов виробництва продукції, що відбулися протягом доби. Зосередимо увагу на факті, що кожна перевірка даних на однорідність використовує модель, щойно поновлену на попередньому кроці. Це значить, що дані нового поновлення ураховують лише останні зміни, які відбулися на об'єкті контролю, тобто суттєвого накопичення змін в електроспоживанні об'єкта не відбувається. Таким чином, існуючий факт щоденного коригування (поновлення) моделі в процесі контролю енергоефективності знижує можливість виникнення неоднорідності даних, дозволяє врахувати в унормованих значеннях питомого енергоспоживання всі зміни, що накопичилися на момент коригування, і відокремити при наступному контролі дію змін, які щойно відбулися протягом останньої доби. Це має важливе значення для підвищення інформативності та оперативності контролю. Аналіз даних табл. 2 свідчить про те, що на початку березня місяця проявляється тенденція до підвищення як постійної складової електроспоживання (Q_0) так і значення $|Q_1|$ при змінній складовій, що потребує від керівництва шахти оперативного аналізу причин цих змін. На прикладі, що розглядається, проаналізуємо зміни у взаємному розташуванні регресійних прямих відомої $\hat{W}_B(X)$ та нової $\hat{W}_3(X)$ моделей. Врахуємо зміни, що відбулися протягом десяти днів березня місяця. Рис. 3 ілюструє залежності $\hat{W}_B(X)$ – пряма 1, та $\hat{W}_3(X)$ – пряма 2, що відповідає даті десяте березня. На рис. 3.показані також точки фактичного питомого енергоспоживання.

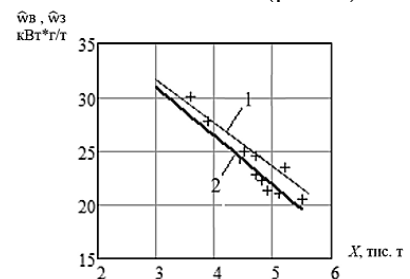
Видно, що протягом десяти днів відбулися достатнього суттєві зміни в розташуванні прямих ліній відомої і нової моделей. Відхилення зумовлені фактичними змінами в електроспоживанні, що відбулися в березні місяці. Зрозуміло, що унормовані значення споживання електроенергії, отримані за результатами точкового прогнозу, будуть різними. Очевидно, що унормовання доцільно здійснювати на моделі, яка забезпечує більшу точність прогнозування.

Оцінимо точність ретроспективного точкового прогнозу унормованих значень щоденного електроспоживання об'єкта в березні місяці при використанні регресійної залежності, розрахованої за даними, отриманими у лютому місяці (варіант застосування відомого способу [4]). Для порівняння результатів прогнозу розглянемо також варіант поновлення регресійних залежностей новим способом. Точність прогнозування оцінимо на основі співставлення фактичних значень питомого енергоспоживання W з унормованими значеннями, розрахованими з використанням залежності (1) і урахуванням обсягів щоденного видобутку вугілля в березні місяці. Унормовані показники енергоспоживання в перших числах березня місяця при застосуванні відомого способу розрахунку $\hat{W}_B$ і нового варіанту $\hat{W}_3$ наведені в табл. 2. Для розглянутих варіантів розраховані також значення абсолютних похибок $\Delta\hat{W}_B = W - \hat{W}_B$ та $\Delta\hat{W}_3 = W - \hat{W}_3$ (рис. 3).

Рис.3. Залежності оцінок питомих витрат електроенергії $\hat{W}_B$, $\hat{W}_3$ від обсягу видобутку вугілля X («+» – точки фактичного питомого енергоспоживання)

Із табл.2 видно, що середні значення похибки прогнозу в перших числах березня місяця (за десять $N=10$ діб) в новому варіанті поновлення $\sum_N |\Delta\hat{W}_3| / N$ нижчі аналогічних значень для відомого варіанту $\sum_N |\Delta\hat{W}_B| / N$ ($\sum_N |\Delta\hat{W}_3| / N = 1,037$, $\sum_N |\Delta\hat{W}_B| / N = 1,263$). Відносне значення $\mathcal{E}$

$$\mathcal{E} = \frac{\sum_N |\Delta\hat{W}_B| - \sum_N |\Delta\hat{W}_3|}{\sum_N |\Delta\hat{W}_3|} \cdot 100\%$$



склало $\xi = 15\%$. Це свідчить про те, що новий спосіб поновлення регресійної моделі підвищує точність точкового прогнозу питомого енергоспоживання в розглянутому прикладі на 15%. Як результат, підвищується точність унормування і, відповідно, точність контролю енергоспоживання. Оцінімо також інший показник точності прогнозу, наведений в [11], %

$$\xi = \frac{1}{N} \sum_N |\Delta \hat{W}_3| / W.$$

Для відомого варіанту отримаємо $\xi = 5.6\%$. У випадку поновлення регресійної моделі $\xi = 4.7\%$. Видно, що обидва варіанти забезпечують високі значення точності прогнозу, але значення ξ у новому варіанті дещо нижчі, що свідчить про доцільність виконання процедури поновлення регресійної моделі в розглянутій ситуації.

Якщо фактичне значення прогнозованого параметру невідоме (перспективне прогнозування), то точність інтервального прогнозу пов'язують із точністю визначення меж довірчого інтервалу, визначеного для прогнозованого значення питомого споживання енергії. Розташування меж залежить як від значення точкового прогнозу енергоспоживання (оцінки середнього значення питомого енергоспоживання для заданого об'єму випуску продукції), так і відхилення від цього значення, пов'язаних з оцінкою дисперсії вибірки. Табл.2 ілюструє той факт, що введення у вибірку нових експериментальних даних і вилучення застарілих (що здійснюється в процесі коригування даних і поновлення регресійної моделі новим способом) супроводжується не тільки зміною коефіцієнтів моделі Q_0 та Q_1 , але і зміною дисперсії вибірки. Якщо зміна коефіцієнтів впливає тільки на точність точкового прогнозу (як показано вище), то на точність інтервального прогнозу впливає як зміна коефіцієнтів, так і зміна дисперсії. Із наведеного прикладу видно, що збільшення кількості знову введених і вилучених із вибірки даних приводить до суттєвих відмінностей в значеннях як коефіцієнтів, так і дисперсій регресійних моделей. Звідси зрозуміло, що точність інтервального прогнозування віддалених в часі показників енергоспоживання знижується, причому збільшення ступеня віддаленості супроводжується зниженням точності прогнозу. Точність прогнозу підвищується, якщо вибіркова дисперсія залишається незмінною, або змінюється в незначних межах. Із табл.2 видно, що ця умова виконується для поновлених моделей, отриманих на сусідніх кроках контролю енергоефективності (наприклад, моделі, отримані третього і четвертого березня). Ступінь однорідності дисперсій (відсутності коливань їх значень в сусідніх вибірках) визначають F -критерієм однорідності дисперсій, який використовує розподілення Фішера. Для цього розраховують значення відношення дисперсій сусідніх вибірок. Чим ближче значення відношення дисперсій F до одиниці, тим більша ступінь однорідності дисперсій. Із табл.2 можна зробити висновок, що для сусідніх вибірок моделей, поновлених новим способом, ця вимога виконується (що зумовлено незначними змінами складу сусідніх вибірок), тобто прогнозування на один крок контролю (прогнозування енергоспоживання на наступний день, здійснене з використанням поновленої моделі, отриманої сьогодні) забезпечує підвищення точності визначення меж довірчого інтервалу, що підтверджує доцільність поновлення регресійної моделі новим способом. Відносна стабільність дисперсій сусідніх вибірок підтверджується також незначною відмінністю середньоквадратичних відхилень δ_0 та δ_1 коефіцієнтів регресійних моделей Q_0 та Q_1 в регресійних рівняннях, поновлених новим способом (табл. 2). Результати дослідження, викладені в статті, є особливо важливими для вирішення завдань підвищення достовірності контролю енергоспоживання.

Запропонована в [10] процедура щоденного поновлення регресійної моделі та перевірки однорідності даних вибірки потребує виконання значної кількості розрахунків. Розуміючи можливість виникнення проблем при виконанні значних обсягів обчислень, авторка роботи намагалася звести процес до виконання однотипних операцій розрахунку параметрів лінійних регресійних залежностей шляхом застосування матричного аналізу та відомих методів математичної статистики. Ускладнення процедури контролю енергоефективності компенсується підвищенням його точності, оперативності та інформативності.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Недолік відомого підходу до поновлення моделі полягає у тому, що дані, які використовують для побудови регресійної залежності, не перевіряють на однорідність. Це може привести до зниження точності прогнозу при визначенні унормованих значень енергоспоживання. Крім того, проміжки часу між контролюючими діями і періодом формування регресійної моделі, за допомогою якої здійснюється контроль, можуть

бути значними. Затримка контролю особливо відчутна в кінці терміну контролю. В кінцевому інтервалі контролю унормовані значення питомого енергоспоживання не містять ряду складових, зумовлених змінами, які відбулися на об'єкті контролю, що знижує точність їх визначення.

Співставлення показників точності ретроспективного точкового прогнозу унормованих значень щоденного електроспоживання вугільної шахти при використанні відомого і нового способів поновлення регресійної моделі свідчать про те, що в розглянутому періоді (десять діб березня місяця) середні значення похибки прогнозу в новому варіанті поновлення моделі нижчі аналогічних значень, визначених для відомого варіанту, а відносне значення зниження похибки склало 15%. Таким чином, в розглянутій ситуації підтверджена доцільність застосування нового способу поновлення регресійної моделі.

Запропоноване обмеження кількості експериментальних даних приєднаної вибірки ($n_2 = 1$) супроводжується збільшенням значення показника F – розподілу, що зменшує можливості отримання об'єднаної вибірки з неоднорідними даними, визначеної методом Г.Чоу. Це зменшує можливість зміни структури регресійної моделі, зумовленої неоднорідністю даних, що спрощує процедуру формування унормованих значень електроспоживання. Наступні дослідження особливостей контролю енергоефективності виробничих процесів будуть спрямовані на підвищення достовірності контролю в умовах застосування статистичного методу унормування показників енергоефективності.

Список літератури

1. ISO 50001:2018, IDT. Energy Management Systems – Requirements with Guidance for Use – Guidelines (2018). Retrieved from <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:50001:ed-2:v1:en>.
2. Sinchuk, O., Strzelecki, R., Sinchuk, I., Beridze, T., Fedotov, V., Baranovskyi, V., & Budnikov, K. (2022). Mathematical model to assess energy consumption using water inflow-drainage system of iron-ore mines in terms of a stochastic process. *Mining of Mineral Deposits*, 16 (4), pp. 19 – 28. DOI: 10.33271/mining16.04.019
3. Sinchuk, O., Budnikov, K., Sinchuk, I., Beridze, T., Filipp, Y., Dozorenko, O., & Strzelecki, R. (2021). Assessment of the factors influencing on the formation of energy-oriented modes of electric power consumption by water-drainage installations of the mines. *Mining of Mineral Deposits*, 15 (4), pp. 25 – 53. DOI: 10.33271/MINING15.04.025
4. Системи енергоменеджменту та їх математичне забезпечення: навч. посібник/ Г.Г. Півняк, С.І. Випанасенко, О.І. Хованська, Ю.В. Хацкевич, Н.С. Дрешпак. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 214 с.
5. Sinchuk, O., Strzelecki, R., Beridze, T., Peresunko, I., Baranovskyi, V., Kobeliatskyi, D., & Zapalskyi, V. (2023). Model studies to identify input parameters of an algorithm controlling electric supply/consumption process by underground iron ore enterprises. *Mining of Mineral Deposits*, 17 (3), pp. 93 – 101. DOI: 10.33271/mining17.03.093
6. Sinchuk, O., Kupin, A., Sinchuk, I., Rohoza, M., Plieshkov, P. (2020). Certain aspects concerning the development of a functioning scheme of the auto-mated system to control energy flows of underground iron-ore enterprises. *Mining of Mineral Deposits*, 14 (3), pp. 101 – 111. DOI: 10.33271/mining14.03.101
7. Sinchuk, O.N., Kozakevich, I.A., Yurchenko, N.N. (2017). Sensorless control of switched reluctance motors of traction electromechanical systems. *Technical Electrodynamics*, 2017 (5), pp. 62 – 66. DOI: 10.15407/techned2017.05.062
8. Sinchuk, O., Kozakevych, I. (2019). Control system of double-rotor induction motors for hybrid vehicles. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2019 (2), pp. 72 – 78. DOI: 10.29202/nvngu/20192/11
9. Айвазян С.А. Методы эконометрики/ С.А. Айвазян. – М.: Магистр: ИНФРА-М, 2010. – 512 с.
10. Дрешпак Н.С. Питомі норми витрат енергії в задачі контролю ефективності її використання/ Н.С. Дрешпак, О.С. Дрешпак, С.І. Випанасенко// «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА» . – Запоріжжя: Національний університет "Запорізька політехніка", 2021. – № 3 (2021). – С.31-39.
11. Сак А.В. Прогнозирование и планирование экономики: Учебно-методический комплекс для студентов-Мн.:БГУИР., 2006. – 209 с.
12. Vypanasenko, S., Dreshpak, N. (2015). Informational and methodological support for energy efficiency control. *Power Engineering, Control and Information Technologies in Geotechnical Systems*, 2, 53-57.
13. Випанасенко С.І. Системи енергоменеджменту вугільних шахт: Монографія.–Д.: Національний гірничий університет. 2008.–106 с.
14. Dreshpak, N., Dreshpak, O. (2023). Parametrization of the statistical model for electrical energy efficiency control. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 96-102. Retrieved from <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/096>.
15. Дрешпак Н.С. Системи контролю енергоефективності виробничих процесів та шляхи їх удосконалення/ Н.С. Дрешпак// Електротехніка та електроенергетика. – 2020. – №1. – С.40-48.
16. ISO 50001 Benefits for Manufacturers (2019). Retrieved from <https://www.plantengineering.com/articles/iso-50001-benefits-for-manufacturers/>.
17. Palekhova, L., & Simon, S. (2016). Competitive advantages through the implementation of international energy management standards. *Bulletin of the Dnieper State Academy of Construction and Architecture*, № 3, 42-51. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/Competitiveadvantages-through-the-implementation-Palekhova-Simon/9c1feb73e964bc8b5c3b9fbabdbdb81d4484fb>.
18. Мещеряков Л.І., Випанасенко С.І., Дрешпак Н.С., Ширін А.Л. Формування структури підсистеми діагностування гірничих електромеханічних комплексів. Збірник наукових праць НГУ, -2018.-№53.-с.200-213.

19. **Дрешпак Н.С.** Облік електричної енергії в системах контролю енергоефективності її використання. Гірничі електромеханіка та автоматика / Н.С. Дрешпак, С.І. Випанасенко, О.С. Дрешпак // Гірничі електромеханіка та автоматика. – 2021. – №103. – С.20-25.

20. **Випанасенко С.І., Сатрі А.А., Дрешпак Н.С.** Електротехнологічні установки індукційного нагріву з несинусоїдальним струмом індуктора. Монографія // НТУ «ДП», 2018. – 102 с.

21. **Дрешпак Н.С.** Управління процесом індукційного нагріву із застосуванням несинусоїдального струму індуктора / Н.С. Дрешпак, С.І. Випанасенко, Л.І. Мещеряков // Електромеханічні і енергозберігаючі процеси. – 2017. – №4. – С. 75-80.

УДК 331.45.001.85

С.О. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., Г.І. ЄРЕМЕНКО, канд. техн. наук

Криворізький національний університет

О.М. КОСТЯНСЬКИЙ, канд. техн. наук, НДГРІ, Криворізький національний університет

Г.О. КОСТЯНСЬКА, адміністратор служби виробництва послуги інтернет

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ЗНИЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВИКИДАМИ ПИЛУ З АВТОДОРІГ В ОКОЛИЦЯХ ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРІВ КРИВБАСУ

Мета даної роботи спрямована на вирішення екологічних проблем в Кривбасі: захист робочого простору кар'єрів при відкритому видобутку руди від пилу з автомобільних доріг шляхом впровадження заходів по зменшенню викидів пилу при русі автосамоскидів. При цьому, під час перевезення гірничої маси автосамоскидами запропоновані заходи мають ефективно забезпечувати зниження забруднення повітря пилом навіть при несприятливих кліматичних умовах.

Методи досліджень. В роботі використовувалися методи статистично-логічного і компаративного аналізу й узагальнень щодо визначення основних параметрів викидів пилу з автодоріг кар'єру та причинних зв'язків і залежностей з урахуванням найбільш впливових факторів. Для пошуку рішення за допомогою аналітичного методу було вивчено та узагальнено існуючі заходи щодо знепилення автошляхів, інтерпретовано отриману інформацію і рекомендовано обґрунтовані рекомендації по знепиленню автошляхів.

Наукова новизна. Комплексний підхід щодо формування заходів по обробці водою автодоріг для зволоження здійснюється з урахуванням прямого переносу пилу повітрям відносно доріг якими транспортують гірничу масу автосамоскиди. При цьому параметри зволоженості визначають з урахуванням окремих кліматичних умов, присутність пилопригнічуючих добавок підсилює ефект від зволоження, а для кращого очищення повітря навколо автодоріг пропонується використання гідроксид-іонів, які можуть створюватися за допомогою нових водяних систем.

Практичне значення. Для впровадження заходів по зниженню вмісту пилу у викидах в атмосферу, особливо з поверхонь автодоріг визначено питомий обсяг витрат води для зволоження поверхні автодоріг за подальшого поглиблення кар'єру, що дозволить отримати екологічний ефект.

Результати. Запропоновано заходи з пилопригнічення робочого простору кар'єру, визначено питомий обсяг води для зволоження поверхні автодоріг у кар'єрі. Для заходів пилопригнічення величина витрат води розраховується згідно з температурою поверхні автодороги, а також рекомендовано використання пилопригнічуючих добавок, що дозволяє визначати шляхи зниження вмісту пилу у викидах в атмосферу поблизу автодоріг для умов конкретного кар'єру.

Ключові слова: пил автомобільних доріг, пилопригнічення, забрудненість повітря, заходи щодо знепилення, витрати води для приборкання викидів пилу.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-110-116

Проблема та її зв'язок з основними науковими і практичними завданнями. Майже всі процеси в гірничій промисловості супроводжуються викидами пилу і обумовлюють інтенсивне забруднення атмосферного повітря.

Один з поширених видів пилу, який зустрічається в кар'єрі і негативно впливає на навколишнє середовище – це дорожній пил. Транспортування руди автосамоскидами в кар'єрі до перевантажувальних майданчиків або концентраційних горизонтів, а порожньої породи - на відвали в суху погоду неодмінно супроводжується виділенням великої кількості пилу. Збільшення обсягу гірничої маси, що перевозиться, відповідно сприяє зростанню обсягу виділенню пилу на кар'єрних автодорогах.

До складу дорожнього пилу входить велика кількість вихлопних газів, потрапляють крихітні частинки шин, гальмівних колодок та дорожніх матеріалів, що піднімаються у повітря від руху автомобіля.

Пил погіршує санітарно-гігієнічні умови праці. При цьому, один з найбільш небезпечних забруднювачів- це мілко-дисперсний пил. Розміри частинок пилу можуть варіювати від часток мікрона до 0,1мм. Дослідження вчених показали, що шкоду здоров'ю людини завдають дрібно-дисперсні частинки з аеродинамічним діаметром менш 2,5мкм (PM2.5). Середньорічний ліміт для PM2.5 частинок, розроблений ВОЗ, становить 10 мг/куб. м [1]. Частки пилу діаметром 2,5 мікрметра або менші (PM2.5), що продукуються при русі транспортних засобів відносяться до респірабельних, тобто їх діаметр настільки незначний, що вони здатні проникнути в відділ дихальної системи людини і в кровоносне русло. Дорожній пил (має в своєму складі найдрібніші частинки кварцу) проникає у легені та діє на слизові оболонки очей, носа та горла. Забруднене повітря провокує появу серцево-судинних та інших важких захворювань у робітників кар'єра.

Висока запиленість повітря ускладнює видимість на автошляхах, особливо у темну пору доби і, як наслідок, знижує безпеку виконання транспортних робіт, що створює умови для аварійних ситуацій під час руху технологічного автотранспорту. Тому не можна ігнорувати необхідність ефективного контролю запиленості. Крім того, частина пилу виноситься з кар'єрного простору, що призводить до забруднення атмосферного повітря прилеглих територій.

Тому, не випадково однією з екологічних цілей гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) Кривбаса, в тому числі «АМКР», є зниження вмісту пилу у викидах в атмосферу, запобігання пилоутворенню на територіях прилеглих до кар'єрів та інших пилонебезпечних об'єктів ГЗК. У зв'язку з цим проблема пилоподавлення на кар'єрних автошляхах є актуальною.

Аналіз досліджень та публікацій. Слід зазначити, що у вирішенні екологічних завдань з пилоподавлення на залізорудних кар'єрах може стати в нагоді досвід боротьби з забрудненням атмосфери на тотожних гірничорудних підприємствах. Так, експериментальні дослідження пилоподавлення на кар'єрних транспортних комунікаціях проводилися на двох кар'єрах в Узбекистані, що знаходяться у спекотному поясі. Вивчалася частота пиловиділення у часі та після нанесення пилоподавляючих засобів. Надходження пилу в атмосферу спостерігалось на кар'єрних автомобільних дорогах та вантажно-розвантажувальних пунктах [2].

Серед факторів забруднення довкілля за останні роки автотранспорт розглядається як найбільш потужне джерело забруднення атмосферного повітря великих міст і впливу на стан здоров'я населення. Значення індексу забруднення атмосферного повітря (ІЗА) у 2021 році в порівнянні серед міст України, де проводились спостереження, становило зокрема для Кривого Рогу- 12,1. При тому, що рівень вважається низький при ІЗА менше 5,0; підвищений – при ІЗА від 5,0 до 7,0; високий – при ІЗА від 7,0 до 14,0; дуже високий – при ІЗА від 14,0 та вище [3].

Викиди пилу за 2021 р. у Кривому Розі склали 31,8 тис.т [4].

Спостереження за забрудненням повітря в Кривому Розі ведуться на 5 стаціонарних постах (ПСЗ). Згідно щомісячного бюлетеня забруднення атмосферного повітря у Кривому Розі за жовтень 2023р. протягом місяця спостерігалось перевищення гранично допустимих максимально разових концентрацій по пилу. Середньомісячна концентрація пилу перевищувала на всіх п'яти ПСЗ і становила 2,00 ГДК сер. доб. [5].

Загальні вимоги щодо охорони атмосферного повітря викладені в матеріалах посібника [6].

Зрозуміло, що несприятливі умови для довкілля пов'язані з забрудненням атмосферного повітря найбільше торкаються тих місць, які знаходяться в безпосередній близькості до ГЗК.

Задля вирішення екологічних програм в Кривбасі було прийняте рішення міської ради про затвердження екологічної програми 2016-2025 р.р. [7], де одним із важливих питань було пилопригнічення і передбачено здійснення заходів щодо зниження викидів твердих суспензованих частинок (пилу), що спричиняють забруднення атмосферного повітря,

Як правило, на кар'єрах Кривбаса з метою зменшення пилоутворення здійснюється зволоження поверхні технологічних автодоріг. Щодо цього заходу представник японської компанії-виробника спецтехніки Komatsu Греєм Армстронг (Graeme Armstrong) згоден з тим, що без зволоження кар'єрних доріг може виникнути надмірна запиленість. Крім впливу на довкілля, особливо там, де кар'єри розташовані неподалік міських районів, погана видимість знижує безпеку дорожнього руху. Крім того, запиленість може призвести до збільшення витрат на техніч-

не обслуговування, оскільки повітряні фільтри або оливи автотранспорту необхідно буде міняти частіше [8].

Однак, з'ясувалося, що пилоподавлення водою на кар'єрах у спекотному поясі (умови якого тотожні кліматичним умовам в літній час на кар'єрах Кривбаса) не дає належного ефекту. Більш доцільними є засоби, які зберігають пиломіцнотворальні або пилопригнотворальні властивості протягом декількох днів, а то й місяців [2]. Хоча економічні показники на разі є вирішальними, важливий також кінцевий результат- ефективність придушення пилу без зміни технології видобутку корисної копалини.

Постановка задачі. Таким чином, задача підтримки нормального екологічного стану атмосфери кар'єрів вимагає пошуку нових можливостей ефективно боротися з пилом у кар'єрах, а значить покращувати санітарно-гігієнічні умови праці гірників, які перебувають під постійним впливом шкідливого виробничого фактору – підвищеного рівня забрудненості повітря пилом, попереджати небезпечні захворювання, що виникають від потрапляння пилу в організм людини, а також продовжувати термін служби обладнання та техніки.

Викладення матеріалів та результати. Експлуатація кар'єрних автошляхів є невід'ємною частиною виробничого процесу технології відкритої розробки. При чому збільшення обсягів гірничої маси, що перевозиться, відповідно сприяє зростанню пиловиділення з кар'єрних автошляхів. Винесення дрібних мінеральних частинок з поверхні автошляхів, що супроводжує рух автосамоскидів, призводить до підвищення запиленості повітря та забруднення прилеглої території.

Слід зазначити, що першою вимогою при впровадженні стандарту ISO 14001 на ГЗК є наявність на підприємстві екологічної політики, на підставі якої розробляються екологічні цілі та завдання, а їх виконання постійно контролюється.

Величина концентрації пилу в атмосфері кар'єру важлива для об'єктивної оцінки стану її забруднення, розробки необхідних заходів щодо зниження пилових викидів та покращення умов праці робітників кар'єру.

Для зменшення запиленості на будь-яких кар'єрних дорогах можуть використовуватися такі засоби

- використання води або гігроскопічних речовин для зменшення утворення дорожнього пилу. Екологічні служби кар'єра повинні стежити за вологістю пилу на дорогах, особливо при збільшенні швидкості руху повітря;

- використання активних речовин, які розчиняються у воді покращує збереження вологості пилу на дорогах;

- зміна режиму роботи так, щоб при збільшенні швидкості руху повітря по можливості зменшити діяльність, що призводить до утворення пилу, що може призвести до потрапляння більшої кількості пилу в потік повітря.

В умовах «АМКР» в ОВД «Реконструкція та розвиток кар'єрів №2-біс та №3 гірничого департаменту ПАТ «АМКР» для підтримки продуктивності та видобутку сирової руди 30 млн.т на рік в період з 2020 р.- до кінця відпрацювання кар'єрів №2-біс та №3» в Інгuleцькому та Центрально-міському районах міста Кривого Рогу передбачається комплекс рішень для запобігання та зменшення негативного впливу на довкілля, а саме: при експлуатації кар'єрів №2-біс та №3 використання вод кар'єрного водовідливу для заходів з пилопригнотворення- полив кар'єрних автодоріг. Розглянуто ефективні технології щодо зменшення пиління на різних поверхнях кар'єру з використанням в'язучих речовин (бішофіт). Тому, одним із заходів, що сприяє підтримці нормального стану атмосфери на дорогах, є застосування бішофіту-розчину солей магнезії, який розпорошують на поверхню. Цей розчин позитивно зарекомендував себе для закріплення поверхонь, що пилять. До того ж не такий корозійний.

У зв'язку з цим, на кар'єрах часто використовують важливу властивість хлористого магнезії, яка має суттєве значення при експлуатації автомобільних доріг з нежорстким покриттям – найгірша порівняно з іншими солями розчинність у воді.

Зазначена властивість позитивно впливає на процес омонолічування матеріалу в щелепній суміші та його механічне зміцнення з її складу дрібних сполучних частинок при опадах у вигляді злив. Дворазова обробка полотна дороги: вдень за високої температури, а вночі, коли температура повітря спадає дозволяє знизити пиління в 5-6 разів [9].

Поряд з цим, слід зазначити, що застосовувати розчин бішофіту окремо в якості змочувача пилу недоцільно через велику його поверхневу енергію, обумовлену великим коефіцієнтом поверхневого натягу, яка на 10-20% більше, ніж у води. Його слід використовувати після попереднього змочування щебеневі суміші технічною водою, що в 8-10 разів підвищує швидкість фільтрації його в нижні конструктивні шари і водночас підвищує запас води для капілярного змочування щебеневі суміші в шарі зносу дороги. До того ж, максимальний об'ємний вміст розчину в щебеневі суміші повинен становити 14-16% при питомій його щільності 1170-1260 кг/м³ [9].

Однак дослідження щодо вибору та розробки пилоподавлюючих розчинів для боротьби з пилом на кар'єрних автошляхах, показали, що пилозв'язувальна речовина не може забезпечити запобігання пиловиділенню з автодороги протягом тривалого часу, якщо влаштування дороги не відповідає існуючим вимогам. Це зумовлено тим, що розчин утворює тонку плівку, яка легко пошкоджується колесами автосамоскидів. Виходячи з цього, слід зазначити, що ефективність будь-якого пилоподавлюючого розчину залежатиме також від дорожнього покриття.

У зв'язку з цим будівництво доріг необхідно проводити відповідно до чинних нормативних документів та інструкцій з будівництва кар'єрних доріг. Ці інструкції передбачають відсіпання полотна дороги з кількох шарів. Спочатку - це шар щебеню фракції 70-80 мм. Поверх цього шару формують шар щебеню фракції 30-40 мм, зверху якого насипають шар щебеню-клинцю з розміром частинок близько 10 мм. Покриття, що утворилося, трамбують. Тільки після цього його необхідно обробити розчином з оптимальною витратою на 1м² дороги, щоб розчин міг зволожити поверхню полотна до максимальної молекулярної вологості на глибину 40-50 мм і більше [10].

Оскільки полотно дороги при проходженні автомобіля постійно прогинається, а матеріал знаходиться в складному напруженому стані, то для забезпечення заданої міцності шару зносу у відсіві щебеня має бути присутня доля (4-12%) пилоподібних часток. Окрім цього в шар додатково потрапляє до 80% пилоподібних часток розміром до 0,25мм, що утворюються при стиранні колесами автомобілів щебеню. При проходженні автосамоскидів маса пилоподібних частинок починає рухатись і піднімається в повітря забруднюючи атмосферу [9].

Наслідком тиску коліс важких автосамоскидів на поверхню кар'єрних технологічних автодоріг є подрібнення щебеня, що призводить до викиду пилу в повітря. В якості поширеного заходу для боротьби з таким негативним явищем використовують воду або водні розчини солей магнію або кальцію, які утворюють навколо частинок пилу в щебеневі суміші полотна дороги рідкі оболонки (манжети).

При зовнішній дії (тиску коліс) на порошок відстань між ними скорочується внаслідок чого відбувається ущільнення щебеню. Попереднє введення води в зміцнювальний шар щебеневі дороги скорочує час просочення загущеним до максимальної концентрації розчином. Таким чином, загущення сольового розчину дає змогу не тільки підвищити міцність рідких містків (манжетів) між мінеральними частинками, а й пов'язувати частки пилу в агрегати вже містками солей, що сорбовані на їхній поверхні в разі випаровування вологи зі щебеневі суміші [11].

При цьому, концентрація солей магнію або кальцію в розчині для поливу автодоріг така, що утворення шару води на поверхні частинок пилу зміцнювального шару щебеневі дороги дає змогу збільшити швидкість його просочення загущеним розчином солі у 8-10 разів [11].

Відомо, що в околицях кар'єрів поширеним є розповсюдження пилової хмари від щебеневих доріг в горизонтальній площині, оскільки підняті автомобілями мінеральні частки мають при подальшому плануванні більшу швидкість у горизонтальній площині, ніж у вертикальній. Тобто, найбільш небезпечним є розповсюдження пилової хмари в околицях щебеневих доріг в кар'єрі в горизонтальному напрямку [9]. Тому обробку поверхні автодоріг по яким перевозиться гірнична маса автосамоскидами водою або пилоподавлюючим розчином важливо здійснювати з врахуванням напряму переносу пилу при виконанні заходів по знепиленню автодоріг.

У зв'язку з різноманітністю умов експлуатації автодоріг у кар'єрі, витрати води на зволоження поверхні доцільно визначити розрахунковим шляхом.

Величина зволоження в значній мірі пропорційна витратам води. Питомі витрати води на пилопригнічення пов'язані з інтенсивністю її випаровування, яке залежить від метеорологічних умов і можуть бути визначені [12] за відомою формулою

$$q_{p,d} = 53 \cdot 10^{-5} \left(1 + 1,55 \cdot \frac{T_n - T_2}{v_{10}^2} \right) \cdot (l_n - l_2) \cdot v_{10} \cdot K_d,$$

де $q_{p,d}$ - питомі витрати води на пилопригнічення, кг/м^2 ($\text{м}^2 \times \text{год.}$); T_n - температура поверхні дороги, градус; T_2 - температура повітря на висоті 2 м від поверхні дороги, градус; v_{10} - швидкість руху повітряних потоків на висоті 10 м від поверхні дороги, м/с; l_n - пружність насиченої пари при температурі поверхні дороги, Па; l_2 - пружність насиченої пари на висоті 2 м від поверхні дороги, Па; K_d - коефіцієнт, враховуючий додаткові витрати, пов'язані з поливанням узбіччя, винесенням води транспортом, що проходив і т.д. [12].

В липні місяці в Кривбасі денна температура витримується в середньому на рівні 28°C .

Температурний діапазон нормальної експлуатації автомобільних доріг визначається в основному їх технічними характеристиками. Порівняння середньомісячних значень температури повітря й температури поверхні ґрунту показує, що температура ґрунту в літні місяці вища, ніж температура повітря, а в зимові місяці може бути нижчою за температуру повітря. Згідно з даними роботи [13] математичне сподівання приросту температури дорівнює $\Delta T = T_n - T_2 = 3,6^\circ\text{C}$.

Підставляючи в вищенаведену формулу відомі параметри для денних умов, отримаємо, кг/м^2

$$q_{p,d_1} = 53 \cdot 10^{-5} \left(1 + 1,55 \cdot \frac{3,6}{3,8^2} \right) \cdot (4630 - 3780) \cdot 3,8 \cdot 1,0 = 1,582.$$

В липні місяці середня нічна температура дорівнює 19°C . Розрахуємо витрати води на поливку автодоріг в кар'єрі у нічний час, кг/м^2

$$q_{p,d_2} = 53 \cdot 10^{-5} \left(1 + 1,55 \cdot \frac{3,6}{3,8^2} \right) \cdot (2180 - 1850) \cdot 3,8 \cdot 1,1 = 0,614.$$

Середні добові витрати води на пилопригнічення становлять $(q_{p,d_1} + q_{p,d_2})/2 = (1,582 + 0,614)/2 = 1,1 \text{ кг/м}^2$. Таким чином можливо розрахувати питомі витрати води для знепилення автодоріг кожного кар'єру на завданий період, наприклад таких, як ПівдГЗК, ІнГЗК та інші.

Важливо обґрунтувати фізичний зміст механізму за допомогою якого очищується повітря, що дозволить ефективніше очищати навколишній простір і від дорожнього пилу. Як було відомо, для самоочищення повітря від шкідливих речовин потрібен гідроксидіон – негативно заряджений іон гідроксиду (OH^-). Значна частина пилу, який викидається в атмосферу, вступає з гідроксидом в хімічні реакції. Однак частка ця, на думку вчених, відносно невелика.

Як вважалося до останнього часу, для ефективного вироблення гідроксиду потрібне сонячне світло, або присутність металів. Однак у 2023 році міжнародна група хіміків з Ізраїлю, Китаю, США, Франції та Швейцарії повідомила, що гідроксид-іони можуть виділятися з води й у темряві. Виявилось, справа не в світлі, а в контакті повітря і води. На межі двох середовищ, водного і повітряного, утворюється слабке електричне поле. Воно якраз і впливає на вироблення гідроксид-іонів незалежно від часу доби. А гідроксид-іони у свою чергу очищають нижній шар атмосфери від шкідливих речовин. Дослідження [14] показали, що реакції можуть відбуватися спонтанно в невеликих краплях води. Має місце спонтанне утворення міжфазних гідроксильних радикалів ($\text{OH}^\bullet$) з водних крапель в умовах навколишнього середовища [14].

Гідроксильний радикал $\text{OH}^\bullet$ є ключовим окислювачем. Помірна швидкість утворення $\text{OH}^\bullet$ у краплях, відповідних атмосфері, порівняна або значно вища, ніж швидкість утворення відомих об'ємних водних джерел [14]. Оскільки водні краплі поширені у атмосфері повсюдно, це джерело радикалів $\text{OH}^\bullet$ впливає на якість повітря. Однак для залучення цього принципу очистки повітря в умовах кар'єру потрібно використовувати пристрої, які продукували би гідроксид-іони в потрібній кількості.

В сучасних умовах заходи боротьби з викидами пилу припускають його приглушення за допомогою туманотвірної гармати. Існуючі засоби для придушення пилу (шляхом туманотворення) також називають: водяні гармати, системи для пилозаглушення.

Туманотвірні гармати або системи знижують концентрацію пилу, покращують якість повітря і позитивно впливають на гігієну робочого середовища, зберігають здоров'я працівників підприємства. Пилоподавлювач виробляє ультра-легкий водяний туман, який притягує пил. Частинки води налипають на зважені частинки пилу, збільшуючи їх вагу притягаючи їх до землі. Системи туманотворення ефективно справляються з вдихуваними частинками пилу розмі-

ром 0,1–1000 мікрон: тому, що пил опиняється в щільному водяному тумані [15]. В результаті зрошення досягається пилопригнічення в навколишньому просторі.

Подібні установки призначені для знепилювання повітря від будь-яких джерел пилоутворення [15]. Такі системи справляються також з придушенням пилу в гірничо-добувній промисловості. Вони можуть встановлюватися та використовуватися для пилопридушення на кар'єрах, в тому числі на кар'єрних автошляхах. Системи пилопригнічення і туманоутворення високого тиску допоможуть знизити забруднення пилом машин і обладнання та підвищити термін їх роботи, оскільки запорошене гірниче обладнання частіше виходить з ладу і тим самим скоротити витрати на його додатковий ремонт.

Таким чином, системи туманоутворення є одним з ефективних видів устаткування для пилопригнічення (рис. 1). Однак треба враховувати, що в умовах кар'єру іноді діють досить сильні вітрові потоки, які можуть зносити водяний туман в іншому напрямку.

Існують також альтернативні способи знепилювання. Властивості мікроводоростевих штамів можуть бути використані для вирішення питань зв'язування пилу, що виділяється при відкритій розробці родовищ корисних копалин.

На ВАТ «Південний ГЗК» проведено дослідження [16], щодо закріплення пильних поверхонь шламосховищ з використанням суспензій мікроводоростей. Водорості мають слизисті чохла-оболонки й у такий спосіб діють на пісчаники шляхом їх склеювання та механічного їх скріплення. Відомо, що загальна довжина водоростей у поверхневих нальотах пісків досягає 39,8–65,4 м на 1 см² піщаної поверхні.

Для досліджень [16] було прийнято штами синьо-зелених і зелених водоростей. З метою інтенсифікації пилосв'язувальних властивостей мікроводоростей до їхнього складу додавалася бактерія *Pseudomonas*.

Органічні продукти життєдіяльності мікроводоростей представлені речовинами, що, потенційно можуть впливати на процеси пилосв'язування.

Результати показали, що суспензія *Nostoc muscorum* і композиція суспензій *Nostoc muscorum* і *Pseudomonas* здатні збільшити стійкість пилових агрегатів до вітрової ерозії – у 10–30 разів. *Lyngbya* і *Anabaena* збільшують стійкість агрегатів до вітрової ерозії – у 5–9 разів.

Результати досліджень свідчать, що водяні суспензії мікроводоростевих штамів володіють пилосв'язувальними та склеювальними властивостями [16].

У згаданому дослідженні встановлено, що на поверхнях утворюються покриття, механічна міцність яких при витраті суспензій 5–6 л/м² складає 0,7–1,2 МПа. Товщина кірки з часом (50 діб) збільшувалася. При цьому відбувається коагуляція пилоподібних частинок порід з подальшим утворенням міцного адгезійного зв'язку між гірською породою і суспензією мікроводоростей за рахунок проходження між ними реакції поліконденсації [16].

Таким чином, результати досліджень свідчать, що водяні суспензії можуть бути використані для боротьби з пилом, що виділяється в процесі транспортування гірничої маси автосамоскидами у кар'єрі і можуть замінити інші засоби хімічного походження.

Ефективні методи зниження вмісту пилу в просторі кар'єра необхідно знаходити шляхом розроблення нових засобів пилопригнічення, враховуючи, що за обсягом забруднення пил є одним з основних забруднювачів кар'єрного повітря. При цьому запропоновані технічні рішення повинні забезпечувати безпечність оточуючого природного, техногенного середовища, а також місцевого населення, яке мешкає поблизу даного об'єкта (кар'єра) [17].

Висновки і напрямки подальших досліджень. Задача підтримки нормального екологічного стану атмосфери вимагає пошуку нових можливостей ефективно боротися з пилом у кар'єрі, а значить покращувати санітарно-гігієнічні умови праці гірників, продовжувати термін служби обладнання та техніки, а також попереджати небезпечні захворювання, що виникають від потрапляння пилу в організм людини. Можливий спосіб вирішення питання лежить в площині створення пристрою, що ефективно формує водяний струмінь з отриманням навколо нього негативно заряджених гідроксид-іонів, виникаючих через контакт наявних у повітрі газів і крапельок водяної пари. При цьому роботу по пилопригніченню навколо автодоріг потрібно проводити на всіх кар'єрах Кривбаса.



Рис. 1. Система пилопригнічення для кар'єру

Список літератури

1. Обережно, пил [електронний ресурс]: VENTS Magazine: грудень 2017 / Боярка, 2017.- С. 16-19.- Режим доступу до журналу: ukrblog.vents.ua/vents-magazine/vents-magazine-2-hruden-2017-rik.html#Vents/18-19
2. **Батруков М.А.** (Васильчевское карьероуправление) Экспериментальные исследования пылеподавления на карьерных транспортных коммуникациях. / **М.А. Батруков** //IV научно-техническая конференция по карьерному транспорту. Тезисы докладов.- 1978- С. 137-138.
3. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. 514 ст.
4. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2022 рік/ м. Дніпро, 2023.- 309 с.
5. Якість повітря у Кривому Розі у жовтні: [електронний ресурс] / 1 Первой городской. 12. 11.2023, 10:00.- Режим доступу до журналу <https://one.kr.ua/news/50232>
6. **Діяльність** з охорони атмосферного повітря на підприємстві. Посібник. /TECH-MEDIA GROUP, 2022 р.- 366 с.
7. Рішення міської ради від 28.09.2016 р. № 901 «Про затвердження міської програми вирішення екологічних проблем Кривбасу та поліпшення стану навколишнього природного середовища на 2016- 2025 роки» / Кривий Ріг: Міська рада.- 2016.
8. Дорожные артерии карьеров [електронний ресурс]/ 27.08.2021 г./ Режим доступу <https://mcet.com.ua/ru/dorozhnye-arterii-karerov/>
9. **Нестеренко О. В.** Исследования по пылеподавлению на щебеночной автодороге / **О. В. Нестеренко, Т. А. Комиссаренко, Н. В. Домничев** //ScientificJournal «ScienceRise».- 2017.- №11(40).- С 48-53.
10. **Тыщук В.Ю.** Разработка и исследование средств пылеподавления на карьерных автодорогах на основе микрокапсулированных растворов/ **В.Ю. Тыщук** //Гірничий вісник. Сб. наукових праць, вип. 96.- Кривий Ріг.- 2013.- С. 225-228.
11. Связывание частиц пыли мостиками жидкостей при ее загущении / Нестеренко О.В. [та інші] // КНУ Гірничий вісник, вип. 101.- Кривий Ріг.- 2016.- С. 153-157
12. Борьба с пылью в рудных карьерах / В.А. Михайлов [и др.]- М.: «Недра», 1981.- 262 С.
13. **Карюк А.Н.** Методика оцінювання температурного режиму покриття автомобільних доріг/ **А.Н. Карюк, Б.В. Савенко**// Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. ПолтНТУ. Вип. 1 (46). – Полтава.- 2016. – С. 246-254.
14. Самопроизвольное темное образование радикалов ОН на границе атмосферных капель воды /Канвэй Ли [та інші], ред. Марка Тименса // Каліфорнійський університет в Сан-Дієго, Ла Хойя, Каліфорнія.- 03.04.2023. - Режим доступу <https://inscience.news › article › chemistry-and-materials>
15. Приглушення пилу та запахів. Придушення пилу та запахів за допомогою систем туманоутворення /ТОВ «Юнісол Україна» [електронний ресурс]// Режим доступу <https://unisol.in.ua/ua/p953167983-pushki-dlya-pylepodavleniya.html>
16. **Тыщук В.Ю.** Використання засобів біотехнології для пилоподавлення у кар'єрах / **В.Ю.Тыщук** // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Сталий розвиток промисловості і суспільства». ДВНЗ «Криворізький національний університет».- Кривий Ріг. – 2014.-С. 117-118.
17. **Перегулов В.В.** Проектирование соблюдения наиболее общих принципов/ **В.В. Перегулов, В.В. Аблец** // Вісник КНУ, вип. 31.- Кривий Ріг.- 2012.- С. 87-93.

УДК 622.235: 622.271

Д.Ю. МАЛИХ, гірн. інж., заст. ген. директора з виробництва
ПАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат»
Г.І. ЄРЕМЕНКО, канд. техн. наук, доц., Д.А. ТІТОВ, магістр, аспірант
Криворізький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ ІМПУЛЬСНОГО ВИБУХОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПОРОДНОГО МАСИВУ, ЩО РУЙНУЄТЬСЯ ГРУПАМИ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ЗАРЯДІВ

Основною метою дослідження є вдосконалення математичної моделі, а також уточнення розрахунків при математичному моделюванні взаємодії свердловинних зарядів, у яких частини вибухової речовини розосереджені по довжині свердловини інертним матеріалом, і які підриваються послідовно. При цьому проаналізовано особливості динамічного навантаження скельного масиву, який підривається, в залежності від послідовності підривання цих зарядів та їх частин. Це уточнення стосується удосконалення методики параметричних розрахунків і спрямоване на вирішення актуальної проблеми – зниження питомої витрати вибухових речовин для руйнування скельних гірських порід.

Методами дослідження є аналіз геомеханічних процесів математичним моделюванням динамічного напруження породного масиву вибухом на відкритих гірничих розробках.

Наукова новизна дослідження полягає в уточненні закономірностей взаємодії енергії вибуху свердловинних зарядів спеціальної конструкції з оточуючим їх скельним масивом.

Практичне значення. Подальший розвиток і виробниче застосування результатів досліджень забезпечить значне зниження собівартості залізничної продукції за рахунок підвищення ефективності бурових і вибухових робіт у залізничному кар'єрі.

Результати. Для теорії і практики ведення вибухових робіт важливо знати особливості формування і взаємодії силових полів свердловинних зарядів ВР, які підривають із затримкою. Основну роль в процесі руйнування гірського масиву за цих умов відіграє конструкція підричних свердловинних зарядів. Підбором мас зарядів з різним співвідношенням їх частин в свердловинах послідовних рядів і варіюванням тривалості затримки між вибухами можна регулювати процес вибухового навантаження в залежності від конкретних гірничо-геологічних умов ведення підричних робіт. За рахунок зміни способів формування і порядку підривання зарядів ВР в руйнованому середовищі можна впливати на процес руйнування, знаючи особливості формування силових полів. З огляду на часові та геометричні характеристики породного масиву, можна припустити, що його напружений стан буде повністю відповідати фізичним параметрам інтегральної зони, за яких втрата енергії вибухових хвиль мінімізується. Отримані результати можуть бути використані для розробки вибухових технологій, заснованих на руйнуванні гірського масиву, приведення його попередньо в напружений стан від вибуху зарядів ВР, конструкція яких пропонується авторами даного дослідження.

Ключові слова: гірська порода, вибух, вибухове руйнування, скельне середовище, свердловинні заряди.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-116-121

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Особливості та варіативність технології БПР неминує ускладнюють параметричне її обґрунтування внаслідок фактичної неможливості визначення достовірно повного тензору напруженого стану гірського масиву при його динамічному навантаженні. У зв'язку з цим фактично всі відомі на сьогоднішній день математичні моделі вибуху у виключно статистично визначеному кристалічному середовищі є певною мірою хибними та вимагають у кожному конкретному випадку належної параметричної їх адаптації. Зрештою, проблема полягає в неможливості на задовільному рівні (для потреб гірничих технологій) прогнозуванні та цільовому забезпеченні належного гранулометричного складу підірваної гірничої маси. Тому саме на даному напрямку зосереджено більшість науковими і практичних завдань сучасної гірничої науки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Основні положення теорії вибухового руйнування кристалічних масивів [1-7] і досвід практики БПР [8-11] переконливо доводить, що одним з найменш досліджених теоретично і невирішених практично питань є нерівномірний розподіл енергії вибуху в об'ємі масиву, особливо при формуванні навантаження крайової зони уступу, оптимізувати що стає можливим при цілеспрямованому використанні ефектів розвитку тензора напружень динамічної зони руйнування, створюваної силовими полями взаємодіючих свердловинних зарядів приконтурних рядів [12-14], спеціальної конструкції [15-17]. Саме це й зумовило, що в дослідження закладалася ідея можливості штучного створення та продуктивного використання динамічних ефектів, які проявляються при взаємодії свердловинних зарядів, для вирішення чого задачі досліджень формулювалися згідно з нею.

Постановка задачі. Побудова найбільш адекватної, наскільки це можливо, математичної моделі руйнування скельного масиву вибухом є першочерговим завданням гірничої науки сьогодні. Відомо, що наявність негабаритних фракцій в підірваній гірничій масі, зазвичай, пов'язана з тим, що гірський масив 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. Цей фактор необхідно по-новому враховувати під час визначення параметрів БПР, враховуючи значні непродуктивні втрати енергії вибуху.

Основну роль в процесі руйнування гірського масиву за цих умов відіграє конструкція підричних свердловинних зарядів. Підбором мас зарядів з різним співвідношенням їх частин в свердловинах послідовних рядів і варіюванням тривалості затримки між вибухами можна регулювати процес вибухового навантаження скельного масиву в залежності від конкретних гірничо-геологічних умов. За рахунок зміни способів формування і порядку підривання зарядів ВР в руйнованому обсязі, можна цілеспрямовано впливати на процес руйнування, знаючи особливості формування силових полів.

Викладення матеріалу та результати. Суцільне середовище, яке в нашому випадку є гірським масивом, будемо розглядати як абсолютно нестисливе, нехтуючи зміною його об'єму. Другою умовою є припущення, що вибух свердловинного заряду відбувається миттєво.

Енергія, що виділяється при вибуху, має кінцеву величину, тому й кінетична енергія середовища також буде кінцевою, що обумовлює кінцеві значення швидкостей частинок середовища. За умови миттєвої дії вибуху частинки середовища лише отримують деяку початкову швидкість, з якою будуть рухатися вже після того, як закінчиться фаза імпульсної дії вибуху.

Для розв'язання поставленого завдання розглянемо в прямокутній системі координат, навколо довільної точки середовища, елементарний прямокутний паралелепіпед, ребра якого розташовані паралельно до осей координат системи Декарта й однакові відповідно dx , dy , dz . Користуючись методикою, викладеною в праці [14], координати вектора початкової швидкості для довільної точки позначимо $\bar{U}_0(ux, uy, uz)$.

Розглянемо рух середовища в об'ємі даного паралелепіпеда. На його межі, розташовані перпендикулярно до осі OX , під час вибуху буде діяти імпульсний тиск. На ближню грань тиск P , на грань, яка розташована й знаходиться від неї на відстані dx : $P+(\partial P/\partial x)$. Так як площі цих граней рівні dy , dz , то сили, що діють на ці межі, відповідно будуть однакові, Н,

$$F_1 = P \cdot dy \cdot dz ; \quad (1)$$

$$F_2 = \left(P + \frac{\partial P}{\partial x} dx \right) \cdot dy \cdot dz . \quad (2)$$

Звідси рівнодіюча F цих сил визначається як

$$F = F_2 - F_1 = \frac{\partial P}{\partial x} dx \cdot dy \cdot dz . \quad (3)$$

Розглянемо прискорення, що виникає в середовищі в результаті імпульсного впливу вибуху.

При цьому відзначимо, що маса, укладена всередині розглянутого об'єму середовища, дорівнює, кг

$$m = \rho dx \cdot dy \cdot dz ,$$

Прискорення в напрямку осі OX дорівнює зміні за одиницю часу швидкості du_x/dt . Оскільки сила дорівнює добутку маси на прискорення, то

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \rho \frac{du_x}{dt} \text{ або } \frac{du_x}{dt} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} . \quad (5)$$

Аналогічно розмірковуючи, розглядаючи межі, перпендикулярні до осей OY і OZ , отримаємо

$$\frac{du_y}{dt} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial y} ; \quad (6)$$

$$\frac{du_z}{dt} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} . \quad (7)$$

Рівняння (5)-(7) проінтегруємо за часом.

Розглянемо рівняння (5).

У момент часу $t=0$, тобто до вибуху, середовище знаходиться в спокої. При імпульсному впливі вибуху швидкість набуває значення $\bar{U}_0$. Перетворимо вираз (5)

$$u_x = \frac{1}{\rho} \int_0^t \frac{\partial p}{\partial x} dt . \quad (8)$$

Змінюючи порядок інтегрування й диференціювання в (5), отримуємо

$$u_x = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\rho} \int_0^t P dt \right) . \quad (9)$$

Інтеграл, що стоїть у правій частині в останній формулі, визначає величину питомого імпульсу вибухового впливу на середовище $i = \int_0^t P dt$.

Отже, маємо що

$$u_x = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\rho} i \right). \quad (10)$$

Оскільки розглядаємо абсолютно не стиснене середовище, то в цьому випадку щільність середовища залишається сталою навколо кожної рухомої частини $\rho = \text{const}$. Тому остаточно маємо

$$u_x = \frac{1}{\rho} \times \frac{\partial i}{\partial x}. \quad (11)$$

Аналогічно розмірковуючи, отримуємо u_y, u_z інші координати вектора $\bar{U}_0$

$$u_y = \frac{1}{\rho} \times \frac{\partial i}{\partial y}; \quad (12)$$

$$u_z = \frac{1}{\rho} \times \frac{\partial i}{\partial z}. \quad (13)$$

Отже, координати вектора початкової швидкості $\bar{U}_0$ для довільної точки середовища, що спричинила дію імпульсного вибухового навантаження, може бути визначено як

$$\bar{U}_0 = (i'_x; i'_y; i'_z) \quad (14)$$

Тоді значення початкової швидкості довільної точки середовища визначається як, м/с

$$|\bar{U}_0| = \sqrt{i'^2_x + i'^2_y + i'^2_z}. \quad (15)$$

Отже, виникнення поля швидкостей і пов'язаної з ним кількості руху залежить від імпульсу зовнішніх сил. Під час вибуху свердловинного заряду передається кінцева кількість кінетичної енергії, а отже, й імпульс вибуху має кінцеві значення.

Дослідимо взаємозв'язок між розподіленням енергії вибуху в середовищі й величиною питомого імпульсу вибухової енергії.

Кінетична енергія певної зони породного масиву утворюється виключно за рахунок енергії, що передається в середовище, яке руйнується вибухом свердловинного заряду ВР. Енергія, що передається в середовище, коли відбувається вибух заряду, відповідно до закону її збереження, повинна дорівнювати роботі, реалізованій при передачі цієї енергії. Якщо позначити елемент поверхні свердловинного заряду через dS , а тиск у вибуховій камері – через P , то сила, що діє на дану поверхню, буде дорівнювати $P \cdot dS$. Відповідно, елементарна робота dA буде визначатися як $dA = P h dL$, де h – відповідні зміщення. З урахуванням тривалості дії вибуху t останній вираз набуде вигляду

$$dA = P t \frac{h}{t} dL. \quad (16)$$

Так як добуток $P t$ дорівнює локальному питомому імпульсу i , частка h/t дорівнює середньому значенню нормальної складової швидкості $U/2$, то можна записати

$$dA = (i U / 2) dL. \quad (17)$$

Швидкість U може бути визначена як похідна від i за нормами $\bar{n}$ і поверхні L , тобто $U = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial i}{\partial n}$ і тоді остаточно маємо

$$dA = \frac{i}{2\rho} \cdot \frac{\partial i}{\partial n} dL. \quad (18)$$

Поверхневий інтеграл по всій поверхні L , $Q = \int_L dA$ дає повну енергію середовища та з урахуванням формули $T = (1/U) + \Delta t$ (тривалість уповільнення взаємодії зарядів) значення кінетичної енергії, отриманої середовищем, і може бути визначеним як (Дж)

$$Q = \frac{i}{2\rho} \int_L \frac{\partial i}{\partial n} dL. \quad (19)$$

Дослідимо розподіл енергії вибуху в середовищі. Щільність енергії Q визначається як

$$q = \frac{\rho}{2} (\phi'^2_x + \phi'^2_y + \phi'^2_z). \quad (20)$$

Беручи до уваги, що $\varphi=i/\rho$ і $\rho=\text{const}$, для конкретного середовища маємо

$$q = \frac{1}{2\rho} (i_x'^2 + i_y'^2 + i_z'^2). \quad (21)$$

Формула (21) встановлює взаємозв'язок між щільністю енергії, акумульованої середовищем після вибуху, і величиною початкового питомого імпульсу в будь-якій точці з координатами x, y, z .

Оскільки значення початкової швидкості, що виникає у середовищі після вибуху, безпосередньо пов'язана з імпульсом зовнішніх сил, то формула (21) може бути записана у вигляді

$$q = \frac{\rho}{2} |\bar{U}_0|^2. \quad (22)$$

Згідно отриманої залежності маємо, що щільність енергії у довільній точці середовища, що руйнується, – прямо пропорційна квадрату значення початкової швидкості в цій точці, отриманої в результаті імпульсного вибухового впливу заряду ВР.

Графічно залежність (22) представлена на рис. 1, де $c_i = c(\rho)$ – функціонально залежить від щільності середовища, що розглядається.

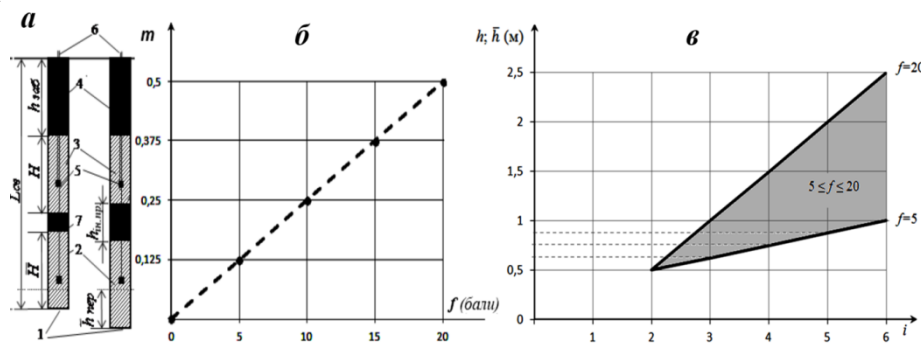


Рис. 1. а – конструкція свердловинних зарядів з авторського способу руйнування гірських порід зарядами з лінійно диференційованою ВР: 1 – свердловини, 2 – нижні частини зарядів, 3 – верхні частини зарядів, 4 – забивка, 5 – проміжні детонатори, 6 – хвилеводи, 7 – інертний проміжок; б – залежність між коефіцієнтом лінійної диференціації зарядів ВР (m) і коефіцієнтом міцності гірських порід (f); в – до розрахунку параметрів свердловинних зарядів ВР (i – номер позиції свердловини)

Згідно [13] величина енергії дроблення при зміні розміру породного куска від X до x дорівнює

$$W = A \int_x^X x^{-k} dx. \quad (23)$$

Висновки та напрямок подальших досліджень. Отримані закономірності імпульсного впливу вибуху, пов'язаного із загальним балансом енергії в сполученому зруйнованому середовищі, можуть слугувати шкалою оцінки ефективності руйнуючої дії свердловинних зарядів, що підриваються одночасно або через певне уповільнення.

Список літератури

1. Власов О.Е., Смирнов С.А. Основы расчета дробления горных пород под действием взрыва. - М.: Изд-во АН СССР, 1962. - 107 с.
2. Физика взрыва / Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др./ Под. ред. К.П.Станюковича. - М.: Наука, 1975. - 407 с.
3. Комплексное исследование действия взрыва в горных породах / Э.О. Миндели, Н.Ф. Кусов, А.А. Корнеев, Г.И. Марцинкевич, - М.: Недра, 1978. - 253 с.
4. Григорян С.С. Некоторые вопросы математической теории деформирования и разрушения твердых горных пород // ПММ, 1967. - Т.31. - С. 157-245.
5. Партон В.З., Черепанов Г.П. Механика разрушения // Механика в СССР за 50 лет. - М.: Наука, 1972. - Т.3.
6. Griffith A.A. The phenomenon of rupture and flow in solids. Phil. Trans. Roy. Soc. A 221, 1920, p.1201-1206.
7. Рижов П.А. Математическая статистика в горном деле. М.: Высшая школа, 1973. - 286 с.
8. Родионов В.Н. К вопросу о повышении эффективности взрыва в твердой среде. - М.: Изд-во ИГД АН СССР, 1962. - 29 с.
9. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Ч. 1. - М.: Горная книга, 2009. - 471 с.
10. Друкований М.Ф. Об оценке использования энергии взрыва при различных параметрах буровзрывных работ / М.Ф. Друкований, В.М. Комир // Взрывное дело. - 1966. - С. 45-49.
11. Перегудов В.В., Жуков С.А. Пути повышения качества взрывных работ при разрушении горных пород сложной структуры. Монография. - Кривой Рог: Издательский дом, ISBN 966-7388-47-6. 2002. - 305 с.

12. Баренблатт Г.И. Математическая теория равновесных трещин, образующихся при хрупком разрушении. – ПМТФ, 1969. – № 4. – С. 3-56.
13. Фролов О.О. Використання ефекту зустрічі детонаційних хвиль для підсилення дії вибуху на рівні підшви уступу // Вісник НДУУ «КП» / Гірництво. – Київ: НГУУ «КП»: ЗАТ «Технових», 2002. – С.63-65.
14. Бичук В.Е. Результаты исследования характера распределения напряжений вокруг зарядов сложной конструкции // Совершенствование буровзрывных работ. М.: Недра, 1977. – С. 89-92.
15. Баранов Е.Г., Фролов В.П. Изыскание эффективной конструкции заряда ВВ // Цветная металлургия. – 1965. – № 22. – С. 23–26.
16. Бетин В.Д. Развитие детонации в скважинных зарядах с полыми цилиндрами // Разработка рудных месторождений. Научно-техн. сб. – Кривой Рог: изд-во КТУ, 2003. – Вып. 83. – С. 68-74.
17. 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

УДК 621.311

Т.М. БЕРІДЗЕ, д-р екон. наук, доц., І.В. КАСАТКІНА, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет
С.М. БОЙКО, канд.техн. наук, доц.
Національний університет «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ КРИТЕРІЇВ ОЦІНЮВАННЯ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Мета. Метою даної роботи є дослідження підходів щодо оцінки показників якості електричної енергії в розподільчих мережах промислових підприємств.

Впровадження сучасних потужних електротехнічних комплексів до систем електропостачання промислових підприємств змінює властивості енергосистеми. У той же час ефективне їх функціонування потребує виконання ряду вимог, пов'язаних із забезпеченням стійкості і надійності роботи, однією з таких вимог є рівень якості електричної енергії. Для досягнення поставленої мети проаналізовано основні показники якості електричної енергії та визначено найбільш значимі для розподільчих мереж промислових підприємств.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач і аналізу статистичних даних використано аналітичні методи – для дослідження рівнів відхилень електричної енергії у мережі промислового підприємства.

Наукова новизна. Вперше запропоновано методику аналізу рівня якості електричної енергії в розподільчих мережах промислових підприємств, за результатами якої запропоновано шляхи щодо підвищення рівня якості електричної енергії в електричних мережах до 1 кВ.

Практична значимість. За результатами проведених досліджень можна зробити висновок про те що, рівень напруги якісно впливає на показники якості електричної енергії розподільчих мереж промислових підприємств що підвищує ефективність функціонування їх електромеханічних комплексів та систем. Проведені дослідження підтвердили необхідність та склали підґрунтя для вирішення проблеми вибору відповідного рівня напруги розподільчих мереж, як до 660В і більше 1000В. Статистичний матеріал, який підтверджує наші висновки.

Результати. Впровадження сучасних систем та комплексів в системи технологічних процесів підприємств має базуватися на умовах щодо їх ефективного функціонування, основним з яких перед електрообладнанням постає якість електричної енергії в розподільчих мережах промислових підприємств.

Напруга 600 В має відчутні переваги на промислових підприємствах, серед яких підвищення надійності електропостачання та покращення якості напруги, що надасть можливість підвищити продуктивність промислових електричних машин і механізмів.

Ключові слова: система електропостачання, реконфігурація систем електропостачання, електропостачання, надійність електропостачання, якість електричної енергії.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-121-127

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Впровадження сучасних потужних електротехнічних комплексів до систем електропостачання промислових підприємств змінює властивості енергосистеми. У той же час ефективне їх функціонування потребує виконання ряду вимог, пов'язаних із забезпеченням стійкості і надійності роботи, однією з таких вимог є рівень якості електричної енергії.

Якість електроенергії оцінюється рядом показників [1 - 3]. Стандартні значення кожного з показників не повинні бути перевищені з інтегральною ймовірністю

$P \leq 0,95$. Для заданих меж зміна i -го показника остання вимога представляється у вигляді нерівності

$$P = X_{min} \leq [X_i \leq X_{max}] \leq 0,95 ,$$

де X – значення параметра i , який досліджується.

ДСТУ EN 50160:2014 встановлює допустимі значення межі показників.

Значний вплив на якість ЕЕ мають приймачі електричної енергії.

Найбільш поширення отримали шахтні струмоприймачі - асинхронні електродвигуни. При напрузі в ланкових розподільних мережах, відмінному від номінального, кратність максимального моменту b_i , визначається як

$$b_i = b_{ном} \frac{k_{ui}^2}{k_f^2} ,$$

k_{ui}, k_f – кратність відповідно діючого значення напруги й частоти відносно номінальних значень; $b_{ном}$ - кратність максимального перегрузочного моменту при $M_{ном}$.

Відхилення частоти визначається алгебраїчною різницею між фактичним і номінальним значенням частоти

$$\Delta f = f_{факт} - f_{ном} \quad \text{або} \quad \Delta f\% = \frac{f_{факт} - f_{ном}}{f_{ном}} .$$

Не припиняючи значимість та необхідність досягнення в реаліях експлуатації електричних мереж залізничних шахт всіх показників якості ЕЕ все ж зазначимо, що одним із головних режимних показників, які найбільш впливають на ефективність роботи шахтного електрообладнання є відхилення напруги [4].

Аналіз досліджень і публікацій. Сучасні підходи до модернізації промислових об'єктів змінюють енергетичні властивості розподільчих мереж промислових підприємств. Тож, дослідження ряду вчених вказують на необхідність контролю рівня якості електричної енергії в розподільчих мережах промислових підприємств [1-5].

Відомо, що реалізація такого підходу піднімає питання модернізації та реконфігурації досліджуваної енергосистеми [2]. Між тим, залишається до кінця не вирішеним питання ефективного, з позиції економічного та технічного ефекту, моніторингу та підтримання рівня якості електричної електроенергії як загального показника по підприємству, так і на всіх ділянках розподільчих мереж промислових підприємств [1-10].

Постановка завдання. Дослідження підходів щодо оцінки показників якості електричної енергії в розподільчих мережах промислових підприємств.

Викладення матеріалу та результати. Відхилення напруги δU відповідає різниці між фактичним $U(t)$ й номінальним. Відповідний ДСТУ EN 50160:2014 встановлює допустимі межі δU_i , вони не повинні перевищувати межі – 5% - 10 % від $U_{ном}$ для електродвигунів; для електричних ламп й прожекторів установок підвищення напруги не повинно перевищувати – 5%, а зниження не більше – 2. 5% для освітлення на промислових підприємствах.

Відхилення у мережі залежить від значення та характеру навантаження, параметрів мережі, прийнятої схеми внутрішньошахтних мереж електропередачі й інших факторів.

Норми на коливання напруги V_t встановлені відповідно гранично допустимої кількості коливань в одиницю часу, що обумовлено насамперед впливом напруги на роботу приладів, найбільш чутливих до коливання напруги

$$V_t = 1 + \frac{6}{n} = 1 + \frac{\Delta t}{10} \% ,$$

де n – частота коливань в годину; Δt - середній інтервал між послідовними коливаннями, мин.

Кількісна оцінка V_t відповідно амплітудного значення визначається як

$$V_{t\%} = U_{нб} - U_{нм} ,$$

де $U_{нб}, U_{нм}$ - відповідно найбільше й найменше значення (сусідні) діючі значення напруги в короткочасному процесі їх змін, %.

Важливим моментом, котрий ускладнює отримання вхідної інформації для оцінювання стану якості ЕЕ в умовах електричних мереж залізничних шахт є значна і постійно мінлива протяжність цих мереж [5]. Це ускладнює збір інформації в підземних умовах ведення гірничих робіт. Тому суттєве значення має методика, що використовується задля отримання експериментальних даних. Слід зауважити, що при проведенні експериментальних вимірів доцільно визначати обсяг вибірки, який дозволяє отримати адекватні моделі. Встановити тривалість виробництва можна, застосовуючи вибіркового метод, який дозволяє з достатньою достовірністю визна-

чати характеристики генеральної сукупності за відбіраною вибірковою відповідно до визначеного збільшення останньої.

Оцінювання вірності представлення генеральної сукупності визначається відповідною вибіркою, що заснована на взаємозв'язку кількості вимірювань n , середньо квадратичного відхилення σ_u та достовірності результатів α . Достовірністю результатів можемо вважати довірчу ймовірність

$$\alpha = P | U - \varepsilon \leq U_i \leq U + \varepsilon |,$$

де ε – значення відносної похибки результатів вимірів.

З ймовірністю, близької до одиниці, при достатньо значному обсязі вимірів, що мають місце в умовах автоматичної реєстрації статистичними вольтметрами та обмеженої дисперсії генеральної сукупності. Різниця між вибірковою середньою $\bar{U}$ і генеральною середньою $\bar{U}$ буде скільки завгодно мала. Одночасно, при достатній кількості спостережень розподіл суми незалежних випадкових величин прагне до нормального розподілу ймовірностей. Це дозволяє з урахуванням значення α оцінити значення кратності середньої помилки t_α . Так при $\alpha = 0,95$, $t_\alpha = 1,96$; при $\alpha = 0,997$, $t_\alpha = 3$.

Похибка методу статистичних випробувань визначається відповідно до виразу

$$\varepsilon = t_\alpha \frac{\bar{\sigma}_u}{\sqrt{n_B}}, \quad (1)$$

де $\bar{\sigma}_u$ – середнє квадратичне відхилення вибіркової середньої величини напруги.

На основі приведеної залежності (1) визначається мінімальний обсяг вибірки, яка забезпечить необхідну точність

$$n_B = \frac{t_\alpha^2}{\varepsilon^2} \bar{\sigma}_u^2. \quad (2)$$

Комплексне оцінювання рівнів режиму напруги здійснюється шляхом розрахунку кількісних характеристик розподілу, на основі якого здійснюється вибір відповідних засобів регулювання й розробка заходів щодо підтримки напруги в нормативних межах. На основі отриманого статистичного матеріалу визначаються числові характеристики і параметри законів розподілу розподілення ймовірностей зміни напруги.

Однією із числових характеристик відхилень напруги δU_i є математичне сподівання $\delta \bar{U}$, що характеризує середню величину відхилення напруги $U_{\text{ном}}$. Математичне сподівання відповідає сумі добутків всіх можливих значень δU_i на відповідне значення їх ймовірностей

$$\delta \bar{U} = \sum_{i=1}^k \delta U_i P_i.$$

Якість напруги визначається також числовою характеристикою відповідно величини квадрату середньоквадратичного відхилення напруги за період часу T , яка називається неоднаковістю напруги

$$N = \sum_{i=1}^k (\delta U_i)^2 P_i.$$

За значеннями математичного сподівання й неординарності напруги визначається дисперсія D , яка характеризує розсіювання напруги навколо його середнього значення.

$$D = N - \delta \bar{U}^2$$

В першу чергу, після здійснення вимірів, розраховуються значення ймовірностей P_i , δU_i в визначених межах. Відповідно до розрахованих значень P_i , будуються гістограми розподілу, що являють собою графічну форму варіаційного ряду розподілу.

На основі аналізу гістограм, а також інформації щодо характеру зміни напруги на шинах підстанцій визначається зона допустимих значень $\delta \bar{U}$ протягом повного циклу зміни напруги. При цьому величина втрат напруги складає різниця δU_i на початку й наприкінці мереж електропередачі

$$\Delta U_t = \delta U_n - \delta U_k.$$

В реальних умовах отримані виміри й побудова гістограм демонструють відмінність кривих розподілу від нормальних. Таким чином, для отримання достатньо повного судження про закономірність зміни δU_i в діючих шахтних мережах необхідно визначати всі числові характеристики, які описують ту або іншу ознаку.

Для комплексних досліджень доцільно прийняти параметри моментів двох видів – початковий й центральний. Нами приведена характеристика δU_i є перший початковий момент m_1 ; другий початковий момент m_2 відповідає неоднаковості напруги.

Другий центральний момент

$$\alpha_2 = \sum_{i=1}^k (\delta U_i - m_1)^2 P_i = m_2 - m_1^2 = N - \delta \bar{U}^2.$$

Таким чином, другий центральний момент характеризує дисперсію випадкової величини δU_i

$$\alpha_1 = D = N \cdot \delta \bar{U}^2.$$

Залежність між третім центральним й початковим моментами отримуємо із співвідношення

$$\alpha_3 = \sum_{i=1}^k (\delta U_i - m_1)^3 P_i = m_3 - 3N\delta \bar{U} - 2\delta \bar{U}^3.$$

Для кількісного оцінювання відмінності розподілу, що досліджується від нормального по основним моментам статистичного ряду розраховуються значення асиметрії й ексцесу. Коефіцієнт асиметрії A_s визначається через середнє квадратичне відхилення σ

$$A_s = \frac{\alpha_3}{\sigma^3} = \frac{\sum (\delta U_i - m_1)^3 P_i}{\sigma^3} = \frac{m_3 - 3N\delta \bar{U} - 2\delta \bar{U}^3}{\sigma^3}.$$

Коефіцієнтом асиметрії A_s характеризується тіснота розміщення значень навколо $\delta \bar{U}_i$. Для розподілу $A_s \geq 0$ (додатна асиметрія) найбільше число даних розподілу розташовано зліва від математичного сподівання; при $A_s < 0$ (від'ємна асиметрія) - справа від $\delta \bar{U}$. асиметрія визначає міру зношеності кривої розподілу.

Четвертий центральний момент здійснює оцінювання крутості (гостровершинність) кривої розподілу. Кількісне значення виміру крутизни або ексцесу E_k визначається залежністю

$$E_k = \frac{\alpha_4}{\sigma^4} - 3 = \frac{\sum (\delta U_i - m_1)^4 P_i}{\sigma^4} - 3 = \frac{m_4 - m_3 \delta \bar{U} + 6N\delta \bar{U} - 3\delta \bar{U}^4}{\sigma^4} - 3.$$

При $E_k \geq 0$ крива є гостро вершиною, при $E_k < 0$ - плоско вершина в порівнянні із кривою нормального закону розподілу.

Визначення закону розподілу зміни напруги вузлу навантаження шахтної мережі здійснюється з використанням кривих Пірсона. Слід враховувати збереження практично незмінних параметрів перших чотирьох моментів статистичного розподілу й аналіз одномірних сукупностей шляхом вибору теоретичних розподілів, які найбільш часто зустрічаються і відповідних параметрів теоретичного ряду розподілу.

Проведені експериментальні дослідження в шахтних мережах, в межах електромережі однієї ступені трансформації, значення напруги змінюється в досить вузьких межах. Тому, вважаємо за доцільне використовувати не абсолютні значення напруги U_i , а параметри відхилень напруги δU_i , яке виражається в відсотках номінального значення. При цьому, слід обґрунтовано вважати номінальну напругу оптимальною.

Відхилення напруги, що відповідає різниці між фактичним (поточним) значенням напруги $U(t)$ та його номінальним значенням для даної мережі $U_{ном}$, при швидкості зміни напруги менш ніж 1% в секунду, визначається як

$$\delta U_i = \frac{U(t) - U_{ном}}{U_{ном}} \%,$$

де $U(t)$ - діюче значення між фазної напруги вузла навантаження.

Відхилення напруги при $U(t_i) \geq U_{ном}$ приймають додатні значення, при

$$U(t_i) < U_{ном} - \text{від'ємні.}$$

Оцінювання показників якості напруги засновано на статичних даних, отриманих в процесі проведення експерименту. При проведенні експерименту були прийняті наступні допущення: відповідно до ДСТУ EN 50160:2014 найбільший діапазон відхилень напруги нормований на затискачах електродвигунів та пристроїв для їх пуску і керування, тобто $5\% \pm 10\%$ номінального.

З урахуванням після аварійних значень величини що досліджується, можемо прийняти загальну ширину діапазону $U_{діап} = 20\% U_{ном}$.

Звідси оптимальна ширина розряду становить

$$\Delta U_{раз} = \frac{\sum \Delta U_{діап}}{k_{\Sigma}} = 2,5\% \text{ від } U_{ном}.$$

Крива розподілу або закон розподілу - це залежність, що відображає щільність розподілу випадкової величини. Для практичних досліджень доцільно відображати результати розрахунків у вигляді гістограми. Весь діапазон зміни випадкової величини розбивається на відповідний ряд розрядів; потім визначається ймовірність влучення випадкової величини в кожен із цих розрядів.

Обробка результатів вимірів міститься в наступному.

Визначається значення проміжної величини

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i k_i}{n_{\Sigma}},$$

де n_i - кількість влучень в i -й розряд; k_i - номер інтервалу, од.; n_{Σ} - сума всіх можливих значень, од.

Дисперсія проміжної величини визначиться, як

$$D_{\bar{A}} = \frac{\sum_1^k n_i k_i^2}{n_{\Sigma}} - \bar{A}^2.$$

Математичне сподівання відхилень напруги по кожному циклу реалізації, що характеризує положення випадкової величини на числової осі (середнє значення), розраховується наступним чином

$$\overline{\delta U_i} = \delta U_0 + \Delta U \bar{A},$$

де δU_0 - значення середини інтервалу при $k_i=0$; ΔU - ширина розряду.

Стандартне відхилення й дисперсія розподілу розраховуються як

$$\sigma_i = \Delta U \sqrt{D_{\bar{A}}} \quad D = \sigma_i^2.$$

Неоднаковість напруги

$$N = \sigma_i^2 + \overline{\delta U_i}^2 \quad N(\%)^2 = \frac{N_{100}^2}{N_{\text{ном}}^2} (100\%)^2.$$

Експериментальні дослідження щодо визначення основних показників ефективності системи електропостачання ланки, яка переведена на підвищену напругу 660 В.

Результати досліджень надані в розрахунково-аналітичних табл.1, 2; рис. 1, 2.

Таблиця 1

Розрахунково-аналітична таблиця результатів замірів відхилень напруги підстанції «Північна», гор. –1390 ш. «Козацька», (зрушення діапазону – 3,75%). Початок ланки

Дата/ лічильник	1	2	3	4	5	6	7	8
15.06.2021	6739	2125	1331	0657	9603	5093	2580	9078
15.06.2021	6739	2125	1331	0681	7647	6567	2580	9078
Δ				24	1956	1474		
20.06.2021	6740	2175	1331	0769	9087	8712	2580	9078
Δ	1	50		88	1440	2145		
21.06.2021	6740	2183	1331	0769	6422	9417	2580	9078
Δ	0	8			7335	705		
22.06.2021	6741	2187	1331	0769	3756	0509	2580	9078
Δ	1	4			7334	1092		
23.06.2021	6741	2188	1331	0890	2004	1230	2580	9078
Δ		1		121	8248	721		
24.06.2021	6741	2188	1331	0991	0026	2082	2580	9078
Δ				101	8022	852		
27.06.2021	6741	2190	1331	1006	539	9223	2586	9078
Δ		2		15	513	7141	6	
28.06.2021	6741	2193	1331	1006	2931	5597	2736	9080
Δ		3			2392	6374	150	2
29.06.2021	6742	2197	1331	1006	5720	1573	2832	9080
Δ		4			2789	5976	96	
30.06.2021	6742	2197	1331	1006	7133	9284	2837	9080
Δ					1413	7711	5	
Сума $\sum n_{\Delta}$	2	72	0	349	471442	34191	257	2
Значення K_i	-2	-1	0	1	2	3	4	5

Сума усіх можливих значень Δ , $n_{\Sigma} = 76315$ од.

Нумерація K_i здійснюється з урахуванням здвигу діапазону в сторону додатних та від'ємних номерів. Розраховуємо проміжну величину

$$\bar{A} = 2,35.$$

Дисперсія

$$D_{\bar{A}} = 0,262.$$

Математичне сподівання напруги

$$\overline{\delta U} = \delta U_0 + \Delta U \bar{A} = 14,25 \text{ В.}$$

Стандартне відхилення напруги

$$\sigma = \Delta U \sqrt{D_{\bar{A}}} = 2,56 \text{ В.}$$

Неоднаковість напруги

$$N = \sigma_i^2 + \overline{\delta U_i}^2 = 209,6 \text{ В}^2.$$

Відхилення напруги

$$\delta U = 6,58\% \text{ від } U_{\text{ном.}}$$

Таблиця 2

Розрахунково-аналітична таблиця результатів замірів відхилень напруги підстанції «Північна», гор. – 1390 ш. «Казацька» (зрушення діапазону – 3,75%). Кінець ланки

Дата/ лічильник	1	2	3	4	5	6	7	8
21.06.2021	6740	2183	1331	0769	6422	8908	2580	9078
22.06.2021	6741	2187	1331	0769	3756	0509	2580	9078
Δ	1	4			7334	1092		
23.06.2021	6741	2188	1331	0890	2004	8712	2580	9078
Δ		1		121	8248	2145		
24.06.2021	6741	2188	1331	0991	0026	9417	2580	9078
Δ				101	8022	705		
27.06.2021	6741	2190	1331	1006	0539	0509	2580	9078
Δ		2		15	513	1092		
28.06.2021	6741	2193	1331	1006	2931	1230	2580	9078
Δ		3			2392	721		
29.06.2021	6742	2197	1331	1006	5720	2082	2580	9078
Δ		4			2789	852		
30.06.2021	6742	2197	1331	1006	7133	9223	2586	9078
Δ					1413	7141	6	
Сума $\sum n_{\Delta}$	1	14		237	23377,00	12656,00	6,00	
Значення K_i	-2	-1	0	1	2	3	4	5



Рис. 1. Розподіл відхилень напруги підстанції «Північна», гор. – 1390 ш. «Казацька», (зрушення діапазону – 3,75%). Початок ланки

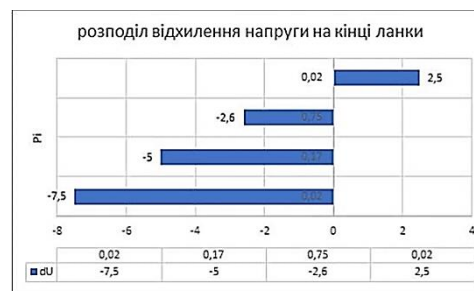


Рис. 2. Розподіл відхилень напруги підстанції «Північна», гор. – 1390 ш. «Казацька», (зрушення діапазону – 3,75%). На кінці ланки

Сума усіх можливих значень Δ , $n_{\Sigma} = 36292$ од.

Нумерація K_i здійснюється з урахуванням здвигу діапазону в сторону додатних та від'ємних номерів. Розраховуємо проміжну величину

$$\bar{A} = 2,49.$$

Дисперсія

$$D_{\bar{A}} = 0,284.$$

Математичне сподівання напруги

$$\delta \bar{U} = \delta U_0 + \Delta U \bar{A} = 14,25 \text{ В}$$

Стандартне відхилення напруги

$$\sigma = \Delta U \sqrt{D_{\bar{A}}} = 2,66 \text{ В.}$$

Неоднаковість напруги

$$N = \sigma_i^2 + \delta \bar{U}_i^2 = 230,57 \text{ В}^2;$$

$$N(\%)^2 = 47,63 (\%)^2.$$

Відхилення напруги

$$\delta U = 6,9\% \text{ від } U_{\text{ном.}}$$

Аналіз табличної розрахунково-аналітичної інформації та візуальний аналіз графічного представлення отриманих результатів дають підстави стверджувати, що відхилення напруги уповдовж всієї мережі змінюються в допустимих межах. При цьому мають місце від'ємні значення δU . Однак, якість напруги на конкретному приєднанні мають не значний розкид параметрів (близько 5% $U_{\text{ном.}}$).

Зсув параметрів напруги в область від'ємних значень вказує на необхідність централізованого регулювання процесу електропостачання - електроспоживання. Тобто розподіл сформований переважно за рахунок величини математичного сподівання δU_i , при відносно не значній

зміни значення величини дисперсії. Тому, вважаємо за доцільне акцентувати увагу на тому, що виправлення значень математичного сподівання, пов'язане з технічними рішеннями, значно дешевше порівняно зі штучним зменшенням дисперсії. Зауважимо, значення величини дисперсії пов'язано з витратами на реконструкцію мереж.

Таким чином, вочевидь, що в цілому існуючий рівень напруги протягом 5 – 6 діб характеризується відносною стаціонарністю процесу та знаходиться в межах $2,5 \div 7,5\%$ від Уном. Проте для повного пояснення оцінювання цих висновків потребується конкретизація з математичним наближенням до реальності.

Проведені дослідження підтвердили необхідність та склали підґрунтя для вирішення проблеми вибору відповідного рівня напруги розподільчих мереж, як до 660В і більше 1000В. Статистичний матеріал, який підтверджує наші висновки, надано в додатках.

Вважаємо, що вирішення такої проблеми дозволить в повному обсязі й на довгий період забезпечити якісне електропостачання високопродуктивних машин і механізмів з урахуванням підвищення потужності електроприводу. Тому вирішення завдання переведу шахтних мереж ланок з напругою 380 В на підвищену напругу 660 В є, на нашу думку, складовою загальною нарізною проблеми підвищення ефективності системи електропостачання залізничних шахт.

Економічність використання напруги 660В визначається практично однаковою вартістю трьох фазних двигунів й апаратури управління при 380 В і 660 В. Разом з тим пропускна здатність мережі при напрузі 660 В зростає в $\sqrt{3}$ рази. Втрати електроенергії зменшуються в 3 рази при однаковій витраті кольорових металів.

Поряд із зменшенням втрат в електричних мережах до 1000 В, напруга 660 В має істотні переваги. Крім економічних переваг, переклад мереж ланок на підвищені рівні напруги має і технічні аспекти. Серед яких спрощення схем, підвищення надійності електропостачання, покращення якості напруги. Формується перспектива розвитку електроприводу гірничого обладнання, що в кінцевому підсумку надасть можливість підвищити продуктивність гірничих машин і механізмів.

Подальші дослідження мають на меті означити технічні напрями реалізації проведеного аналізу.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Впровадження сучасних систем та комплексів в системи технологічних процесів підприємств має базуватися на умовах щодо їх ефективного функціонування, основним з яких перед електрообладнанням постає якість електричної енергії в розподільчих мережах промислових підприємств.

Напруга 600 В має відчутні переваги на промислових підприємствах, серед яких підвищення надійності електропостачання та покращення якості напруги, що надасть можливість підвищити продуктивність промислових електричних машин і механізмів.

Список літератури

1. Енергоефективність та відновлювальні джерела енергії / Під заг. ред. **А. К. Шидловського**. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2007 – 560 с.
2. **Бойко С.М.** Теоретичні засади формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації гірничорудних підприємств. Монографія, під редакцією доктора техн. наук, професора **О.М. Сінчука**. – Кременчук, 2020. – 263с.
3. **Бойко С.М., Касаткіна І.В., Данілін О.В.** Вплив на якість електричної енергії впровадження джерел розосередженої генерації Вісник Криворізького національного Університету Збірник наукових праць Випуск 54 – Кривий Ріг, 2022. – С. 37-41.
4. **Akagi, H.** Active harmonic filters / Proceedings of the IEEE, vol. 93, no. 12, December 2005, pp. 2128-2141.
5. **Stognii B., Kyrylenko O., Prakhovnyk A., Denysiuk S.** The evolution of intelligent electrical networks and their prospects in Ukraine // Tekhnichna elektrodynamika. – 2012. – № 5. – pp. 52–67.
6. **Кириленко, В.В. Павловський, Л.М. Лук'яненко.** Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах. – Технічна електродинаміка. 2011. № 1. – С. 46-53
7. **Жежеленко І.В., Саенко Ю.Л.** Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 261 с.
8. **Papaika Y.** Normalization of voltage quality as the way to ensure energy saving in power supply systems / **G. Pivnyak, I. Zhezhelenko, Y. Papaika** // CRC Press/Balkema – Taylor & Francis Group: Power Engineering Control and Information Technologies in Geotechnical Systems. – Leiden, The Netherlands, 2013 annual publication. – P. 11-18.
9. Аналіз споживання електроенергії з контролем якості в розподільних мережах / **О. Г. Гриб, Ю. О. Сиротин, Д. А. Гапон, А. В. Дяченко, Т. С. Иерусалимова, О. В. Бортніков** // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічні науки. – Харків : ХНТУГС, 2015. – С. 9–10.
10. **Janik P.** Photovoltaic Power Generation Assessment Based on Advanced Signal Processing and Optimisation Techniques. Wrocław: Publishing house of Wrocław University of Science and Technology Wrocław, 2014

УДК 622.2

Ступнік М.І., Калініченко В.О., Шепель О.Л. Багатоваріантне фізичне моделювання впливу випуску руди на напружено-деформований стан гірського масиву

Мета. Метою даної роботи є лабораторні дослідження процесу випуску руди і його впливу на показники вилучення руди, стійкість конструктивних елементів блоку та продуктивність праці по блоку.

Методи. Використані наступні методи: аналіз актуальних досліджень взаємодії процесу випуску руди з блоків та процесу формування напружено-деформованого стану масиву; фізичне моделювання протікання та послідовності випуску руди на моделях, що імітують частину підповерху блоку; методи аналізу та оброблення результатів дослідів.

Наукова новизна. В результаті лабораторних досліджень випуску руди встановлені нові закономірності випуску, врахування яких дозволяє обґрунтувати вплив вторинного розпушення на величину гірського тиску в нижній частині приймального горизонту. Встановлені параметри впливу концентрації гірничих робіт на тривалість технологічної підготовки і відпрацювання блоків, і, як наслідок, можливість часткового управління гірничим тиском. Встановлений взаємозв'язок між кутами падіння рудних покладів і кількісними та якісними показниками вилучення руди.

Практична значимість. На основі проведених лабораторних досліджень випуску руди з моделей блоків, що імітують різні кути падіння розроблений ефективний зонний рівномірно-послідовний режим випуску руди.

Результати. Встановлені закономірності впливу режимів випуску на показники вилучення руди з блоків. В роботі наведено основні результати фізичного моделювання режиму випуску обваленої руди рівномірними дозами з кількох випускних отворів, що знаходяться на одному ряду, комбінованого та рівномірно-послідовного режимів, що забезпечують кращі показники вилучення руди порівняно з іншими режимами випуску.

Ключові слова: руда, технологія, випуск, тиск, режим, експеримент, дослідження.

Stupnik M.I., Kalinichenko V.O., Shepel O.L. Multiple physical modelling of influence of an ore drawing on the intense-deformed condition of a rock massif

Purpose. laboratory studies of the ore release process and its impact on indicators of extraction of ore, firmness of constructive elements of the block and productivity of operation on the block.

Research methods. Analysis of actual studies of interaction between the ore release from the blocks and the formation of stress-strain state of the massif; physical modelling of the course and sequence of ore release on models imitating a part of the block sub-overhead; methods of analysis and processing of experimental results.

Scientific novelty. New regularities of release are established; it allows to substantiate the influence of secondary loosening on the value of rock pressure in the lower part of the receiving horizon. The parameters of influence of mining operations concentration on the duration of technological preparation and mining of blocks and, as a consequence, the possibility of partial control of mining pressure were established. The relationship between the dip angles of ore deposits and quantitative and qualitative indicators of ore recovery has been established.

Practical significance. On the basis of the conducted laboratory studies of ore release from the block models simulating different dip angles the effective zone uniform-sequential mode of ore release has been developed.

Results. The regularities of influence of modes of release on indicators of extraction of ore from blocks are established. The basic results of physical modelling of a mode of release of the brought down ore by uniform doses from several final apertures which are on the same row, combined and in regular intervals-consecutive modes which provide the best indicators of extraction of ore compared with other modes of release are resulted in the paper.

Key words: ore, technology, release, pressure, mode, experiment, research.

УДК 621.311

Сінчук О.М., Берідзе Т.М., Касаткіна І.В., Пересунько І.І. Етіологія ефектів моніторингу в парадигмі оцінювання стратегії розвитку залізрудного підприємства

Мета. Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування щодо методики побудови управлінської моделі оцінювання реалізації економічної стратегії підприємств на застосуванні етіологічних ефектів моніторингу, як складової стратегічного управління підприємством.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач і аналізу статистичних даних використано аналітичні методи для дослідження системи обліку, контролю і аналізу інформації для підвищення ефективності управління підприємствами гірничорудної промисловості.

Наукова новизна. Вперше запропоновано методику побудови управлінської моделі промислового підприємства на основі застосування етіології основних ефектів моніторингу показників економічної діяльності виробничого процесу які охоплюють усі аспекти діяльності підприємства. Основу методики складає змістовна інтерпретація співвідношень темпів росту показників, що у найбільшій мірі відповідають відомим критеріям успішності.

Практична значимість. За результатами проведених досліджень можна зробити висновок про те що, рівень зростання показників ефективності означає ріст продуктивності виробництва, отже показники виходу (товарна продукція, реалізована продукція) більші за показники оснащення, каталізатора та суб'єктивного фактору. Виконані аналітичні розрахунки підтвердили ефективність використання моніторингу показників економічної діяльності підприємства та є основою для подальшого вирішення проблеми з ефективного управління усіма ланками виробничого процесу. Наведений у статті статистичний матеріал підтверджує ці висновки. Практика застосування запропонованої методики на гірничих підприємствах показала її дієвість.

Результати. Впровадження методики оцінювання економічної стратегії для забезпечення удосконалення управлінських рішень для підприємств гірничорудного комплексу Криворізького регіону показала свою дієвість. Методика забезпечується виділенням системних характеристик підприємства: вхід, вихід, оснащення, упорядкованість, каталізатор, суб'єктивний фактор. Методика базується на основних показниках, що визначаються за результатами моніто-

рингу, відображають стан підприємства на поточний момент і дозволяють простежити динаміку руху показників економічної діяльності підприємства. Ця методика буде сприяти у прийнятті раціональних управлінських рішень щодо вироблення ефективної економічної політики підприємства.

Ключові слова: управління, стратегія, система, модель, показник, моніторинг.

Sinchuk O.M., Beridze T.M., Kasatkina I.V., Peresunko I.I. Etiology of monitoring effects in the paradigm of evaluating the development strategy of an iron ore enterprise

Purpose. Theoretical substantiation of the management methodology for evaluating the economic strategy of enterprises on the application of etiological effects of monitoring as a component of strategic management of the enterprise.

Research methods. Analytical methods for researching the system of accounting, control and information analysis to improve the management efficiency of enterprises of the mining industry were used to solve the problems and analyze statistical data.

Scientific novelty. A methodology for building a management model of an industrial enterprise is proposed based on the application of the etiology of the main effects of monitoring indicators of the economic activity of the production process, which cover all aspects of the enterprise's activity. The basis of the methodology is a meaningful interpretation of the ratios of growth rates of indicators that most closely correspond to the known success criteria.

Practical significance. The level of growth of efficiency indicators means the growth of production productivity, therefore, the output indicators (commodity products, sold products) are greater than the indicators of equipment, catalyst and subjective factor. The performed analytical calculations confirmed the effectiveness of monitoring the indicators of economic activity of the enterprise and is the basis for further solving the problem of effective management of all links of the production process. The statistical material presented in the article confirms these conclusions. The proposed methodology at mining enterprises has shown its effectiveness.

Results. The implementation of the economic strategy assessment methodology to ensure the improvement of management decisions for enterprises of the mining and ore complex of the Kryvyi Rih region has shown its effectiveness. The methodology is provided by highlighting the system characteristics of the enterprise: input, output, equipment, orderliness, catalyst, subjective factor. The methodology based on the main monitoring indicators reflects the state of the enterprise at the current moment and allows to trace the dynamics of the economic indicators of the enterprise. This technique contributes to the adoption of rational management decisions regarding the development of an effective economic policy of the enterprise.

Key words: management, strategy, system, model, indicator, monitoring.

УДК 624.04

Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Савенко В.О., Аришака Д.А. Рівень розрахункового сейсмічного впливу при оцінюванні сейсмостійкості будівель і споруд

Мета. Обґрунтування розрахункового рівня сейсмічного навантаження для розрахунку будівель і споруд, що зводяться та експлуатуються в особливих умовах, відмінних від умов масової забудови.

Методи дослідження. Включають в себе побудову математичних моделей систем, що розглядаються, їх чисельний і аналітичний аналіз, а також зіставлення одержуваних результатів з наявними наслідками минулих землетрусів та розроблення пропозицій щодо використання отриманих результатів в інженерній практиці. Застосовано умову еквівалентності при застосуванні методів теорії надійності та методів теорії сейсмічної надійності та методів теорії сейсмічного ризику, що спрощує завдання рівня сейсмічного впливу при багаторівневому проектуванні.

Наукова новизна. Розглянуто методику завдання розрахункового рівня сейсмічного впливу для споруд, що експлуатуються в особливих умовах (відмінних від умов будівництва та експлуатації об'єктів масової забудови). Запропоновано рекомендації щодо завдання розрахункового рівня сейсмічного впливу для багаторівневого проектування з урахуванням повторюваності землетрусів, а також терміну служби та відповідальності споруди і дано оцінку рівня розрахункового впливу для проектування висотних будівель. Розглянуто методику оцінки коефіцієнтів сполучень сейсмічного та інших навантажень.

Практична значимість. Теоретичний аналіз надійності та ризику в сейсмостійкому будівництві доведено до практичних пропозицій у відповідні нормативні документи, а також у розробленні програмних засобів для визначення розрахункових сейсмічних прискорень.

Результати. Розглянуто методику завдання розрахункового рівня сейсмічного впливу для споруд, що експлуатуються в особливих умовах (відмінних від умов будівництва та експлуатації об'єктів масової забудови). Розглянуто рекомендації щодо завдання розрахункового рівня сейсмічного впливу для багаторівневого проектування з урахуванням повторюваності землетрусів, терміну служби та відповідальності споруди. Розглянуто рекомендації та дано оцінку рівня розрахункового впливу для проектування висотних будівель. Розглянуто методику оцінювання коефіцієнтів поєднань сейсмічного та інших навантажень.

Ключові слова: сейсмічне навантаження, рівня сейсмічного впливу, висотні будівлі, землетруси.

Timchenko R.O., Krishko D.A., Savenko V.O., Aryshaka D.A. The seismic impact in the assessment of seismic resistance of buildings and structures

Purpose. Substantiation of the design seismic load level for the design of buildings and structures constructed and operated in special conditions differing from those of mass development.

Research methods. The mathematical models of the systems under consideration, their numerical and analytical analysis, as well as the comparison of the results obtained with the existing consequences of past earthquakes and the development of proposals for the use of the results obtained in engineering practice. The equivalence condition is applied when applying the methods of reliability theory and methods of seismic reliability theory and methods of seismic risk theory, which simplifies the task of setting the level of seismic impact in multilevel design.

Scientific novelty. The methodology for setting the calculated seismic impact for structures operated in special conditions (different from the conditions of construction and operation of mass development facilities) is considered. Recommendations for setting the design level of seismic impact for multilevel design, taking into account the recurrence of earthquakes, as well

as the service life and responsibility of the structure, are proposed, and the level of design impact for the design of high-rise buildings is estimated. The methodology for estimating the coefficients of seismic and other loads is considered.

Practical significance. The theoretical analysis of reliability and risk in earthquake-resistant construction is brought to practical proposals in the relevant regulatory documents, as well as in the development of software tools for determining the calculated seismic accelerations.

Results. Recommendations for setting the seismic impact for multilevel design, taking into account the recurrence of earthquakes, service life, and responsibility of the structure, are considered. The recommendations are considered and the level of design impact is estimated for the design of high-rise buildings. The methodology for estimating the coefficients of combinations of seismic and other loads is considered.

Key words: seismic load, seismic impact levels, high-rise buildings, earthquakes.

УДК 378.147

Льченко О.В., Сербіна А.О. Аналіз досвіду використання віртуального навчального середовища ВНЗ

Мета. Освітнє середовище сьогодні стрімко змінюється у зв'язку з новими реаліями та новими потребами в освіті. Одним з найбільш затребуваних в даний час напрямів інноваційної діяльності є організація навчання засобами віртуального освітнього середовища. Метою роботи є теоретичне обґрунтування використання систем віртуального навчального середовища у навчальному процесі на кафедрі ВНЗ III-IV р.а.

Методи дослідження. На різних етапах наукового пошуку використано основні методи наукового пізнання: теоретичні – вивчення, узагальнення, систематизація та аналіз науково-методичної та психолого-педагогічної літератури з проблеми дослідження, емпіричні – порівняльні – для констатування стану розв'язання проблеми

Наукова новизна. Отримали подальший розвиток використання віртуального середовища у навчальному процесі на кафедрі ВНЗ III-IV р.а.

Практичне значення. Інтеграція освіти України в освітній простір Європи неминує спричиняє її модернізацію. Ключовими питаннями цього процесу є впровадження кредитно-модульної системи навчання, використання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) та мережі Інтернет, робиться акцент на самостійну роботу студентів, інноваційну діяльність викладацького складу ВНЗ. Стрімкий розвиток ІКТ змінює погляд на віртуальне навчання, яке все більше представляє собою реальне навчання перенесене у віртуальну площину. За таких умов ефективним засобом, що дозволяє підвищити процес підготовки фахівців є віртуальні середовища (ВНС). Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці рекомендацій по впровадженню систем віртуального навчального середовища у навчальному процесі на кафедрі ВНЗ III-IV р.а.

Результати. В результаті досліджень проведено аналіз досвіду використання віртуального навчального середовища ВНЗ; проведено дослідження особливостей застосування віртуального навчального середовища; розроблено рекомендації по впровадженню віртуального навчального середовища у навчальному процесі на кафедрі ВНЗ III-IV р. а.

Ключові слова: інформаційно-комунікаційні технології, інтеграція, віртуальне навчання, дистанційне навчання, середовище, викладач, платформа, вищий навчальний заклад.

Ilchenko O.V., Serbina A.O. Analysis of using the virtual learning environment of university

Purpose. The educational environment today is rapidly changing new realities and new needs in education. One of the most popular innovative activities is the training by means of a virtual educational environment. The purpose of the work is the theoretical justification of the use of virtual learning environment systems in the education at the department of the III-IV level of accreditation.

Research methods. Theoretical – study, generalization, systematization and analysis of scientific-methodical and psychological-pedagogical literature on the research problem, empirical – comparative – to ascertain the state of solving the problem

Scientific novelty. Further development of the virtual environment in the educational process at the department of universities of the III-IV level of accreditation.

Practical significance. The integration of Ukrainian education into the European educational space inevitably leads to its modernization. The key issues of this process are the implementation of the credit-modular system of education, the use of information and communication technologies (ICT) and the Internet, emphasis is placed on the independent work of students, innovative activities of the teaching staff of universities. The rapid development of ICT is changing the view of virtual learning, which increasingly represents real learning transferred to the virtual plane. Under such conditions, virtual environments are an effective means of improving the training specialists. The practical significance of the obtained results lies in the development of recommendations for the implementation of virtual learning environment systems in the educational process at the department of universities of the III-IV level of accreditation.

Results Analysis of using the virtual educational environment of higher education institutions was carried out; a study of the peculiarities of the use of the virtual educational environment was carried out; developed recommendations for the implementation of a virtual learning environment in the educational process at the department of universities of the III-IV level of accreditation.

Key words: information and communication technologies, integration, virtual learning, distance learning, environment, teacher, platform, higher education institution.

УДК 528.4

Куліковська О.Є., Ковалишин О.Ф., Ступень Р.М., Рій І. Ф. Результати використання інформації екомоніторингу Кривбасу для картографування стану довкілля міського середовища

Мета. Дослідження можливостей використання сучасних технологій отримання картографічних матеріалів моніторингу і прогнозування розвитку екологічних змін довкілля Кривбасу із урахуванням результатів спостереження за викидами небезпечних речовин для навколишнього середовища.

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 геоінформаційних технологій для картування та дослідження небезпечних впливів на довкілля у гірничодобувному регіоні. Інформаційною базою дослідження слугували результати екомоніторингу Кривбасу, монографії, збірники наукових праць, періодичні фахові видання, Інтернет-ресурси.

Наукова новизна. Показано можливості застосування сучасних програмних методів опрацювання і картографування даних екомоніторингу, які забезпечують оперативне автоматизоване отримання картографічних матеріалів із заданою точністю і необхідним обсягом інформації щодо виявлення небезпечних територій для населення у крупному промисловому місті.

Практична значимість. Визначається цільовим спрямуванням даного дослідження для потреб фахівців гірничопромислового комплексу Криворізького регіону та громади міста Кривого Рогу. Запропонований підхід для картографування змін розповсюдження шкідливих для здоров'я населення за ступенем загрози стане допоміжним матеріалом для початку дослідницької роботи з вивчення просторово-часової зміни довкілля гірничопромислових територій Кривбасу та, відповідно, передумовою їх районування на локальному та регіональному рівнях.

Результати. Встановлено, що система моніторингу є складовою частиною національної інформаційної інфраструктури, сумісної з аналогічними системами інших країн. Доведено, що специфічну вагомість при цьому відводиться забезпеченню екологічною інформацією мешканців міста. Рекомендовано створення спеціальних карт, які будучи комплексними за змістом, із спільним зображенням взаємопов'язаних об'єктів і явищ із зазначенням їх характеристик, котрі будуть джерелом інформації для екологічної діагностики. Наведено приклади побудованих карт розповсюдження пилу із використанням сучасного програмного комплексу Surfer міського середовища Кривого Рогу за даними станцій спостережень екологічного моніторингу. Аргументовано положення: з розвитком комп'ютерних технологій автоматизація процесу картування дозволить отримувати коректні та актуальні результати зацікавленим користувачам.

Ключові слова. Картографування, цифрова модель, екомоніторинг, аналіз, екологічна інформація, гірничопромисловий регіон, Кривбас, екологічна безпека, гірничопромисловий комплекс.

Kulikovska O. Ye., Kovalyshyn O. F., Stupen R.M., Rii I.F. Results of ecological monitoring in Kryvbas for mapping the state of the urban environment

Purpose. To investigate the using modern technologies for obtaining cartographic materials for monitoring and forecasting the environmental changes in Kryvyi Rih, taking into account the emissions of hazardous substances to the environment.

Research methods. Logical laws of drawing conclusions and special methods of cognition. The study relied on the world experience of using geographic information technologies for mapping and studying hazardous environmental impacts in the mining region. The results of environmental monitoring of Kryvbas, monographs, collections of scientific papers, periodicals, and Internet resources.

Scientific novelty. The possibilities of applying modern software methods for processing and mapping environmental monitoring data, which provide rapid automated production of cartographic materials with a given accuracy and the required amount of information to identify hazardous areas for the population in a large industrial city, are shown.

Practical significance. The purpose of this study is determined by the needs of specialists in the mining industry of the Kryvyi Rih region and the community of Kryvyi Rih. The proposed approach to mapping changes in the distribution of hazards to public health by the degree of threat will be an auxiliary material for starting research work on the study of spatial and temporal environmental changes in the mining areas of Kryvyi Rih and, accordingly, a prerequisite for their zoning at the local and regional levels.

Results. The monitoring system is an integral part of the national information infrastructure, compatible with similar systems in other countries. A specific importance is given to the provision of environmental information to city residents. The author recommends the creation of special maps that are comprehensive in content, with a joint depiction of interrelated objects and phenomena, indicating their characteristics, which will be a source of information for environmental diagnostics. Examples of dust distribution maps using the modern software package Surfer of the urban environment of Kryvyi Rih based on data from environmental monitoring stations are presented. It is argued that with the development of computer technologies, the automation of the mapping process will allow obtaining correct and up-to-date results for interested users.

Key words: mapping, digital model, environmental monitoring, analysis, environmental information, mining region, Kryvbas, environmental hazard, mining complex.

УДК 621.311

Міщенко В.Ю. Дослідження можливості підвищення енергоефективності руднотермічної печі шляхом вибору доцільного діаметру розпаду електродів

Мета. З'ясувати доцільність зміни діаметру розпаду електродів заданого типу руднотермічної печі та складу використовуваної шихти задля підвищення енергоефективності її роботи.

Методи дослідження. Проаналізовані існуючі підходи щодо вирішення цього питання з відомих наукових джерел. Для подальшого вирішення поставлених задач використано математичне моделювання та розрахункові експерименти.

Наукова новизна. Виявлено, що попередні дослідження робились на реальних печах малої потужності і не враховували всі можливі обмежувальні фактори. До недоліків таких натуральних експериментів можна віднести наступне: - не врахована критично допустима межа близькості електродів до футерування ванни; - не розглянуто й компонентно-кількісний склад шихти, який теж впливає на енергетичні показники РТП. Запропоновано на комплексній моделі роботи круглої трьохелектродної руднотермічної печі, провести вище зазначені експерименти та з'ясувати динаміку зростання температури в різних окремих її зонах. На основі цих розрахункових досліджень щодо зміни діаметру розпаду електродів задля знаходження допустимої граничної межі їх розведення виявити можливість більш рівномірного прогріву шихти для різного її компонентно-кількісного складу.

Практична значимість. Отримані результати показали, що збільшення діаметру розпаду електродів суттєво підвищує енергоефективність печі, однак існують обмеження пов'язані з належною експлуатацією футерування печі при надто близькому розташуванні до них. Слід також зазначити, що представлена в роботі методика та використаний

інструментарій дозволяють проводити подальші подібні дослідження для будь-яких печей такого типу та різного компонентно-кількісного складу шихти і, зменшуючи дискретність діаметру розпаду електродів, точніше визначити бажану його величину.

Результати. У кожному конкретному випадку необхідно визначати допустиму межу розведення електродів. Для існуючих в Україні печей необхідно мати конструктивний механізм щодо можливості такого розведення. Встановлено, що компонентно-кількісний склад шихти, хоч і не в значній мірі, також впливає на обсяги споживання піччю електричної енергії. Крім того за рахунок доцільного розведення електродів в печі, спостерігається ще і скорочення часу плавки, а це підвищує продуктивність обладнання та ефективність використання футеровки і електродів.

Ключові слова: руднотермічна піч, діаметр розпаду електродів, енергоефективність, електрична енергія, комплексна математична модель, компонентно-кількісний склад шихти

Mishchenko V. Yu. On the possibility of increasing the energy efficiency of the ore-thermal furnace by choosing the appropriate diameter of the breakdown of the electrodes

Purpose. To find out the expediency of changing the diameter of the breakdown of the electrodes of a given type of ore-thermal furnace and the composition of the used charge in order to increase the energy efficiency of its operation.

Research methods. Existing approaches to solving this issue from known scientific sources are analyzed. Mathematical modeling and computational experiments were used to further solve the problems.

Scientific novelty. It was found that the previous studies were done on real low-power furnaces and did not take into account all possible limiting factors. The disadvantages of such natural experiments include the following: - the critically permissible limit of the proximity of the electrodes to the lining of the bath is not taken into account; - the component-quantitative composition of the charge, which also affects the energy performance of OTF, is not considered. It is proposed to conduct the above-mentioned experiments and find out the dynamics of temperature growth in its various separate zones on the complex model of the operation of a circular three-electrode ore-thermal furnace. On the basis of these calculation studies regarding the change in the diameter of the breakdown of the electrodes in order to find the permissible limit of their dilution, the possibility of more uniform heating of the charge for its different component and quantitative composition should be identified.

Practical significance. Increasing the diameter of the breakdown of the electrodes significantly increases the energy efficiency of the furnace, but there are limitations associated with the proper operation of the lining of the furnace when it is located too close to them. The methodology presented in the work and the tools used allow further similar studies to be carried out for any furnaces of this type and different component-quantitative composition of the charge and, by reducing the discreteness of the diameter of the breakdown of the electrodes, more precisely determine its desired value.

Results. In each specific case, it is necessary to determine the permissible limit of dilution of the electrodes. For furnaces existing in Ukraine, it is necessary to have a constructive mechanism regarding the possibility of such dilution. The component-quantitative composition of the charge, although not to a significant extent, also affects the amount of electricity consumed by the furnace. Due to the appropriate separation of the electrodes in the furnace, there is also a reduction in the melting time, which increases the productivity of the equipment and the efficiency of the use of the lining and electrodes.

Key words: ore-thermal furnace, electrode breakdown diameter, energy efficiency, electric energy, complex mathematical model, component-quantitative composition of the charge.

УДК 624.15

Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Савенко В.О., Белков О.А., Гаркуша А.І., Кокович А.В. Напружено-деформований стан плитно-пального фундаменту

Мета. Дослідження напружено-деформованого стану плитно-пального фундаменту і створення методів розрахунку для визначення несучої здатності та осідань для плитно-пальових фундаментів.

Методи дослідження. Основою досліджень є джерела в галузі геотехніки та пальових фундаментів авторами яких є вітчизняні та зарубіжні вчені, теоретичні та експериментальні методи які базуються на експериментальних дослідженнях, узагальненні та порівнянні результатів.

Наукова новизна. Розглянуто дані щодо особливостей поведінки плитно-пального фундаменту при циклічному навантаженні, розвитку осідань і втрати несучої здатності. Досліджено розрахункову модель деформування елементів конструкції плитно-пального фундаменту з урахуванням напружено-деформованого стану, що виникає під час циклічного навантаження. Розглянуто аналітичні залежності для опису процесу зміни несучої здатності та осідання плитно-пального фундаменту при циклічному навантаженні. Розглянуто метод розрахунку несучої здатності й осідань основ плитно-пальових фундаментів при циклічному навантаженні.

Практична значимість. Полягає у викладених інженерних методиках визначення несучої здатності та деформацій плитно-пальових фундаментів, які дають змогу оцінити вплив циклічного навантаження на будівлі та споруди, зведені на плитно-пальових фундаментах, з можливістю отримання оптимальних проектних рішень під час проектування плитно-свайних фундаментів.

Результати. Проведено аналіз методів розрахунку несучої здатності та деформацій пальових, плитних і плитно-пальових фундаментів у разі циклічного та статичного навантаження, які існують на сьогодні, огляд та оцінку результатів експериментальних і теоретичних досліджень та розрахункових моделей для плитно-пальових фундаментів у разі циклічного і статичного навантаження. Визначено деформації та напруження, що виникають в елементах плитно-пального фундаменту під час дії циклічного навантаження. Визначення взаємодії між елементами системи "палі - плитний ростверк - ґрунтова основа" під час дії циклічного навантаження на будь-який плитно-пальовий фундамент. Розглянуто розрахункову модель для плитно-пального фундаменту під час дії навантаження за циклічним законом.

Ключові слова: плитно-пальовий фундамент, несуча здатність, осідання, ґрунтова основа, напружено-деформований стан

Timchenko R.O., Krishko D.A., Savenko V.O., Belkov O.A., Garkusha A.I., Kokovich A.V. Stress-strain state of slab-pile foundation

Purpose. To investigate the stress-strain state of the slab-pile foundation and to develop calculation methods for determining the bearing capacity and settlements for slab-pile foundations.

Research methods. The basis of the research is the sources in the geotechnics and pile foundations, authored by domestic and foreign scientists, theoretical and experimental methods based on experimental studies, generalization and comparison of results.

Scientific novelty. The data on the peculiarities of the behavior of slab-pile foundations under cyclic loading, the development of settlements and loss of bearing capacity are considered. A computational model of deformation of the structural elements of the slab-pile foundation was investigated, taking into account the stress-strain state arising during cyclic loading. The analytical dependencies for describing the process of change in the bearing capacity and settlement of the slab-pile foundation under cyclic loading are considered. The method for calculating the bearing capacity and settlements of slab-pile foundations under cyclic loading is considered.

Practical significance. The engineering methods for determining the bearing capacity and deformations of slab-pile foundations assess the impact of cyclic loading on buildings and structures erected on slab-pile foundations, with the possibility of obtaining optimal design solutions when designing slab-pile foundations.

Results. An analysis of the methods for calculating the bearing capacity and deformations of pile, slab, and slab-pile foundations under cyclic and static loading that exist today, a review and evaluation of the results of experimental and theoretical studies and design models for slab-pile foundations under cyclic and static loading. The deformations and stresses that occur in the elements of the slab-pile foundation under cyclic loading are determined. The interaction between the elements of the system "piles - slab grillage - soil base" under the action of cyclic loading on any slab-pile foundation is determined. The design model for a slab-pile foundation under cyclic load is considered.

Key words: slab-pile foundation, bearing capacity, settlement, soil base, stress-strain state.

УДК 621.312

Сінчук І.О., Котякова М.Г. Підхід до покращення якісних показників електроенергії залізрудних підприємств

Мета. Розробка адаптивної системи керування інверторами джерел розосередженої генерації з мінімізацією гармонічних викривлень вихідної напруги. Даний напрямок є актуальним у зв'язку з бурхливим розвитком джерел відновлювальної енергії, потенційним їх впливом на зниження якості електричної енергії, а також активним впровадженням інтелектуалізації промислових підприємств.

Проаналізовано показники якості електричної енергії та визначено найбільш значимі для розподільчих мереж залізрудних підприємств. Запропоновано підхід адаптивного керування та контролю оптимальним рівнем якості електричної енергії за критерієм впровадження інтелектуальних технологій в виробничі процеси.

Методи дослідження. Використано аналітичні методи – для дослідження рівнів відхилень електричної енергії у мережі залізрудного підприємства та нечітких нейронних мереж для побудови адаптивної системи контролю та керування якістю електричної енергії в розподільчих електромережах.

Наукова новизна. Вперше запропоновано підхід щодо адаптивної системи контролю та керування якістю електричної енергії з мінімізацією гармонічних викривлень вихідної напруги в умовах розподільчих мереж залізрудних підприємств.

Практична значимість. Запропонований підхід покращення якості показників електричної енергії залізрудних підприємств може мати практичне втілення при інтеграції відновлювальних джерел енергії в розподільчі мережі підприємств, а також при інтелектуалізації промислових процесів.

Результати. У статті запропоновано підхід щодо вирішення наукового завдання з теоретичного обґрунтування та розбудови принципів визначення, контролю параметрів показників якості електричної енергії та побудови систем коригування енергетичних показників електричної енергії шляхом керованого впливу на роботу мережевого інвертора, за рахунок застосування теорії нейро-нечітких мереж у системі керування його роботою за даними діючого значення основних показників якості електричної енергії та імперично розрахованих показників втрат електричної енергії у розподільчій мережі залізрудних підприємств. Результати моделювання запропонованого підходу контролю та керування рівнем якості електричної енергії у мережі показав достатній нормований рівень якості електричної енергії для впровадження сучасних інтелектуальних технологій.

Ключові слова: система електропостачання, показники якості електричної енергії, електропостачання, відновлювальні джерела енергії, якість електричної енергії

Sinchuk I.O., Kotyakova M.G. Approach to improving the quality indicators of electricity of iron ore enterprises

Purpose. To develop an adaptive control system for inverters of distributed generation sources with minimization of harmonic distortions of the output voltage. This direction is relevant in connection with the rapid development of renewable energy sources, their potential impact on reducing the quality of electrical energy, as well as the active implementation of intellectualization of industrial enterprises.

The indicators of the quality of electric energy were analyzed and the most significant for the distribution networks of iron ore enterprises were determined. The approach of adaptive management and control of the optimal level of electrical energy quality based on the criterion of introducing intelligent technologies into production processes is proposed.

Research methods. Analytical methods were used to solve the problems and analyze statistical data - to study the levels of electrical energy deviations in the network of an iron ore enterprise and fuzzy neural networks to build an adaptive system of control and management of the quality of electrical energy in distribution networks.

Scientific novelty. For the first time, an approach regarding an adaptive system of control and management of the quality of electrical energy with minimization of harmonic distortions of the output voltage in the conditions of distribution networks of iron ore enterprises is proposed.

Practical significance. The proposed approach to improving the quality of electrical energy indicators of iron ore enterprises can have a practical implementation in the integration of renewable energy sources in the distribution networks of enterprises, as well as in the intellectualization of industrial processes.

Results. The article proposes an approach to solving the scientific task of theoretical substantiation and development of the principles of determining, controlling the parameters of the quality indicators of electric energy and building systems for adjusting the energy indicators of electric energy by means of a controlled influence on the operation of a network inverter, due to the application of the theory of neuro-fuzzy networks in its control system by working according to the data of the current value of the main indicators of the quality of electric energy and imperially calculated indicators of electric energy losses in the distribution network of iron ore enterprises. Taking into account the relevance and necessity of using PLC technology to transmit information in the Micro Grid of iron ore enterprises, there is a need to implement adaptive management of the quality of electric energy in the network of these enterprises in a centralized-decentralized way, in order to maintain the appropriate level of indicators of the quality of electric energy in the network. The simulation results of the proposed approach to control and manage the level of electrical energy quality in the network showed a sufficient standardized level of electrical energy quality for the implementation of modern intelligent technologies.

Key words: power supply system, power quality indicators, power supply, renewable energy sources, power quality.

УДК 621.311:620.92

Шрам О.А., Качан Ю.Г. Визначення доцільних засобів накопичення електроенергії в мережах промислових підприємств

Мета. Аналіз сучасних способів накопичення електроенергії, які можуть бути використані в мережах промислових підприємств та визначення доцільності їх застосування.

Методи дослідження. У статті використано теоретичні та емпіричні загальнонаукові методи дослідження, опис, аналіз та узагальнення тощо.

Наукова новизна. В роботі представлено аналіз доцільності використання різних засобів накопичення електричної енергії в мережах промислових підприємств з метою зменшення перетоків енергії при використанні відновлюваних джерел.

Практична значимість дослідження полягає в визначенні доцільних засобів накопичення електроенергії в мережах промислових підприємств, оскільки дає можливість зменшити небажані двонаправлені переток енергії та знизити її втрати.

Результати. В статті розглянуто сучасні способи накопичення електроенергії, які можуть бути використані в мережах промислових підприємств. До них відносяться акумуляторні батареї, двошарові електростатичні конденсатори, гідроакумуляуючі станції та водневі установки. Проведений аналіз технічних параметрів різних типів літєвих акумуляторних батарей показав, що використання цього засобу накопичення ускладнене через проблеми організації плаваючого заряджання та неможливості роботи в режимі струмових перевантажень. Використання суперконденсаторів в якості накопичувачів енергії обмежено значною питомою вагою високою вартістю. В той же час паралельна робота суперконденсаторів разом з акумуляторними батареями дозволяє суттєво покращити експлуатаційні характеристики останньої. Проведено аналіз використання гідроакумуляуючих станцій в мережах з відновлюваними джерелами енергії. Зазначено, що для ефективної роботи гідроакумуляуючої станції на території підприємства необхідно вирішити проблему накопичення великої кількості води. Високий потенціал щодо ефективного зберігання енергії мають новітні натепер водневі накопичувачі.

В статті розглянуто сучасні способи перетворення водню в електричну енергію за допомогою твердооксидних паливних елементів. Представлено технічні характеристики паливних комірок найбільш крупних виробників США, Канади, Німеччини, Японії, Південної Кореї.

Ключові слова: накопичувач енергії, відновлювані джерела енергії, паливна комірка, воднева енергетика, суперконденсатор, електрична енергія

Shram O.A., Kachan Yu.G. Determination of appropriate energy storage devices in the power grids of industrial enterprises

Purpose. To analyze the modern methods of electricity storage that can be used in the networks of industrial enterprises and determine the feasibility of their application.

Research methods. The article uses theoretical and empirical general scientific research methods, description, analysis and synthesis.

Scientific novelty. The analysis of the feasibility of using various types of electric energy storage in the networks of industrial enterprises in order to reduce energy flows when using renewable sources.

Practical significance. The appropriate methods of electricity storage in the networks of industrial enterprises makes it possible to reduce unwanted bidirectional energy flows and reduce energy losses.

Results. The article discusses modern methods of electricity storage that can be used in the networks of industrial enterprises. These include rechargeable batteries, double-layer electrostatic capacitors, hydroelectric storage stations and hydrogen units. The analysis of the technical parameters of different types of lithium batteries showed that the use of this storage device is complicated due to the problems of organizing floating charging and the inability to operate in the current overload mode. The use of supercapacitors as energy storage devices is limited by their significant specific weight and high cost. At the same time, the parallel operation of supercapacitors with batteries can significantly improve the performance of the battery. An analysis of the use of hydroelectric storage stations in networks with renewable energy sources is carried out. It is noted that for the efficient operation of a hydroelectric storage station on the territory of an enterprise, it is necessary to solve the problem of accumulating a large amount of water. The latest hydrogen storage devices have a high potential for efficient energy storage. The article discusses modern methods of converting hydrogen into electrical energy using solid oxide fuel cells. The technical characteristics of fuel cells from the largest manufacturers in the USA, Canada, Germany, Japan, and South Korea are presented.

Key words: energy storage, renewable energy sources, fuel cell, hydrogen energy, supercapacitor, electric energy.

УДК 622.7

Самойлов А.І., Редька А.М. Оптимізація режимів гравітаційного збагачення вугілля

Мета. Встановлення науково обґрунтованих умов побудови кривої елементарних зольностей та створення методики розрахунку показників для корегування режимів гравітаційного збагачення вугілля, що забезпечують максимальний вихід концентрату при потрібній якості.

Методи дослідження. Поставлене завдання вирішене з використанням аналізу літературних джерел, досліджень фракційних складів вугілля різної крупності і марок та методу апроксимації даних.

Наукова новизна. Показана некоректність існуючих методик побудови кривої зольності елементарних фракцій. Отримано рівняння, що зв'язує зольність елементарної фракції з зольністю та виходом сумарної фракції, що впливає. Розроблена методика розрахунку координат точок для побудови кривої зольності елементарних фракцій з використанням рівнянь зв'язку між фактичними сумарними параметрами фракцій. Запропоновані критерії оцінки точності побудови кривої зольності елементарних фракцій з використанням розрахунку кількості зольних одиниць фракцій при інтегруванні апроксимаційного рівняння та результатів апроксимації за даними важких фракцій, що потонули. Показано, що максимальний вихід концентрату при роздільному збагаченні вугілля можна досягти як при рівності зольностей елементарних шарів меж розділення згідно з положенням теореми Рейнгардта, так і при однаковій густині розділення.

Практичне значення. Режим збагачення вугілля різних марок Донбасу, що забезпечують рівні зольності елементарних шарів меж розділення чи густини розділу, дозволяють підвищити вихід концентрату при гравітаційному збагаченні в середньому на 0,4 % відносних в порівнянні з випуском концентратів машинних класів однакової зольності. Використання отриманих висновків доцільне для збагачувальних фабрик з найбільш прогресивною технологією, що включає процеси розділення у важкому середовищі. У цьому випадку густини розділу і важкої суспензії мають досить стабільну різницю, що дозволяє здійснювати оперативне регулювання режимів роботи апаратів.

Результати. На збагачувальній фабриці «Свято-Варваринська» застосування рекомендованих режимів дозволяє підтримувати середню зольність крупних відходів на рівні не нижче 86 – 87 %.

Ключові слова: вугілля, фракційний аналіз, криві збагачення, гравітаційне збагачення, режим розділення, вихід концентрату.

Samoilov A.I., Redka A.M. Optimization of the gravity enrichment regimes for coals

Purpose. To establish scientifically based conditions for constructing a curve of elemental ash content and to create a methodology for calculating indicators for adjusting the gravity enrichment regimes for coals, which ensure the maximum yield of the concentrate at the required quality.

Research methods. The problem was solved using the analysis of literary sources, studies of the fractional compositions of coal of different sizes and degree of metamorphism, and the method of data approximation.

Scientific novelty. The incorrectness of the existing methods for constructing the ash content curve for elementary fractions is shown. An equation is obtained that relates the ash content of the elementary fraction with the ash content and the yield of the surfaced total fraction. A method of calculating the coordinates of points for constructing the ash curve of elementary fractions using the equations of the relationship between the actual total parameters of the fractions has been developed. Criteria are proposed for assessing the accuracy of constructing the ash content curve for elementary fractions using the calculation of the number of ash units of fractions by integrating the approximation equation and the results of approximation from the data of sunk heavy fractions. It is shown that the maximum yield of the concentrate in the separate enrichment of coal can be achieved both with the equality of the ash content of the elementary layers of the separation boundaries in accordance with the Reinhardt position, and with the equality separation density.

Practical significance. The modes of enrichment of coal of different grades of Donbass, providing the equal levels of ash content of elementary layers of separation boundaries or separation density, allow increasing the yield of concentrate during gravity enrichment by an average of 0.4 % relative compared to the production of concentrates of machine classes of the same ash content. The use of the obtained conclusions is expedient for concentrating plants with the most advanced technology, including separation processes in a heavy medium. The densities of separation and heavy suspension have a fairly stable difference make it possible to quickly adjust the operating modes of the apparatuses.

Results. At the preparation plant "Svyato-Varvarinska", the use of the recommended modes allows maintaining the average ash content of large wastes at a level of at least 86 – 87 %.

Key words: coal, fractional analysis, enrichment curves, gravity enrichment, separation mode, concentrate yield.

УДК 681.03

Вдовиченко І.Н. Алгоритм аналізу результатів анкетування студентів з метою забезпечення якості вищої освіти

Мета. Проведення аналізу питань застосування багатокритеріальних експертних оцінок у системі освіти. Розгляд досвіду робіт науковців, який свідчить про наявність потреби доопрацювання питань аналізу результатів соціальних опитувань, використання експертних методів та їх запровадження в освітню галузь.

Методи дослідження. Застосовано теоретичний метод дослідження. Для вирішення задач використовуються методи, які активно застосовуються на практиці: метод статистичної обробки результатів, метод порівняльного аналізу, експертні методи, метод візуалізації.

Наукова новизна. Тема актуальна, так як дає можливість підвищити якість вищої освіти. Вивчення літературних джерел показало, що цьому питанню приділено недостатньо уваги. У статті представлено математичну модель обробки експертних оцінок, запропоновано критерії оцінки альтернатив та оціночні шкали, що враховують специфіку системи освіти. Результатом теми роботи є обґрунтування доцільності застосування певних експертних та статистичних методів для одержання об'єктивних даних.

Практична значимість. У роботі розроблено схему експертних методів, яка демонструє різноманіття вибору шляхів вирішення проблеми. Запропоновано алгоритм обробки та аналізу результатів анкетування студентів. При побудові

алгоритму ставилося завдання: після обробки результатів анкетування отримати найбільш об'єктивні оцінки оцінюваних альтернатив. Для цього запропоновано враховувати: ваги студентів, запропоновано різноманіття критеріїв, вагу оціночних критеріїв, шкали. Запроваджено використання нових інструментів контролю якості освіти. При використанні викладеного в статті підходу, можна очікувати на об'єктивне підвищення якості підбору викладачів, якості проведення занять і як результат, підвищення якості освіти.

Результати. Запропоновано один із підходів підвищення якості вищої освіти. Автор наголошує на необхідності формування кластерів експертів для врахування результатів анкетування за окремими кластерами. Вказані та проаналізовані підходи, при використанні в освіті нададуть об'єктивну основу для прийняття управлінських рішень. Важливим результатом є те, що визначено та заплановано перспективні напрями подальших досліджень цієї теми для підвищення ефективності обробки та об'єктивності результатів анкетування студентів.

Ключові слова: алгоритм, експертні оцінки, анкетування, критерії, альтернативи.

Vdovychenko I.N. The algorithm for analyzing the results of a student survey to ensure the quality of high education

Purpose. To conduct an analysis of nutrition and establish a rich criteria of expert assessments of the education system. Consideration of the experience of scientists, which indicates the need to finalize the issues of analysis of social survey results, use of expert methods and their introduction into the educational sector.

Research methods. The theoretical method is applied. To solve problems, methods are used that are actively used in practice: statistical method, method of comparative analysis, expert methods and method of visualization.

Scientific novelty. The article presents a mathematical model for processing expert assessments, sets criteria for assessing alternatives and rating scales to cover the specifics of the education system. The result of the research topic is the substantiation of the expediency of using certain expert and statistical methods to obtain objective data.

Practical significance. In the article the scheme of expert methods has been developed which demonstrates the diversity in the choice of solutions to the current problem. The algorithm for processing and analyzing the results of student questionnaires has been developed. While building the algorithm the task was: after processing the results of the questionnaire, select the most objective assessments of the evaluated alternatives. For this purpose the following was taken into account: the types of students, the variety of criteria, the range of evaluation criteria, scales. The use of new tools for control of education quality has been introduced. When using the approach described in the article, we can expect an objective improvement in the quality of teacher selection, the quality of classes and as a result, improving the quality of education.

Results: One of the approaches to improve the quality of high education was confirmed. The author insists on the importance of forming clusters of experts in order to collect the survey results from adjacent clusters. These and analyzed approaches, when used in education, will provide an objective basis for making management decisions. An important result is that promising direct further research is planned to improve the efficiency of processing and the objectivity of the student survey results.

Key words: algorithm, expert assessments, questionnaire, criteria, alternatives.

УДК 622.7

Олійник Т.А., Вільгельм М.М. Особливості коагуляції частинок та адсорбція реагентів на поверхні пінного продукту флотації

Мета. Оцінка можливості зниження впливу коагуляції частинок та адсорбції реагентів на поверхні пінного продукту флотації. Огляд існуючих досліджень у цьому напрямку з метою пошуку оптимальних методів для вирішення даної проблеми. Розгляд механічних, вібраційних, хімічних та інших методів з метою вибору найбільш оптимального для вирішення поставленої мети.

Методи дослідження. При проведенні досліджень застосовувались наступні методи: наукове вивчення та узагальнення матеріалу в рамках існуючої проблеми; експериментальні - попередня підготовка пінного продукту методом розмагнічування в магнітному полі; визначення характеристик пінного продукту до операції розмагнічування та після; включення у схему методів магнітної сепарації та флотації з метою отримання продукту з покращеними технологічними характеристиками; проведення хімічних аналізів продуктів технологічних схем.

Наукова новизна. У ході експериментальних досліджень встановлено вплив підготовки пінного продукту з використанням магнітного поля перед наступними операціями збагачення. Виявлено відповідність пінного продукту до вологості піни зі сферичними бульбашками. Встановлено закономірність збільшення технологічних показників пінного продукту за рахунок зменшення коагуляції частинок під впливом магнітного поля. Визначені відповідності та закономірності надають можливість їх використання у якості вихідних даних для створення математичної моделі.

Практичне значення. В рамках досліджень отримані результати – підвищення вмісту заліза загального у магнітному продукті з 44,6 до 47,02% та у камерному продукті флотації з 59,3 до 61,42 %, при збільшенні виходу камерного продукту флотації на 7,1 % при застосуванні операції розмагнічування. Ці дані підтверджують вплив, застосованої операції для зміни фізико-механічних властивостей пінного продукту, включення в технологічну схему додаткових операцій та формування напрямку подальших досліджень. Практична значущість також може бути оцінена внаслідок проведення промислових випробувань та отримання додаткової товарної продукції або використанні нового продукту в існуючій схемі з покращеними технологічними показниками.

Результати. В рамках досліджень підтверджено гранулометричний, мінералогічний та хімічний склад пінного продукту. Застосовані методи розмагнічування, магнітної сепарації та флотації, є доцільними при доведенні пінного продукту, але потребують детального вивчення з метою вдосконалення та отримання найкращих результатів.

Ключові слова: продукт пінний, коагуляція, адсорбція, магнітне поле, магнітна сепарація, флотація.

Oliinyk T.A., Vilhelm M.N. Features of particle coagulation and adsorption of reagents on the surface of the froth flotation product

Purpose. To assess the possibility of reducing the impact of particle coagulation and adsorption of reagents on the surface of the frothy flotation product. Review of existing research in this area to find the most appropriate methods for solving this

problem. Consideration of mechanical, vibration, chemical and other methods in order to select the most optimal one for solving the problem.

Research methods. Scientific study and generalization of the material within the framework of the existing problem; experimental - preliminary preparation of the froth product by demagnetization in a magnetic field; determination of the characteristics of the froth product before and after demagnetization; inclusion of magnetic separation and flotation methods in the scheme to obtain a product with improved technological characteristics; chemical analysis of the products of technological schemes.

Scientific novelty. Experimental studies have established the effect of preparing the froth product using a magnetic field before subsequent enrichment operations. The conformity of the froth product to the wet froth with spherical bubbles was revealed. The regularity of increasing the technological parameters of the froth product by reducing the coagulation of particles under the influence of a magnetic field was established. The identified correspondences and regularities make it possible to use them as input data for creating a mathematical model.

Practical value. The results obtained in the study include an increase in the total iron content in the magnetic product from 44.6 to 47.02% and in the chamber flotation product from 59.3 to 61.42%, with an increase in the chamber flotation yield by 7.1% when the demagnetization operation was applied. These data confirm the impact of the applied operation on changing the physical and mechanical properties of the froth product, the inclusion of additional operations in the technological scheme, and the formation of the direction of further research. Practical significance can also be assessed as a result of industrial tests and the production of additional marketable products or the use of a new product in an existing scheme with improved technological performance.

Results. The research confirmed the particle size distribution, mineralogical and chemical composition of the froth product. The applied methods of demagnetization, magnetic separation, and flotation are appropriate for refining the froth product, but require detailed study in order to improve and obtain the best results.

Key words: froth product, coagulation, adsorption, magnetic field, magnetic separation, flotation.

УДК 622.271; 622.235

Пижик А.М., Пижик М.М., Пашкова І.О., Пижик С.А. Технологія складування безрудних гірських порід у виробленому просторі виведеного з експлуатації кар'єру

Мета. Проблема рекультивції навколишнього середовища на сучасному рівні розвитку гірничодобувного виробництва досягла екстремальних значень. Сотні тисяч гектарів природних ресурсів практично назавжди виведені з балансу сільськогосподарських угідь. Сучасне гірське виробництво, як ніколи, гостро потребує розробки ефективних ресурсозберігаючих технологій. Мета наданої роботи присвячена саме цьому питанню і полягає в розробці ефективної технології складування безрудних гірських порід у виробленому просторі виведеного з експлуатації кар'єру.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети роботи використано метод комплексного дослідження. Був виконаний достатньо глибокий аналіз патентних, наукових, довідкових літературних джерел та технічної документації. Був проаналізований сучасний досвід діючих гірничо-видобувних підприємств щодо технологій розміщення пустих порід у виробленому просторі гірничих виробок.

Наукова новизна. На вітчизняних гірничодобувних підприємствах станом на сьогоднішній день питання рекультивції порушених земель набрало своєї граничної значущості. Характерним прикладом може бути ландшафт Криворізького регіону. Сотні гектарів зайняті виробітками виведених з експлуатації кар'єрів. В наданій роботі запропоновано високоефективну технологію розміщення безрудних гірських порід у відкритих виробках виведених з експлуатації, яка характеризується високими техніко-економічними показниками.

Практична значимість. Пропонована технологія розміщення безрудних гірських порід у виробленому просторі кар'єрів, що виведені з експлуатації, характеризується принципово новим підходом до вирішення даного питання. Рішення, що рекомендується, характеризується високими техніко-економічними показниками, значними показниками інтенсифікації ведення робіт, суттєвим рівнем безпеки. На умови застосування даної технології не в якій мірі не впливають ні гірничо-гідрологічні не гірничо-технологічні характеристики виведеної з експлуатації гірничої виробки. В основі її використання закладені переваги вибуху на скидання.

Результати. Аналіз існуючих технологій розміщення безрудних гірських порід у виробленому просторі виведених з експлуатації відкритих гірських виробок свідчить, що всі вони характеризуються досить складними методиками їх реалізації на практиці, високими економічними показниками, наявністю граничних умов їх застосування. Пропонований метод повною мірою позбавлений даних недоліків і цілком гідний до використання на практиці. Він характеризується високими показниками інтенсифікації робіт, відсутністю залежності використання від гірничо-гідрологічних або гірничо-технологічних умов.

Ключові слова: вироблений простір, складування, безрудні гірські породи, технологічні та робочі параметри драглайну, призма можливого обрушення, технологічні свердловинні заряди, вибух на скидання.

Pyzhyk A.M., Pyzhyk M.M., Pashkova I.O., Pyzhyk S.A. Technology of storage of ore-free rocks in the produced space of a decommissioned quarry

Purpose. The problem of environmental reclamation at the current level of development of mining production has reached extreme values. Hundreds of thousands of hectares of natural resources are almost permanently removed from the balance of agricultural land. Modern mining production, more than ever, urgently needs the development of effective resource-saving technologies. The purpose of the presented work is devoted to these issues and consists in the development of an effective technology for storing ore-free rocks in the produced space of a decommissioned quarry.

Research methods. To achieve the goal of the work, the method of complex analysis was used. A sufficiently deep analysis of patent, scientific, reference literary sources and technical documentation was performed. The modern experience of the operating mining enterprises regarding the technologies of placement of empty rocks in the developed space of mine workings was deeply analyzed.

Scientific novelty. At domestic mining enterprises, as of today, the issue of re-cultivation of disturbed lands has gained extreme importance. A characteristic example can be the landscape of the Kryvyi Rih region. Hundreds of hectares are occupied by the workings of decommissioned quarries. For the first time, a highly efficient technology for the placement of ore-free rocks in decommissioned open pits, which is characterized by high technical and economic indicators, was proposed.

Practical significance. The proposed technology of placing ore-free rocks in the developed space of decommissioned quarries is characterized by a fundamentally new approach to solving this issue. The recommended solution is characterized by high technical and economic indicators, significant indicators of work intensification, and a significant level of safety. Neither the mining-hydrological nor the mining-technological characteristics of decommissioned mine workings affect the conditions of application of this technology to any extent. Its use is based on the advantages of an explosion on a reset.

Results. The analysis of the existing technologies for the placement of ore-free rocks in the developed space of decommissioned open mining shows that all of them are characterized by rather complex methods of their implementation in practice, high economic indicators, and the presence of limiting conditions for their use. The proposed method is completely devoid of these shortcomings and is quite worthy of use in practice. It is characterized by high indicators of work intensification, lack of dependence of use on mining-hydrological or mining-technological conditions.

Key words: produced space, stockpiling, ore-free rocks, technological and operational parameters of the dragline, prism of possible collapse, technological well charges, explosion on reset.

УДК 622.77

Олійник Т.А., Невзоров В. В. Тонке грохочення як спосіб вирішення технологічних питань при виробництві високоякісних залізрудних концентратів

Мета. Метою даних досліджень є оцінка можливості застосування тонкого грохочення у схемах переробки залізрудних концентратів для підвищення їх якості.

Методи дослідження. Вивчення та аналіз публікацій по застосуванню тонкого грохочення у різних галузях: нафтогазова, будівельна, видобувна та інші. Лабораторно-аналітичні дослідження для визначення найбільш оптимального місця використання тонкого грохочення в технологічних схемах діючого виробництва. Аналіз результатів лабораторно-аналітичних досліджень та формування напрямків наступних експериментів.

Наукова новизна. В рамках дослідження встановлено, що тонке грохочення є сучасним та перспективним методом, який можливо застосовувати в технологічних схемах збагачення залізрудних концентратів. При проведенні подальших експериментів необхідно визначити оптимальні параметри грохочення, а також сформувати залежності ефективності розділення від витрат води, амплітуди коливань, навантаження на грохот та інші.

Практичне значення. Використання тонкого грохочення для руд з низьким вмістом корисного компонента, дозволяє раціонально використовувати природні ресурси, а також оптимізувати технологічні процеси за рахунок підвищення їх ефективності. Ефективність розділення грохотів тонкого грохочення складає 70-80%, що на 25-30% вище ефективності класифікації в гідроциклонах, в діючих схемах виробництва. Для підтвердження практичного значення виконаного аналізу потрібно проведення промислових випробувань.

Результати. В рамках виконаного аналізу підтверджено можливість використання тонкого грохочення для підвищення якості залізрудної продукції та зниження її собівартості. Визначено переваги тонкого грохочення у порівнянні з традиційними методами збагачення та класифікацією в гідроциклонах, а саме: висока точність сортування; підвищення ефективності збагачення; мінімізація втрат цінних компонентів; зниження витрат на виробництво концентратів, за рахунок скорочення операцій у технологічних схемах; адаптивність технології під вимоги сортування та характеристики матеріалу.

Сформовані напрямки подальшого вивчення, можливі точки застосування тонкого грохочення у схемах збагачення та продукції.

Ключові слова: тонке грохочення, поверхні для грохочення, ефективність розділення, оптимізація технологічних процесів, ГЗК.

Oliynyk T. A., Nevzorov V. V. Fine screening as a way to solution engineering issues in the production of high-quality iron ore concentrates

Purpose. To assess improve quality of iron ore concentrate using fine screening in their production processing circuits.

Research methods. Study and analysis of publications on the use of fine screening in various industries: oil and gas, construction, mining and others. Laboratory and analytical researches to determine the most optimal place for the use of fine screening in the processing circuits of existing production. Analyzing the results of laboratory and analytical researches and forming the directions of further experiments.

Scientific novelty. The researches have established that fine screening is a modern and promising method that can be used in beneficiation processing circuits of iron ore concentrates. In further experiments, it is necessary to determine the optimal screening parameters, as well as to form the dependencies of separation efficiency on water consumption, oscillation amplitude, screen load, etc.

Practical significance. The fine screening application for ores with a low content of useful components allows for the rational use of natural resources and optimization of technological processes by improving their efficiency. The separation efficiency of fine screening screens is 70-80%, which is 25-30% higher than the classification efficiency in hydrocyclones in existing processing circuits. To confirm the practical significance of the analysis, it is necessary to conduct industrial tests.

Results. The analysis confirmed the possibility of the fine screening application to improve the quality of iron ore products and reduce their cost. The advantages of fine screening in comparison with traditional methods of beneficiation and classification in hydrocyclones are determined, namely: high separating accuracy; improving beneficiation efficiency; minimization of losses of valuable components; reduction of concentrate production costs due to the reduction of operations in processing circuits; adaptability of the technology to the requirements of separating and material characteristics.

Areas for further research, possible applications of fine screening in beneficiation processing circuits and products have been identified.

Key words: fine screening, screening surfaces, separation efficiency, optimization of technological processes, mining and processing plants.

УДК 331.45:613.6:159.9:65

Пищикова О.В., Настич А.І. Розробка рекомендації щодо створення опитувальника для визначення стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці

У цій статті розглядається проблема стресостійкості працівників на промислових підприємствах, які виконують роботи в умовах, що можуть впливати на їхнє фізичне і психічне здоров'я. Проводиться комплексний аналіз різних сучасних методик оцінки стресостійкості. Крім того, стаття надає рекомендації щодо створення опитувальника для визначення стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці.

Мета. Вирішення питання щодо стресостійкості працівників на промислових підприємствах, які працюють у шкідливих умовах, надання рекомендацій для їх оцінки та підвищення стресостійкості.

Методи дослідження. Стаття використовує комплексний аналіз сучасних методик визначення рівня стресостійкості працівників та досліджує розробку рекомендацій щодо створення опитувальника для визначення стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці.

Наукова новизна. Стаття вносить вклад в галузь адаптуючи опитувальники для визначення стресостійкості під національні вимоги, контекст та потреби підприємств, враховуючи критерії, які не були раніше використані.

Практична значення. Західні методики оцінки стресостійкості працівників на промислових підприємствах, де виконуються роботи в шкідливих умовах праці, мають численні переваги, такі як визнана валідність і надійність, врахування специфічних факторів стресу, пов'язаних із роботою в таких умовах, та можливість адаптації для працівників промислових підприємств. Проте вони можуть не охоплювати всі аспекти стресостійкості. Тому впровадження різних методів оцінки стресостійкості на основі формул ORS-HWE для підприємств в Україні дозволить отримувати більш точну оцінку стресостійкості.

Результати. Запропонований підхід до розробки опитувальника для визначення стресостійкості працівників національних промислових підприємств ляже в основу удосконалення методики розрахунку стресостійкості та продовжить дослідження, щодо розробки рекомендацій визначення рівня стресостійкості працівників промислових підприємств на роботах зі шкідливими умовами праці.

Ключові слова: стресостійкість працівників, шкідливі умови праці, оцінка стресу, психологічні тести, фізіологічні вимірювання, безпека праці, робоче середовище, здоров'я працівників.

Pyshikova, O.V., Nastych A.I. Development of a recommendation for the creation of a questionnaire for determining the stress resistance of employees of industrial enterprises at jobs with harmful working conditions

Purpose. To address the issue of stress resistance of employees at industrial enterprises working in hazardous conditions, and to provide recommendations for their assessment and improvement of stress resistance.

Research methods. The article uses a comprehensive analysis of modern methods of determining the level of stress resistance of employees and examines the development of recommendations for creating a questionnaire to determine the stress resistance of workers of industrial enterprises in jobs with harmful working conditions.

Scientific novelty. Adapting stress resilience questionnaires to national requirements, context and business needs, taking into account criteria that have not been used before.

Practical significance. Western methods of assessing the stress resistance of workers at industrial enterprises, where work is performed in harmful working conditions, have numerous advantages, such as recognized validity and reliability, taking into account specific stress factors associated with work in such conditions, and the possibility of adaptation for industrial workers enterprises. However, they may not cover all aspects of stress resistance. Therefore, the implementation of various methods of assessing stress resistance based on the ORS-HWE formulas for enterprises in Ukraine allows obtaining a more accurate assessment of stress resistance.

Results. The proposed approach to the development of a questionnaire to determine the stress resistance of employees of national industrial enterprises will form the basis of improving the methodology for calculating stress resistance and will continue research on the development of recommendations for determining the level of stress resistance of workers of industrial enterprises in jobs with harmful working conditions.

Key words: stress resistance of employees, harmful working conditions, stress assessment, psychological tests, physiological measurements, occupational safety, working environment, employee health.

УДК: 528.4:332.6

Мамонов К. А., Доброходова О. В., Канівець О. М. Особливості використання земель: моніторингові аспекти

Мета. Формування й реалізація моніторингових процедур використання земель на регіональному рівні. Сучасні трансформаційні умови, які характеризуються зниження ефективності використання земель, накопиченням негативного впливу зовнішніх і внутрішніх чинників, розбалансуванням регіональних зв'язків, агресією РФ, потребують переосмислення підходів до землекористування, формування моніторингових процедур.

За останні роки спостерігається зниження рівня нормативної грошової оцінки земель, відбувається скорочення встановлення меж населених пунктів, зниження ефективності функціонування об'єднаних територіальних громад.

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні завдання: розробка теоретичних підходів до визначення моніторингу використання земель; формування та реалізація методу оцінки рівня побудови моніторингу використання земель на прикладах функціонування суб'єктів регіонального розвитку; виокремлення практичних аспектів моніторингу використання земель.

Методи дослідження. Систематизація теоретико-методичних розробок для визначення моніторингу використання земель об'єднаних територіальних громад. Метод інтегральної оцінки для визначення узагальнюючого показника використання земель, враховуючи особливості просторового, містобудівного, екологічного й соціально-економічного забезпечення. Метод математичного моделювання для побудови моделі й встановлення причинно-

наслідкових зв'язків між чинниками використання земель об'єднаних територіальних громад для формування й застосування моніторингових процедур.

Наукова новизна. Удосконалено категоріальний апарат щодо визначення моніторингу використання земель об'єднаних територіальних громад. Запропоновано метод інтегральної оцінки визначення рівня використання земель, який на відміну від існуючих, дозволяє отримати узагальнюючу оцінку та створити кількісне підґрунтя для прийняття рішень. Надало подальшого розвитку математичне моделювання впливу моніторингових чинників використання земель об'єднаних територіальних громад. Це дозволило сформувати подальше бачення зміни визначених показників.

Практична значимість полягає у реалізації системи моніторингу використання земель в діяльності об'єднаних територіальних громад.

Результати. Розроблено методи інтегральної оцінки використання земель та здійснено математичне моделювання впливу чинників на інтегральний показник.

Результати оцінки інтегрального показника та математичного моделювання дозволили сформувати кількісну основу та визначили практичні аспекти для побудови моніторингу використання земель, враховуючи вплив просторових, містобудівних, соціально-економічних й екологічних чинників.

Ключові слова. Використання земель, метод інтегральної оцінки, математичне моделювання, моніторинг використання земель, регіональний рівень, об'єднані територіальні громади.

Mamonov K.A., Dobrokhodova O.V., Kanivets O. M. Features of land use: monitoring aspects

Purpose. Formation and implementation of land use monitoring procedures at the regional level. Modern transformational conditions, which are characterized by a decrease in the efficiency of land use, the accumulation of the negative impact of external and internal factors, the imbalance of regional relations, the aggression of the Russian Federation, require a rethinking of approaches to land use, the formation of monitoring procedures.

In recent years, there has been a decrease in the level of normative monetary valuation of land, there is a reduction in the establishment of settlement boundaries, and a decrease in the effectiveness of the functioning of united territorial communities.

To achieve the set goal, the following tasks were solved: development of theoretical approaches to determining land use monitoring; formation and implementation of the method of assessing the level of construction monitoring of land use based on examples of the functioning of regional development entities; highlighting the practical aspects of land use monitoring.

Research methods. Systematization of theoretical and methodological developments to determine monitoring of land use of united territorial communities. The method of integral assessment for determining the general indicator of land use, taking into account the features of spatial, urban planning, ecological and socio-economic support. Mathematical modeling method for building a model and establishing cause-and-effect relationships between land use factors of united territorial communities for the formation and application of monitoring procedures.

Scientific novelty. The categorical apparatus for determining the monitoring of land use of united territorial communities has been improved. The method of integral assessment of determining the level of land use is proposed, which, unlike the existing ones, allows you to obtain a generalized assessment and create a quantitative basis for decision-making. Mathematical modeling of the impact of monitoring factors of land use of united territorial communities provided further development. This made it possible to form a further vision of the change of the specified indicators.

Practical significance. Implementation of the land use monitoring system in the activities of united territorial communities.

As a result of the study, methods of integral assessment of land use were developed and mathematical modeling of the influence of factors on the integral indicator was carried out.

Results. The assessment of the integral indicator and mathematical modeling made it possible to form a quantitative basis and determined practical aspects for the construction of land use monitoring, taking into account the influence of spatial, urban planning, socio-economic and ecological factors.

Key words: land use, integral assessment method, mathematical modeling, land use monitoring, regional level, united territorial communities.

УДК 338: 37.012

Турило А.М., Турило А.А., Короленко Р.В. Інноватика: сутність і характерні особливості

Мета. Дослідження, розкриття й удосконалення сутності категорії «інноватика». Уточнення понятійно-категорійного апарату відносно базових аспектів науки інноватики.

Методи дослідження. В процесі дослідження для змістовного розкриття сутності проблеми використано методи наукової абстракції, комплексного аналізу і синтезу, структурно-декомпозиційності, логіки й узагальнення результатів попередніх досліджень, причинно-наслідкового зв'язку, змістовно-порівняльний, науково-аналітичний.

Наукова новизна. Обґрунтовано і сформульовано базові постулати, що розкривають характерні особливості інноватики. Розглянуті і представлені науково-методичні підходи до уточнення сутності таких категорій як «інноваційна діяльність», «інноваційний процес». Удосконалено підходи до тлумачення інноватики з позиції теорії, методології, методичності та предметності.

Надано удосконалення трактування мети, об'єкту і предмету інноватики. Запропоновано з методико-прикладних позицій підхід до визначення категорії «інноватика».

Практична значимість. Представлений матеріал конкретизує зміст, підвищує науковий рівень і можливості обґрунтованого використання розглянутих у роботі термінів і категорій. У роботі уточнено зміст категорій «інноваційна діяльність», «інноваційний процес», «об'єкт інноватики», «предмет інноватики», «мета інноватики», «інноватика».

Результати. Представлено базові постулати, що методично розкривають характерні риси інноватики і є підґрунтям для обґрунтованості прийняття ефективних практичних рішень щодо формування і впровадження інновацій в усіх сферах і у всіх видах діяльності суспільства і людини. Визначено і рекомендовано для використання удосконалені за змістом базові категорії і поняття інноватики.

Автори роботи дослідили і визначили з методико-прикладних позицій базові постулати, що комплексно розкривають суспільно-економічну сутність інноватики. Уточнено з практичних позицій сутність категорій «інноваційна діяльність» та «інноваційний процес», які можуть бути використані на рівні вищих навчальних закладів при викладанні відповідних дисциплін та в системі менеджменту підприємств. Надано предметне тлумачення щодо мети, об'єкту і предмету інноватики.

Ключові слова: інноватика, мета, предмет, об'єкт, інноваційна діяльність, інноваційний процес.

Turilo A.M., Turilo A.A., Korolenko R.V. Innovation: essence and characteristic features

Purpose. Research, disclosure and improvement of the essence of the category "innovation". Clarification of the conceptual and categorical apparatus in relation to the basic aspects of the science of innovation.

Research methods. In the course of the study, the methods of scientific abstraction, comprehensive analysis and synthesis, structural decomposition, logic and generalisation of the results of previous studies, cause and effect, content-comparative, scientific and analytical were used to meaningfully reveal the essence of the problem.

Scientific novelty. The basic postulates that reveal the characteristic features of innovation are substantiated and formulated. Scientific and methodological approaches to clarifying the essence of such categories as "innovation activity" and "innovation process" are considered and presented. The approaches to the interpretation of innovation from the standpoint of theory, methodology, methodicality and subject matter have been improved. The interpretation of the purpose, object and subject of innovation has been improved. An approach to the definition of the category "innovation" is proposed from a methodological and applied standpoint.

Practical significance. The presented material specifies the content, increases the scientific level and possibilities of reasonable use of the terms and categories considered in the work.

The paper clarifies the content of the categories "innovation activity", "innovation process", "object of innovation", "subject of innovation", "purpose of innovation", "innovation".

Results. The basic postulates that methodically reveal the characteristic features of innovation and are the basis for the validity of effective practical decisions on the formation and implementation of innovations in all spheres and in all types of activities of society and man are presented. The article identifies and recommends for use the basic categories and concepts of innovation that have been improved in content. The authors have studied and defined the basic postulates that comprehensively reveal the socio-economic essence of innovation from a methodological and applied perspective. From a practical point of view, the essence of the categories of "innovation activity" and "innovation process" is clarified, which can be used at the level of higher education institutions in teaching relevant disciplines and in the management system of enterprises. The article provides a substantive interpretation of the purpose, object and subject of innovation.

Key words: innovation, goal, subject, object, innovation activity, innovation process.

УДК 621.23.14

Дрешпак Н.С. Підвищення точності унормування питомих витрат енергії вугільною шахтою

Мета. Визначення і співставлення показників точності прогнозу унормованих значень питомого енергоспоживання в процесі контролю енергоемності вуглевидобутку при використанні відомого і нового способів поновлення регресійної моделі.

Методи дослідження. Аналіз та співставлення показників точності розрахунку унормованих значень питомого енергоспоживання вугільної шахти при застосуванні відомого і нового способів поновлення регресійної моделі.

Наукова новизна. Вперше виконано співставлення показників точності ретроспективного точкового прогнозу унормованих значень щоденного електроспоживання вугільної шахти при використанні відомого і нового способів поновлення регресійної моделі свідчать про те, що в розглянутому періоді контролю середні значення похибки прогнозу в новому варіанті поновлення моделі нижчі аналогічних значень для відомого варіанту.

Практичне значення. Підтверджена доцільність застосування нового способу поновлення регресійної моделі при унормуванні енергоемності вуглевидобутку в розглянутих умовах, що важливо для якісного контролю енергоефективності виробничого процесу.

Результати дослідження. Визначено недолік відомого підходу до поновлення регресійної моделі. Він полягає у тому, що дані, які використовують для побудови регресійної залежності, не перевіряють на однорідність, і це може привести до зниження точності прогнозу при визначенні унормованих значень енергоспоживання. Співставлення показників точності ретроспективного точкового прогнозу унормованих значень щоденного електроспоживання вугільної шахти при використанні відомого і нового способів поновлення регресійної моделі свідчать про те, що в розглянутому періоді контролю середні значення похибки прогнозу в новому варіанті поновлення моделі нижчі аналогічних значень для відомого варіанту, а відносне значення зниження похибки склало 15%. Таким чином, в розглянутій ситуації підтверджена доцільність застосування нового способу поновлення регресійної моделі. Запропоноване обмеження кількості експериментальних даних приєднаної вибірки супроводжується збільшенням значення показника F -розподілу, що зменшує можливості отримання об'єднаної вибірки з неоднорідними даними, визначеної методом Г. Чоу. Це зменшує можливість зміни структури регресійної моделі, зумовленої неоднорідністю даних, що спрощує процедуру формування унормованих значень електроспоживання.

Ключові слова: контроль енергоефективності, унормування, енергоемність, енергозбереження, точність прогнозу, ретроспективний прогноз.

Dreshpak N.S. Increasing the accuracy of the normalization of specific energy consumption in a coal mine

Purpose. To determine and compare the accuracy indicators of the forecast of normalized values of specific energy consumption in the process of controlling the energy intensity of coal production when using known and new methods of updating the regression model.

Research methods. Analysis and comparison of the accuracy indicators of the calculation of the normalized values of the specific energy consumption of a coal mine when using the known and new methods of updating the regression model.

Scientific novelty. A comparison of the accuracy indicators of the retrospective point forecast of the normalized values of the daily electricity consumption of a coal mine was performed using known and new methods of updating the regression model. It is proven that in the considered control period, the average values of the forecast error in the new version of the model update are lower than the similar values for the known version.

Practical significance. The expediency of using a new method of renewing the regression model when normalizing the energy intensity of coal production in the considered conditions is confirmed, which is important for quality control of the energy efficiency of the production process.

Results. A drawback of the known approach to updating the regression model has been identified. It consists of the fact that the data used to construct the regression dependence are not checked for homogeneity, and this can lead to a decrease in the accuracy of the forecast when determining the normalized values of energy consumption. A comparison of the accuracy indicators of the retrospective point forecast of the normalized values of the daily electricity consumption of a coal mine when using the known and new methods of updating the regression model indicates that in the considered control period, the average values of the forecast error in the new version of the model update are lower than the similar values for the known version, and for the relative value of the decrease the error was 15%. Thus, in the considered situation, the expediency of using a new method of updating the regression model is confirmed. The proposed limitation of the number of experimental data of the connected sample is accompanied by an increase in the value of the F – distribution indicator, which reduces the possibility of obtaining a combined sample with heterogeneous data, determined by the method of H. Chou. This reduces the possibility of changing the structure of the regression model due to data heterogeneity, which simplifies the procedure for forming normalized values of power consumption.

Key words: energy efficiency control, normalization, energy intensity, energy saving, forecast accuracy, retrospective forecast.

УДК 331.45.001.85

Жуков С.О., Єрєменко Г.І., Костянський О.М., Костянська Г.О. Забезпечення ефективного зниження забруднення атмосферного повітря викидами пилу з автодоріг в околицях залізрудних кар'єрів Кривбасу

Мета. Вирішення екологічних проблем в Кривбасі: захист робочого простору кар'єрів при відкритому видобутку руди від пилу з автомобільних доріг шляхом впровадження заходів по зменшенню викидів пилу при русі автосамоскидів. При цьому, під час перевезення гірничої маси автосамоскидами запропоновані заходи мають ефективно забезпечувати зниження забруднення повітря пилом навіть при несприятливих кліматичних умовах.

Методи досліджень. В роботі використовувалися методи статистично-логічного і компаративного аналізу й узагальнень щодо визначення основних параметрів викидів пилу з автодоріг кар'єру та причинних зв'язків і залежностей з урахуванням найбільш впливових факторів. Для пошуку рішення за допомогою аналітичного методу було вивчено та узагальнено існуючі заходи щодо знепилення автошляхів, інтерпретовано отриману інформацію і рекомендовано обґрунтовані рекомендації по знепиленню автошляхів.

Наукова новизна. Комплексний підхід щодо формування заходів по обробці водою автодоріг для зволоження здійснюється з урахуванням напрямку переносу пилу повітрям відносно доріг якими транспортують гірничу масу автосамоскиди. При цьому параметри зволоженості визначають з урахуванням окремих кліматичних умов, присутність пилопригнічуючих добавок підсилює ефект від зволоження, а для кращого очищення повітря навколо автодоріг пропонується використання гідроксид-іонів, які можуть створюватися за допомогою нових водяних систем.

Практичне значення. Для впровадження заходів по зниженню вмісту пилу у викидах в атмосферу, особливо з поверхонь автодоріг визначено питомий обсяг витрат води для зволоження поверхні автодоріг за подальшого поглиблення кар'єру, що дозволить отримати екологічний ефект.

Результати. Запропоновано заходи з пилопригнічення робочого простору кар'єру, визначено питомий обсяг води для зволоження поверхні автодоріг у кар'єрі. Для заходів пилопригнічення величина витрат води розраховується згідно з температурою поверхні автодороги, а також рекомендовано використання пилопригнічуючих добавок, що дозволяє визначати шляхи зниження вмісту пилу у викидах в атмосферу поблизу автодоріг для умов конкретного кар'єру.

Ключові слова: пил автомобільних доріг, пилопригнічення, забрудненість повітря, заходи щодо знепилення, витрати води для приборкання викидів пилу.

Zhukov S.O., Eremenko G.I., Kostianskyi O.M., Kostianska G.O. Ensuring the effective reduction of atmospheric air pollution by road dust emissions in the vicinity of iron ore quarries in Kryvbas

Purpose. To address environmental issues in Kryvyi Rih iron ore basis, namely to protect the working space of open-pit mining operations from dust from roads by implementing measures to reduce dust emissions from dump trucks. During the transportation of rock mass by dump trucks, the proposed measures should effectively reduce air pollution with dust even under adverse climatic conditions.

Research methods. The research applies methods of statistical, logical, and comparative analysis and generalizations to determining basic parameters of dust emissions from open pit roads and establishing causal relationships and dependencies, taking into account the most influential factors. In order to find a solution, current measures for road dedusting are studied and summarized, using the analytical method, the information obtained is interpreted, and reasonable recommendations for road dedusting are recommended.

Scientific novelty. An integrated approach to developing measures to moisten roads with water is carried out taking into account the direction of dust transfer by air relative to the roads used to transport rock mass by dump trucks. Humidity parameters are determined considering specific climatic conditions with dust suppressant additives enhancing the effect of humidification. New water systems with hydroxide ions used are proposed to better clean the air around roads.

Practical significance. To implement measures for reducing dust content in emissions, especially from road surfaces, the specific volume of water consumption for moistening the road surface during further deepening of the open pit is determined, which results in an environmental effect.

Results. Measures for dust suppression of the open pit working space are proposed, and the specific volume of water for moistening the surface of open pit roads is determined. For dust suppression measures, water consumption is calculated according to the road surface temperature, and the use of dust suppressant additives is recommended, which allows us to find ways to reduce dust content in air emissions near roads for the conditions of a particular open pit.

Key words: road dust, dust suppression, pollution, dedusting measures, water consumption for dust contro

Малих Д.Ю., Єременко Г.І., Тітов Д.А. Особливості імпульсного вибухового навантаження породного масиву, що руйнується групами розосереджених зарядів

Мета. Вдосконалення математичної моделі, а також уточнення розрахунків при математичному моделюванні взаємодії свердловинних зарядів, у яких частини вибухової речовини розосереджені по довжині свердловини інертним матеріалом, і які підриваються послідовно. При цьому проаналізовано особливості динамічного навантаження скельного масиву, який підривається, в залежності від послідовності підривання цих зарядів та їх частин. Це уточнення стосується удосконалення методики параметричних розрахунків і спрямоване на вирішення актуальної проблеми – зниження питомої витрати вибухових речовин для руйнування скельних гірських порід.

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

Наукова новизна дослідження полягає в уточненні закономірностей взаємодії енергії вибуху свердловинних зарядів спеціальної конструкції з оточуючим їх скельним масивом.

Практичне значення. Подальший розвиток і виробниче застосування результатів досліджень забезпечить значне зниження собівартості залізорудної продукції за рахунок підвищення ефективності бурових і вибухових робіт у залізорудному кар'єрі.

Результати. Для теорії і практики ведення вибухових робіт важливо знати особливості формування і взаємодії силових полів свердловинних зарядів ВР, які підривають із затримкою. Основну роль в процесі руйнування гірського масиву за цих умов відіграє конструкція підривних свердловинних зарядів. Підбором мас зарядів з різним співвідношенням їх частин в свердловинах послідовних рядів і варіюванням тривалості затримки між вибухами можна регулювати процес вибухового навантаження в залежності від конкретних гірничо-геологічних умов ведення підривних робіт. За рахунок зміни способів формування і порядку підривання зарядів ВР в руйнованому середовищі можна впливати на процес руйнування, знаючи особливості формування силових полів. З огляду на часові та геометричні характеристики породного масиву, можна припустити, що його напружений стан буде повністю відповідати фізичним параметрам інтегральної зони, за яких втрата енергії вибухових хвиль мінімізується. Отримані результати можуть бути використані для розробки вибухових технологій, заснованих на руйнуванні гірського масиву, приведення його попередньо в напружений стан від вибуху зарядів ВР, конструкція яких пропонується авторами даного дослідження.

Ключові слова: гірська порода, вибух, вибухове руйнування, скельне середовище, свердловинні заряди.

Malykh D.Yu., Eremenko G.I., Titov D.A. Features of impulse explosive loading of a rock mass destroyed by groups of distributed charges

Purpose. To improve the mathematical model of the explosion, as well to specify calculations of a rock mass fracture zone in the explosion of series of blasthole charges with a complex structure under mathematical modelling of their interaction if parts of the blasting agent are spaced along the well length by means of an inert material.

Research methods. An analysis of geomechanical processes by mathematical modeling of the dynamic stresses of a rock mass by an explosion in open pits.

Scientific novelty. Clarifying the regularity of interaction of the explosion energy of borehole charges of a special design with the rock massif surrounding them.

Practical significance. Further development and industrial application of research results will ensure a significant reduction in the cost price of iron ore products due to increased efficiency of drilling and blasting operations in iron ore pits.

Results. The main role in the destruction of the mountain mass under these conditions is played by the design of blasthole charges. By selecting the masses of charges with different ratios of their parts in wells of successive rows and varying the duration of the delay between explosions, it is possible to regulate the process of explosive loading depending on the specific mining and geological conditions of blasting operations. By changing the methods of formation and the order of detonation of charges in the destroyed massif, it is possible to influence the process of destruction, knowing the peculiarities of the formation of force fields. Given the temporal and geometric characteristics of the rock massif, it can be assumed that its stressed state will fully correspond to the physical parameters of the integral zone, under which the loss of blast wave energy is minimized. The obtained results can be used for the development of explosive technologies based on the destruction of a rock mass previously brought into a tense state by the explosion of explosive charges, the design of which is proposed by the authors of this study.

Key words: rock, blasting, explosive destruction, rock massif, borehole charges.

УДК 621.311

Берідзе Т.М., Касаткіна І.В., Бойко С.М. Дослідження критеріїв оцінювання якісних показників електропостачання промислових підприємств

Мета. Дослідження підходів щодо оцінки показників якості електричної енергії в розподільчих мережах промислових підприємств. Впровадження сучасних потужних електротехнічних комплексів до систем електропостачання промислових підприємств змінює властивості енергосистеми. У той же час ефективне їх функціонування потребує виконання ряду вимог, пов'язаних із забезпеченням стійкості і надійності роботи, однією з таких вимог є рівень якості електричної енергії. Для досягнення поставленої мети проаналізовано основні показники якості електричної енергії та визначено найбільш значимі для розподільчих мереж промислових підприємств.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач і аналізу статистичних даних використано аналітичні методи – для дослідження рівнів відхилень електричної енергії у мережі промислового підприємства.

Наукова новизна. Вперше запропоновано методику аналізу рівня якості електричної енергії в розподільчих мережах промислових підприємств, за результатами якої запропоновано шляхи щодо підвищення рівня якості електричної енергії в електричних мережах до 1 кВ.

Практична значимість. За результатами проведених досліджень можна зробити висновок про те що, рівень напруги якісно впливає на показники якості електричної енергії розподільчих мереж промислових підприємств що підвищує ефективність функціонування їх електромеханічних комплексів та систем. Проведені дослідження підтвердили необхідність та склали підґрунтя для вирішення проблеми вибору відповідного рівня напруги розподільчих мереж, як до 660В і більше 1000В. Статистичний матеріал, який підтверджує наші висновки.

Результати. Впровадження сучасних систем та комплексів в системи технологічних процесів підприємств має базуватися на умовах щодо їх ефективного функціонування, основним з яких перед електрообладнанням постає якість електричної енергії в розподільчих мережах промислових підприємств.

Напруга 600 В має відчутні переваги на промислових підприємствах, серед яких підвищення надійності електропостачання та покращення якості напруги, що надасть можливість підвищити продуктивність промислових електричних машин і механізмів.

Ключові слова: система електропостачання, реконфігурація систем електропостачання, електропостачання, надійність електропостачання, якість електричної енергії.

Beridze T.M., Kasatkina I.V., Boyko S.M. Study of the criteria for assessment of the quality indicators of electricity supply of industrial enterprises

Purpose. Study approaches to the assessment of indicators of the quality of electric energy in the distribution networks of industrial enterprises. The introduction of modern, powerful electrotechnical complexes to the power supply systems of industrial enterprises changes the properties of the energy system. At the same time, their effective functioning requires the fulfillment of a number of requirements related to ensuring stability and reliability of work, one of such requirements is the level of quality of electric energy. To achieve the goal, the main indicators of the quality of electric energy were analyzed and the most significant for the distribution networks of industrial enterprises were determined.

Research methods. Analytical methods were used to solve problems and analyze statistical data - the levels of electricity deviations in the network of an industrial enterprise were investigated.

Scientific novelty. For the first time, a methodology for analyzing the level of electrical energy quality in distribution networks of industrial enterprises was proposed, based on the results of which, ways to increase the level of electrical energy quality in electrical networks up to 1 kV were proposed.

Practical significance. Based on the results of the research, it can be concluded that the voltage level has a qualitative effect on the indicators of the quality of electrical energy of the distribution networks of industrial enterprises, which increases the efficiency of the functioning of their electromechanical complexes and systems. The conducted studies confirmed the need and formed the basis for solving the problem of choosing the appropriate voltage level of distribution networks, such as up to 660V and more than 1000V. Statistical material that supports our conclusions.

Results. The introduction of modern systems and complexes into the systems of technological processes of enterprises should be based on the conditions of their effective functioning, the main of which is the quality of electrical energy in the distribution networks of industrial enterprises.

Voltage 600 V has tangible advantages in industrial enterprises, including increased reliability of power supply and improved voltage quality, which will provide an opportunity to increase the productivity of industrial electrical machines and mechanisms.

Key words: power supply system, reconfiguration of power supply systems, power supply, power supply reliability, power quality.

Збірник наукових праць

В і с н и к
Криворізького національного університету

Випуск 57

Комп'ютерний набір, верстка

Підпригора Н.П.

Підписано до друку 30.11.2023 за рекомендацією Вченої Ради
Криворізького національного університету, протокол № 4 від 28.11.2023 року
Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 16,74 Тираж 100 прим.
Замовл. № 14. Укр., англ.

Надруковано:
ФОП Сінельников Дмитро Анатолійович
Свідоцтво ДК № 6780 від 29.05.2019р.
50027, м. Кривий Ріг,
пр. Металургів, 30/49
тел. (067)773-37-17

Адреса видавництва:
вул. Віталія Матусевича, 11, Кривий Ріг, 50027

Криворізький національний університет, 2023.
Вип. 57, С. 3-144