

Міністерство освіти і науки України  
*ДВНЗ «Криворізький національний університет»*

**В і с н и к**  
**Криворізького національного**  
**університету**

*Збірник наукових праць*

*Випуск 49*

**Кривий Ріг 2019**

Редакційна колегія: **Ступнік М.І.**, д-р техн. наук, проф. (головний редактор); **Моркун В.С.**, д-р техн. наук, проф., (заступник головного редактора); **Азарян А.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Бережний М.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Березовський А.А.**, д-р геол. наук, проф.; **Бровко Д.В.**, канд. тех. наук., доц.; **Вагонова О.Г.**, д-р економ. наук, проф.; **Варава Л.М.**, д-р економ. наук, проф.; **Вілкул Ю.Г.**, д-р техн. наук, проф.; **Гірін В.С.**, д-р техн. наук, проф.; **Губін Г.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Гурін А.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Євтехов В.Д.**, д-р геол.-мінерал. наук, проф.; **Жуков С.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Зінченко О.А.**, д-р економ. наук, проф.; **Зубов Д.А.**, д-р техн. наук, проф., Охрид, Македонія; **Ільяс Ніколає**, д-р техн. наук, проф., Петрошани, Румунія; **Калініченко В.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Кіяновський М.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Ковальчук В.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Коробко В.М.**, д-р техн. наук, проф., Массачусетс, США; **Купін А.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Лялюк В.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Моркун Н.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Несмашний Є.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Нусінов В.Я.**, д-р економ. наук, проф.; **Олійник Т.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Перебудов В.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Решетілова Т.Б.**, д-р економ. наук, проф.; **Рудь Ю.С.**, д-р техн. наук, проф.; **Самуся В.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Сидоренко В.Д.**, д-р техн. наук, проф.; **Сінолиций А.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Сінчук О.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Стороженко Л.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Титюк В.К.**, канд. техн. наук, доц.; **Ткаченко А.М.**, д-р економ. наук, проф.; **Толмачов С.Т.**, д-р техн. наук, проф.; **Турило А.М.**, д-р економ. наук, проф.; **Учитель О.Д.**, д-р техн. наук, проф.; **Федоренко П.Й.**, д-р техн. наук, проф.; **Шишкін О.О.**, д-р техн. наук, проф.

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

Збірник індексується в наукометричних базах даних Google Scholar, Index Copernicus, Research Bible, Academic Keys та ін., в загальнодержавній реферативній базі даних «Україніка наукова» (реферативний журнал «Джерело»). Збірник надсилається до Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського НАН України та провідних наукових бібліотек України.

У матеріалах збірника викладено результати досліджень у галузі технічних та економічних наук. Розглянуто шляхи підвищення ефективності промислових виробництв, автоматизації, контролю та керування технологічними процесами. Важливе місце займають питання енергозбереження, економіки, надійності охорони праці, техніки безпеки, захисту довкілля.

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

Випуск № 49 рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет Вченою радою ДВНЗ «Криворізький національний університет» (протокол № 4 від 26.12.2019 року).

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

## **ТЕХНІЧНІ НАУКИ**

|                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Моркун В.С., Кравченко О.М.</i> Основні напрямки вдосконалення керування процесом ультразвукового очищення .....                                                                                                                                                 | 3   |
| <i>Beshta O., Aziukovski O., Khudolii E., Khudolii S., Balakhontsev O., Mohammed B., Haitham R.</i> Viability of vehicle-to-grid technology and renewables in Ukraine .....                                                                                         | 9   |
| <i>Пахомов В.І., Гірін І.В.</i> Обґрунтування найближчих перспектив вибору джерела енергії для автомобіля .....                                                                                                                                                     | 14  |
| <i>Данова К.В., Малишева В.В.</i> Інформаційна ентропія як показник невизначеності у забезпеченні безпеки на робочих місцях працівників із інвалідністю .....                                                                                                       | 20  |
| <i>Луценко С.О., Блізнюков В.Г., Баранов І.В.</i> Визначення перспективних контурів кар'єрів, що розробляють крутоспадні залізрудні родовища .....                                                                                                                  | 25  |
| <i>Кузнєцов Д.І.</i> Інформаційна система визначення поточного стану електрообладнання для Smart Grid мереж .....                                                                                                                                                   | 30  |
| <i>Котов І.А.</i> Автоматна модель реактивної тригерної СППР для управління режимом енергосистеми гірничо-металургійного комплексу .....                                                                                                                            | 36  |
| <i>Швагер Н.Ю., Комісаренко Т.А.</i> Спосіб контролю складу атмосфери кар'єрів після масових вибухів .....                                                                                                                                                          | 42  |
| <i>Шолох М.В.</i> Моделювання прогновної оцінки мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві і розпушеній залізрудній масі .....                                                                                                     | 46  |
| <i>Пищикова О.В., Янова Л. О., Сахно С.І.</i> Актуальні проблеми викладання нормативних дисциплін цивільний захист та безпека життєдіяльності з метою розвитку професійних компетенцій майбутніх бакалаврів та магістрів усіх галузей знань та спеціальностей ..... | 53  |
| <i>Хруцький А.А.</i> Обоснование структуры базы знаний для представления учебного материала технической дисциплины .....                                                                                                                                            | 58  |
| <i>Турило А.М., Турило А.А., Короленко С.М.</i> Фінанси підприємства та їх місце в його інвестиційно-витратній діяльності .....                                                                                                                                     | 64  |
| <i>Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Хоруженко І.В.</i> Дослідження напружено-деформованого стану основи під структурними фундаментами за допомогою математичного моделювання .....                                                                                       | 69  |
| <i>Пахомов В.И., Гирич И.В.</i> Статистическое моделирование системы ежедневного обслуживания автомобилей .....                                                                                                                                                     | 75  |
| <i>Кузнєцов Д.І., Рябчина Л.С.</i> Інформаційна безпека систем інтернету речей .....                                                                                                                                                                                | 80  |
| <i>Митрофанов О. В.</i> Комплексна математична модель для дослідження термічного оброблення обкотишів на конвеєрній випалювальній машині .....                                                                                                                      | 84  |
| <i>Швец Д. В.</i> Контроль химико-минералогических характеристик железорудного сырья при помощи учета интенсивности поглощенного гамма-излучения .....                                                                                                              | 89  |
| <i>Єфіменко Л.І., Тиханський М.П., Тиханська А.М.</i> Структура блоку визначення технічного стану роликів стрічкового конвеєра оснащеного автоматичною системою керування .....                                                                                     | 96  |
| <i>Шимко В.А.</i> Сучасні аспекти будівництва та розвитку соціального житла: світовий досвід .....                                                                                                                                                                  | 101 |
| <i>Нечаєв В.П., Рязанцев А.О., Чернявська О.В., Лаухіна Л.І., Лавриненко Д.О.</i> Вплив параметрів процесу плазмово-механічної обробки на якість поверхневого шару деталей .....                                                                                    | 105 |
| <i>Савчук А. О., Шаповалова Н. Н., Доценко І. О.</i> Застосування методів машинного навчання в медичних консультативно-діагностичних системах .....                                                                                                                 | 113 |
| <i>Савицький О.І., Тимошенко М.А.</i> Розробка автоматизованої системи керування секцією збагачення залізної руди з використанням віртуальних аналізаторів при моделюванні засобами програмованого контролера .....                                                 | 117 |
| <i>Гулівець О.А., Бондарець А.О., Олійник С.Ю.</i> Пристрій для демпфування динамічних навантажень у зачепленні коліс зубчастих передач .....                                                                                                                       | 121 |
| <i>Рудь Ю.С., Білоножко В.Ю., Бондарець А.О.</i> Підвищення техніко-економічних характеристик технологічного обладнання агломераційних фабрик гірничо-збагачувальних комбінатів .....                                                                               | 127 |
| <i>Грамм О.О., Савицький О.І.</i> Автоматизоване керування енергетичними потоками гірничого підприємства з нечітким прогнозуванням рівня споживання електричної енергії .....                                                                                       | 132 |
| <b>АНОТАЦІЇ ..</b>                                                                                                                                                                                                                                                  |     |
| <i>А н о т а ц і ї ..</i> .....                                                                                                                                                                                                                                     | 137 |



УДК 621.7.022.6

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., О.М. КРАВЧЕНКО, асп.  
Криворізький національний університет

## ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ОЧИЩЕННЯ

**Мета.** Визначення основних напрямів удосконалення управління процесом ультразвукового очищення для підвищення його енергоефективності.

**Методи дослідження.** Аналіз вітчизняного та закордонного досвіду у питанні впливу різних факторів на процес ультразвукового очищення, існуючих систем керування процесом ультразвукового очищення, систем оцінювання перебігу процесу ультразвукового очищення, наявних алгоритмів, на основі яких приймається рішення про припинення процесу ультразвукового очищення.

**Наукова новизна.** На основі проведеного аналізу методів та технічних засобів керування процесом ультразвукового очищення виявлено необхідність удосконалення цього процесу шляхом розробки просторово розподіленої системи керування, що на основі ультразвукового оцінювання стану окремих ділянок виробу, що очищується, формуватиме керуючий вплив лише на ту ділянку, яка цього вимагає в залежності від наявної оцінки забруднення виробу.

**Практична значимість.** Визначено основні принципи і підходи автоматичного керування процесом ультразвуковим очищенням. Виявлено необхідність враховувати геометричні параметри виробу складної конфігурації при формуванні автоматичного керування. Сформуована гіпотеза про необхідність цілеспрямованого керування впливу на окремі ділянки виробу в залежності від їх забрудненості.

**Результати.** На основі аналізу динамічних ефектів високоенергетичного ультразвуку, що впливають на процес ультразвукового очищення, а саме, кавітації як найбільш значущого в цьому процесі явища, виявлено нерівномірну розподіленість кавітаційних скупчень у смності для очищення. Це свідчить про те, що на різних ділянках виробу процес очищення буде відбуватися з різною інтенсивністю. До того ж виріб має нерівномірне забруднення, що визначається його геометричними особливостями та особливостями його експлуатації. Отже, умовою ефективного керування процесом ультразвукового очищення є врахування особливостей розподіленості кавітації у просторі і забруднення об'єкта на окремих ділянках. Тому сформуовано висновок щодо необхідності автоматичного просторового керування ультразвукового очищення із врахуванням стану виробу, що очищується.

**Ключові слова:** кавітація, ультразвукове очищення, автоматичне керування.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-3-9

**Проблема та зв'язок її з науковими та практичними задачами.** Якість і надійність виробів знаходяться в прямій залежності від ступеня їхньої чистоти, тому існує багато різних методів очищення, що застосовуються в певних галузях промисловості. Це і очищення за допомогою різних хімічних розчинників (що є потенційно небезпечним), і ручне чи механічне очищення (вимагає забагато зусиль), і також ультразвукове очищення, яке позбавлене недоліків притаманних іншим способам. Ультразвукове очищення є одним з найефективніших за показниками якості та витрат. Його популярність призводить до пошуку нових рішень, що дозволять підвищити ефективність очищення. Оскільки є досить багато факторів, що впливають на ефективність процесу очистки (розчин для миття, температура, відсутність стоячих хвиль, потужність та частота ультразвуку, розмір і форма резервуара, тип забруднення, розташування ультразвукового перетворювача тощо), то і дослідження проводяться в різних напрямках.

**Аналіз досліджень та публікацій.** *Кавітація як основне фізичний явище, що забезпечує процес ультразвукового очищення.* Ультразвук при випромінюванні в рідині викликає ряд фізичних явищ, що впливають на процес очищення: радіаційний тиск, акустичні течії та кавітацію [1, 2]. Головну роль серед них відіграє кавітація. Вона пояснюється місцевим тиском у рідині, що опускається нижче критичного тиску, який приводить в рух присутні завжди в рідині нанота мікробульбашки, що швидко збільшуються у розмірах. Коли тиск повертається до високого значення, відбувається імплізія міхурів, що генерує імпульси високого тиску і ударні хвилі.

В праці [3] розглянуто кількість кавітаційних бульбашок при ультразвуковому тестів очищення з різною концентрацією розчиненого кисню у воді та виявлено, що існує оптимальна перенасиченість газу для максимальної ефективності видалення забруднення. Ультразвукове опромінення низької інтенсивності при оптимальній перенасиченості газу в очисних розчинах дозволяє мати легку динаміку бульбашок без сильного колапсу і таким чином очищати поверх-

ні без ерозії кавітації. Процес очищення при цьому стає більш ефективний та безпечний. В праці [4] розглянуто питання виникнення різних максимумів кавітації при різних температурах під час охолодження термічно дегазованої води, після дослідження зв'язку між цим явищем, частотою та потужністю ультразвуку, виявилось, що причина у вторинному насиченні води повітрям. В праці [5] розглянуто новий самочутливий метод вимірювання наявності і рівня кавітації, який можна застосувати навіть у важкодоступних або непрозорих умовах. Виявлено, що розподіл кавітаційних бульбашок тісно пов'язаний з геометричним розташуванням та дистанцією між випромінювачем та дном контейнеру. В дослідженні [6] пропонується новий метод дослідження кавітаційної активності, що базується на аналізі спектру, що продукується коливальною хвилею. За допомогою нього виявлено наступні залежності: кавітація стає нестабільною при тривалому часі інтонації; це більш виражене при великій потужності; підвищення потужності, вмісту газу та додавання очищувального засобу посилює кавітації, але при досить високих значеннях цих параметрів кавітаційна діяльність знижується; при відносно великій потужності кавітаційна активність зростає зі збільшенням температури, досягає піку, а потім падає; окрім того, що ці параметри впливають на кавітацію, вони ще взаємозалежні: час інсонації та висока потужність впливають на температуру та вміст газу, вміст газу змінюється в залежності від температури.

Особливості розподілу зон кавітації розглянуто в праці [7], де пропонується кавітаційні скупчення кульок, що не колапсували, провокувати до колапсу за допомогою додаткового низькочастотного джерела ультразвукового випромінювання. Це дозволяє звільняти та використовувати енергію кавітаційних скупчень. Експеримент з використанням установки (рис.1) з двома несинхронізованими випромінювачами ультразвуку високої та низької амплітуди довів, що, на певних відстанях, робоча площа кавітаційної активності при двох випромінювачах більша, ніж сума робочих площ кожного випромінювача окремо. Це можна використовувати при ультразвуковій обробці виробів складної конфігурації, що мають внутрішні отвори.

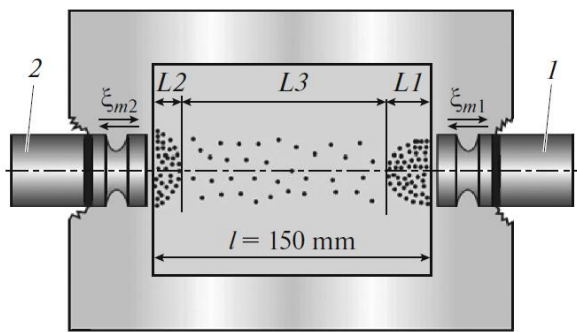


Рис. 1. Експериментальна установка з високо та низькочастотними ультразвуковими випромінювачами

Розширюються пропозиції щодо галузей застосування ультразвукового очищення. Так у роботі [8] пропонується виконувати очищення підводних нафтопроводів за допомогою ультразвуку та запропоновано методологію маринізації обладнання, в лабораторних умовах доведено ефективність підводного ультразвукового очищення.

Модельовання процесу ультразвукового очищення. Worapol Tangsopha та інші [9] на замовлення виробника ультразвукових баків моделювали процес ультразвукового очищення для підвищення його ефективності. Оскільки точного математичного рівняння, що описує процес створення кавітації, немає то за основу вони брали хвильове рівняння акустичного тиску (рівняння Гельмгольца)

$$\nabla \cdot -\frac{1}{\rho}(\nabla p) - \frac{\omega^2 p}{c^2 \rho} = 0,$$

де акустичний тиск  $p = p_0 \exp(i\omega t)$ ,  $\omega$  – кутова частота хвилі. Константи  $c$  та  $\rho$  – швидкість хвилі та густина води відповідно. З урахуванням цього рівняння математична модель для акустичного тиску була виражена як

$$([K]) - \omega^2 [M] \{U\} - [G] \{P\} = 0, \\ \left( \frac{1}{\rho \omega^2} [S] - \frac{1}{\rho c^2} [T] \right) \{P\} - [G]^T \{U\} = \{W\},$$

де  $[K]$  та  $[M]$  – матриці структурної жорсткості і маси, відповідно,  $[G]$  – матриця зв'язків,  $[S]$  та  $[T]$  – матриці акустичної інертності та еластичності  $\{U\}$ ,  $\{P\}$  та  $\{W\}$  – вектори структурного вузлового переміщення, вузлового тиску рідини та акустичного впливу, відповідно.

В результаті моделювання процесу ультразвукового очищення з 8 п'єзoeлектричними перетворювачами, розташованими на дні баку отримано наступні результати: зміна потужності ультразвукового перетворювача впливає лише на потужність акустичного тиску, не змінюючи картину кавітаційного розподілення суттєво (рис. 2, рис 3), ефективність очищення буде залежати від розташування забрудненого виробу (найефективніше очищення в середині баку). Збільшення частоти призводить до збільшення кількості зон з максимальним акустичним тиском. Збільшення кількості перетворювачів також впливає на підвищення однорідності кавітаційного розподілу. Вплив зміни положень перетворювачів досліджений не був.

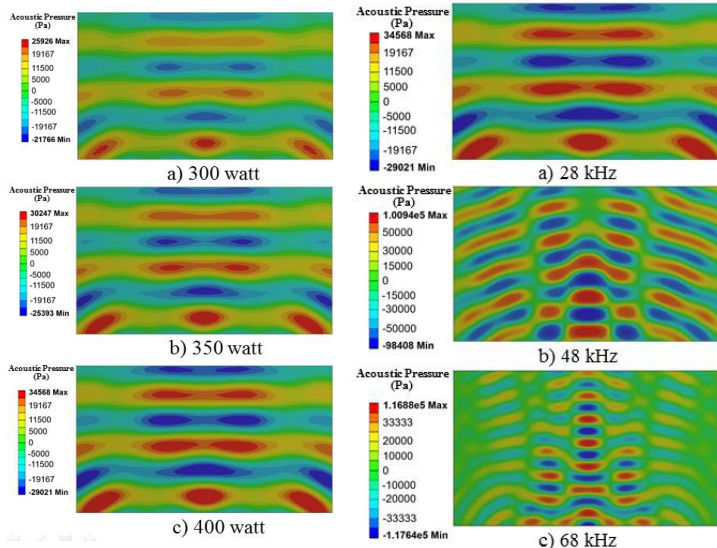


Рис.2. Акустичний тиск при зміні потужності

Рис.3. Акустичний тиск при зміні частоти

В праці [10] розглядається моделювання акустичного тиску і побудова структури поля тиску.

Процес моделювання в цьому дослідженні виконується у двох самостійних напрямках. Спочатку визначається амплітуда поля тиску на основі розв'язку, отриманого з використанням трансформованого рівняння Гельмгольца

$$\nabla \left( \frac{1}{\rho} \nabla P(r,t) \right) - \frac{1}{c^2 \rho} \cdot \frac{\partial^2 P(r,t)}{\partial t^2} = 0,$$

де  $P$  - акустичний тиск. Константи  $c$  та  $\rho$  - швидкість хвилі та густина рідини відповідно, а потім вирішуються за допомогою програмного забезпечення FLUENT. Частота коливань і швидкість хвилі мають протилежний вплив на реакцію системи на прикладений тиск

$$\nabla \left( \frac{1}{\rho} \nabla P(r,t) \right) - \frac{\omega^2}{c^2 \rho} P(r) = 0,$$

де акустичний тиск  $p = p_0 \exp(i\omega t)$ ,  $\omega$  - кутова частота хвилі. Константи  $c$  та  $\rho$  - швидкість хвилі та густина води відповідно.

Відповідно, число хвиль визначається як відношення ультразвукової частоти до швидкості хвилі ( $\omega / c$ ). Як число хвиль збільшується, тенденція рідини до більш високих градієнтів тиску підсилюється. На рис. 4 продемонстровано вплив температури, частоти коливань на поле тиску по всій області потоку. В результаті індукованого тиску на кінчику випромінювача, поля тиску коливається навколо певних середніх значень у різних місцях. Ці амплітуди тиску відіграють важливу роль у визначенні активних регіонів кавітації, які є зонами з тиском нижче конкретного рівня. Ці зони визначаються чорною лінією навколо цих регіонів на рис. 4. Для ініціювання процесу кавітації, середній ефективний тиск повинен бути знижений до певної величини і після цієї точки тиску коливання призводить до розширення кавітаційних бульбашок та їх скорочення аж до розриву. Оскільки процес кавітації розпочинається в регіонах з достатнім негативним тиском, важливо визначити зони з негативним тиском, а також величину їх тиску. Згідно цих досліджень, схема тиску сильно залежить від  $\omega$  швидкості хвилі, температура лише зміщує величини тиску.

Докладне математичне обґрунтування процесу ультразвукового очищення наведено у [11]. Розглянуто просту контактну модель, що враховує ковзання між поверхнями з урахуванням коефіцієнтів статичного та динамічного тертя, акцент при цьому зроблено на динаміці кавітаційних бульбашок та навантаженнях, що виникають при цьому. Використана модель - це модель кулонівського тертя, де коефіцієнт тертя визначається як

$$\mu = \mu_k + (\mu_s - \mu_k) \exp(-\beta V_{rel}),$$

де  $\mu_s, \mu_k$  - коефіцієнти статичного та кінетичного тертя, відповідно,  $\beta$  - коефіцієнт швидкості переходу від статичного до кінетичного тертя,  $V_{rel}$  - відносна швидкість між поверхнями тертя.

Система частинка – тіло моделюється за допомогою моменту та сили балансу, що і будуть визначати відшаровування частинки забруднення від поверхні тіла при перевищенні величин гідродинамічного крутного моменту та сили граничних значень. Для обчислення динаміки частинки бруду розраховується поле тиску на кожному кроці та визначаються результуючі вектори сили та моменту. Вони застосовуються до рівнянь руху твердого тіла, які інтегруються для визначення нового розташування, орієнтації та швидкості частинки.

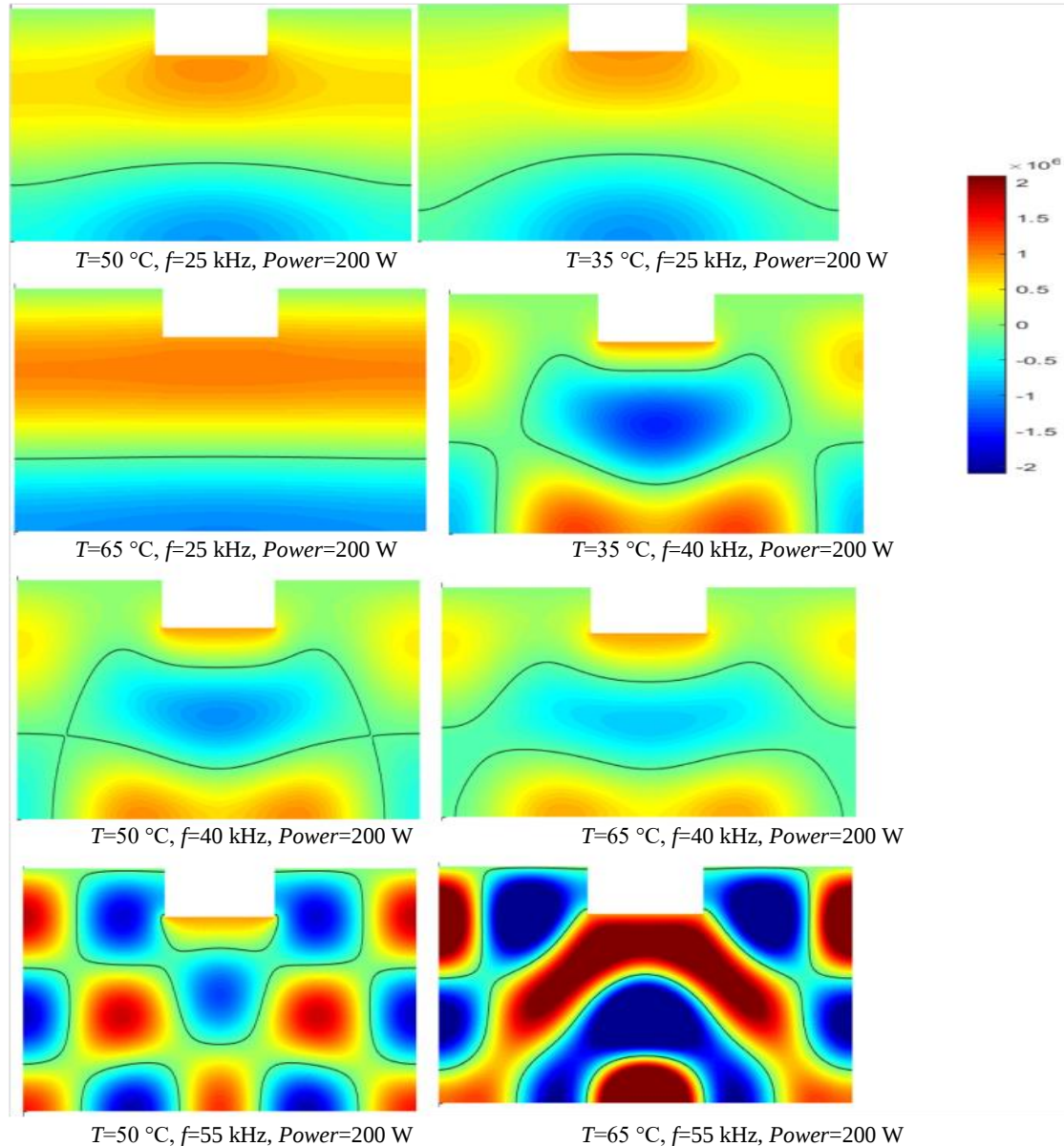


Рис. 4. Поле тиску в залежності від температури ( $T$ ), інтенсивності ( $Power$ ) та частоти ( $f$ ) ультразвуку

Рух центру мас отримується при інтегруванні тиску вздовж змоченої поверхні частинки та врахування інших сил  $F_d$ , наприклад, тертя (зумовленого силами тертя, адгезії та додатковим в'язким опором)

$$M \cdot \frac{dV_G}{dt} = - \iint_{S_B} p \cdot n \cdot dS + F_d,$$

де  $M$  - маса тіла, а  $V_G$  - вектор швидкості центру маси. Для твердого тіла, що не деформується, локальна нормальна швидкість на швидкості стінки тіла пов'язана з  $V_G$  і кутовою швидкістю тіла,  $\omega$  так

$$u_s \cdot n = (V_G + \omega \times R_G) \cdot n,$$

де  $R_G$  - вектор від центру тіла ваги до точки на поверхні тіла.

Рівняння збереження кутового імпульсу  $H$ , задається наступним чином

$$\frac{dH}{dt} = -\omega \times H - \iint_{S_B} P \cdot (R_G \times n) \cdot dS.$$

Розв'язання двох рівнянь дає змогу оновлювати положення та напрям частинок у кожен момент часу. Отже, на процес очищення впливає, де знаходиться центр мас очищувального виробу відносно випромінювачів ультразвуку.

*Аналіз наявних систем керування процесом ультразвукового очищення.* Окрім фізичних та хімічних напрямів розвитку ультразвукового очищення не менш важливим залишається розвиток систем управління цим процесом. Наріжним питанням залишаються вимірювання, на основі яких можна буде здійснювати, керування ультразвуковим очищенням. В праці [12] пропонується оцінювати завершеність процесу очищення за допомогою ультразвукових віддзеркалень, що генеруються в середині теплообмінника або труби. Важкість у цьому випадку, пов'язана із необхідністю використовувати неінвазивне ультразвукове вимірювання. Оскільки важко у таких умовах отримати експертні оцінки, на основі яких відбудеться оцінка вимірювань, використовується згортова нейронна мережа, навчання якої засновано на основній фізичній властивості процесу: під час очищення кількість забруднення може лише зменшуватись. В лабораторних умовах підтверджено зменшення часу на ультразвукове очищення, а відповідно і енергозатрат.

Ще однією можливістю визначення тривалості процесу очищення є визначення змін електропровідності та каламутності очищувальної рідини. У праці [13] розроблено и виконано пристрій ультразвукового очищення, керування в якій базується на інформації датчиків опору очищувальної рідини, що вимірювали за допомогою металевих стрижнів (рис.5), занурених у рідину, та оптичного датчику каламутності, інтерпретація даних якого проводилась через кількість світла, що отримана від приймача до передавача (рис.6).

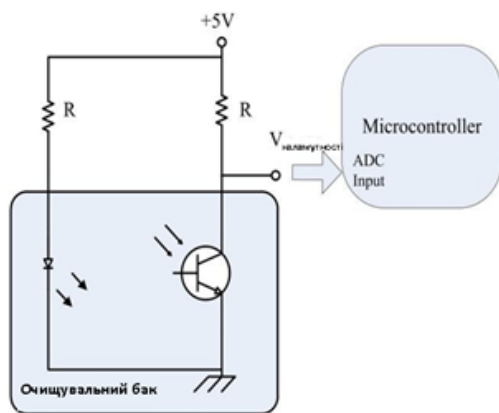


Рис. 5. Вимірювання провідності очищувальної рідини

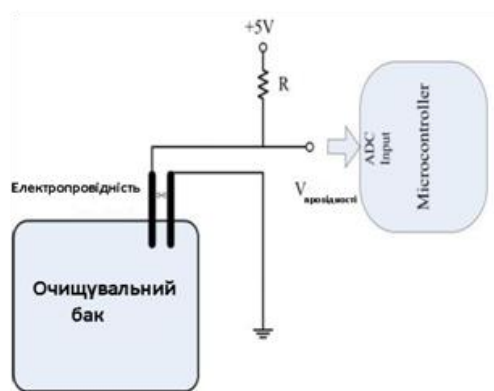


Рис.6. Вимірювання каламутності очищувальної рідини

Під час експериментів отримані графіки залежності, що вказують про існуючий зв'язок між вимірюваними параметрами та процесом очищування. Процес очищування припиняється при відсутності змін каламутності та провідності (рис.7).

В праці [14] запропонована ультразвукова система очищення із змінним частотним діапазоном від 30 кГц до 60 кГц, що змінюється автоматично в залежності від зміни температури рідини. В системі застосовано 9 п'єзоелектричних ультразвукових перетворювачів, один з яких наклеюється на дно з нержавіючої сталі сталевого баку, а решта - приклеюються до навколишнього цистерни.

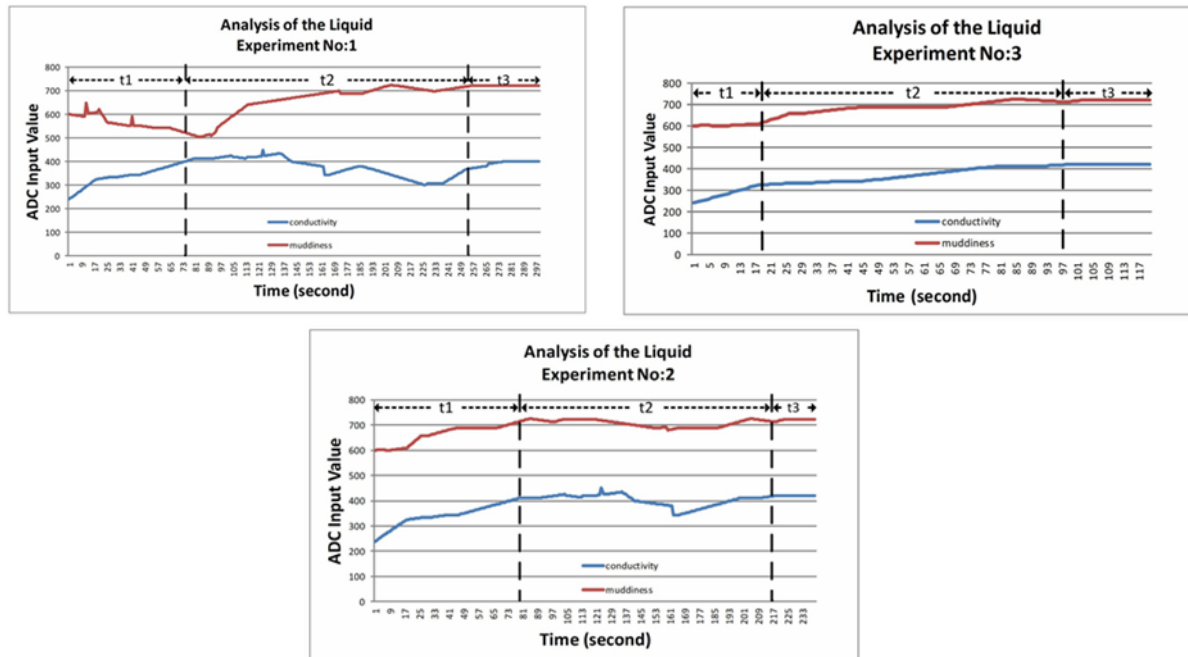


Рис. 7. Змінення значень каламутності та провідності в процесі очищування

**Висновки та напрями подальших досліджень.** Питання підвищення ефективності ультразвукового очищення, як найбільш екологічного та ефективного способу очищення, дуже актуальне. Центральним постає питання збільшення безпечних кавітаційних зон. Оскільки згідно огляду, кавітація розподіляється нерівномірно у ємності, то постає необхідність створити систему керування, яка б забезпечила максимальну ефективність розподілення кавітації у просторі. І якщо феномен кавітації широко досліджується та моделюється у науковій літературі, то питання ефективних систем управління процесом ультразвукового очищення освітлений не так широко. Наявні системи оцінки стану процесу ультразвукового очищення не дають змоги визначити необхідності продовження процесу в залежності від забрудненості на окремих ділянках виробу. Отже, для створення системи керування ультразвуковим очищенням із урахуванням різної забрудненості ділянок виробу складної конфігурації необхідно розробити і системи оцінювання забрудненості об'єкта, що очищується. Також необхідно враховувати вплив таких основних показників, як частота, температура та інтенсивність ультразвукового випромінювання.

#### Список літератури

1. Morkun V.S. Ultrasonic Control of Random Heterogeneous Mediums Parameters//AMMTIAC'42, 1992.
2. Моркун В.С., Пикильняк, А. В., Подгородецкий Н. С., Касаткина И. В. Определение параметров ультразвуковой фазированной решетки для формирования управления распределением газовых пузырьков по размерам в процессе флотации железной руды. *Вісник Криворізького національного університету*. 2014. Вип. 38. С. 77-81.
3. Yamashita T., Ando K. Low-intensity ultrasound induced cavitation and streaming in oxygen-supersaturated water: Role of cavitation bubbles as physical cleaning agents. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2019. Vol. 52, №. 1. P. 268-279.
4. Niemczewski B. Cavitation intensity of water under practical ultrasonic cleaning conditions. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2014. Vol. 21, №.1. P. 354-359.
5. Saalbach K.-A., Twiefel J., Wallasche J. Self-sensing cavitation detection in ultrasound-induced acoustic cavitation. *Ultrasonics*. 2019. Vol. 94. P. 401-410.
6. Xu H., Tu J., Niu F., Yang P. Cavitation dose in an ultrasonic cleaner and its dependence on experimental parameters. *Applied Acoustics*. 2016. Vol. 101. P. 179–184.
7. Nigmatzyanov, R. I., Kazantsev, V. F., Prihod'ko, V. M., Sundukov, S. K., Fatyukhin, D. S. Improvement in Ultrasound Liquid Machining by Activating Cavitation Clusters. *Russian Engineering Research*. 2019. Vol. 8. P. 699–702.
8. Habiba, L., S.Lowe, P., C.Wrobel, L., & Gan, T.-h. Ultrasonic Transducer Array Performance for Improved Cleaning of Pipelines in Marine and Freshwater Applications. *Applied Sciences*. 2019, Vol. 9. P. 20-39.
9. Tangsopha, W., Thongsri, J., & Busayaporn, W. Simulation of ultrasonic cleaning and ways to improve the efficiency. 5th International Electrical Engineering Congress. 8-10 March 2017.
10. Roohia R., Abedib E., Hashemi S. M., Marszalek K., Lorenzo J. M., J. Barbae F. Ultrasound-assisted bleaching: Mathematical and 3D computational fluid. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2019. Vol. 55. P. 66-79.

11. G.L.Chahine G.L., Kapahi A., Choi J.-K., Hsiao C.-T. Modeling of Surface Cleaning by Cavitation Bubble Dynamics and Collapse. Ultrasonic Sonochem. 2016.Vol. 29, P. 528-549.
12. Rajani, C., A. K., Salmi, A., Rauhala, T., Haggström, E., Myllymäki, P. Detecting industrial fouling by monotonicity during ultrasonic cleaning. AALBORG:018 IEEE 28th International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP). 2018.P. 6-12.
13. Duran, F. Design and implementation of an intelligent ultrasonic cleaning device. Intelligent Automation and Soft Computing. January. 2018. Vol.25, № 3. P. 441-450.
14. Rahim A, Bargoshadi H., Sarrafi S. Design and Manufacture an Ultrasonic Dispersion System. Sensors & Transducers Journal. 2011., Vol. 126, №. 3. P. 52-63.

Рукопис подано до редакції 07.10.2019

УДК 629.113-83

ALEXANDER BESHTA, Doctor of technical sciences, professor, OLEKSANDR AZIUKOVSKI, Candidate of technical sciences, professor, EUGENIA KHUDOLII, Junior researcher, SERHII KHUDOLII, Candidate of technical sciences, ALEXANDER BALAKHONTSEV, Candidate of technical sciences, National Technical University "Dnipro polytechnic" MOHAMMED BESHIERIF, HAITHAM RAMADAN, Doctors of technical sciences, professors University of Technology of Belfort-Montbéliard

**Purpose.** Assessment of economic feasibility of the 'vehicle-to-grid' technology (co-generation to the grid from the electric vehicle's battery) for the car owner. Evaluation of financial indicators and estimation of conditions when this technology may become attractive for all the stakeholders of electric mobility market.

**Research methods.** Forecasts of the National Commission for Electric Energy Regulation of Ukraine, as well as analytical data and information from manufacturers of electric vehicles are used in the study. Analysis of daily charging/travelling schedule, ratings of power vs. capacities are used for the evaluation of financial expenditures and profits of the car owners.

**Scientific novelty.** It is proven that V2G technology would become feasible if the battery capacity increases, the power rating of charging/generation stations gets bigger and the special green tariff for co-generation from electric vehicles is introduced.

**Practical value.** Electricity tariff rates as well as other data necessary for calculations of V2G feasibility are given.

**Results.** The overview of renewables in Ukraine and electric mobility in particular are carried out, their feasibility is assessed. The tariffs on electricity from renewables are analyzed, the share of renewable energy sources in Ukraine in future is forecasted. Aspects of V2G technology are analyzed in detail – the use of vehicles' batteries as intermediate energy storage, their charging during cheap night tariffs and co-generation during high demand in order to level electricity consumption on the grid level. It appears that the rated power of charging stations is a 'bottle-neck' – the main limiting factor. Besides, it is shown that reduction of batteries' service life makes the V2G idea inexpedient for the car owner, unless the green tariff will rise.

**Key words:** renewables, green tariff, electric vehicles, co-generation, feasibility study

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-9-14

**The problem and its relationship with scientific and practical tasks.** Renewables and electric vehicles (EVs) are widely discussed around the world. Both these technologies are often referred to as 'green', 'clean' or 'environmentally friendly'. Reduction of CO<sub>2</sub> emissions is also one of the incentives from international organizations like the United Nations Development Programme.

Meanwhile, it is admitted that the share of renewable energy sources in total energy generation is still small. Most countries provide themselves with energy by burning gas and coal, i.e. fossil fuels, in rare cases, like in France or Ukraine, the major energy resource is nuclear power. Electric vehicles are actually not '100% green' – they are charged with electricity, derived from 'non-green' power stations. To make our environment really cleaner, renewable energy is to be deployed at far greater scale than it is now.

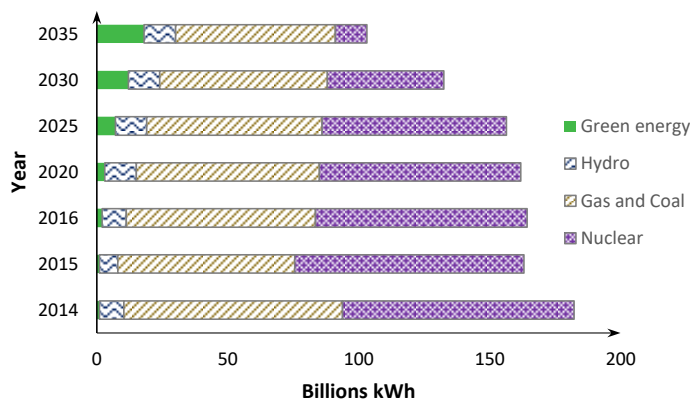
It is known that both technologies in question are very expensive yet. Wind turbines and photovoltaic (PV) panels can not compete with gas stations when it comes to price of kilowatt-hours of electricity. The price for electric cars rapidly declines, but their batteries are still a limiting factor. They are expensive to buy, degrade with time quicker than other vehicle components and require recycling.

That is why many international foundations together with countries' authorities provide financial incentives to promote renewable energy and electric mobility. Governments buy kilowatt-hours generated by renewables at a high price, and EV-manufacturing companies like Tesla or Nissan provide free-of-charge replacement of batteries [1].

The big question is whether renewables will still be feasible when government incentives will run out. Ukraine in this respect is an interesting case – PVs are being supported by the government, EVs are not, but both things rapidly grow. In our study, we tried to make a sober assessment of economic aspects of the technologies in question and look at the sheer feasibility of them.

**Material presentation and results.** Regarding energy generation, Ukraine is in somewhat unique position. It inherited heavy industry and powerful generating facilities from the Soviet Union. After the collapse of the latter, as well as economic and political turmoil, the industry gradually declines [2].

Electric power stations meanwhile are still in place. There is a powerful river Dnipro in Ukraine with 9 hydropower plants, the capacity of the biggest one (the Zaporizhzhya Hydropower Plant) reaching 1.5 mln. kW. Besides, there are 4 nuclear power plants, including the biggest one in the City of Energodar which has 6 blocks of 1 mln. kW each – it covers some 25% of the country's energy demand. The diagram in Fig. 1 [3] shows the forecasted distribution of energy generation facilities up to 2035.



**Fig. 1.** Forecast of energy generation by types in Ukraine

That is why, electricity in Ukraine is one of the cheapest in the world, the price of one kWh is roughly 0.06 euro [4]. France, having biggest share of nuclear power in the world, enjoys low electricity price, too, but it is way higher than in Ukraine – 0.1462 euro per kWh, which is nevertheless 26.5% cheaper than the EU average (20.02 euro cents per kWh) [5].

Without a doubt, renewables can not compete with conventional energy in Ukraine. Apart from some remote areas far from centralized grid, it has been completely inexpedient, moneywise, to install wind turbines or PV panels. Ukrainian government has proclaimed its course towards green energy and developed financial mechanisms promoting their wider use. For certain reasons, they have become truly effective only recently and it sparked a rapid growth of installation of PV stations in Ukraine, as it is shown in Fig. 2 [3, 6].

Currently, small PV station of 10 kW costs roughly EUR 15 000, the payback period is around 4-5 years.

From Fig. 2, the growth rate of PV stations in Ukraine looks very promising, but the situation is not that optimistic. Green tariff, which is the main reason for this development, will go down. The idea was to improve the technology of renewables by its practical use, and hopefully reduce the prices for solar and wind stations by promoting wider manufacturing. Nevertheless, it should be understood that such policy is actually a financial burden for the governments' budgets. In Germany, for example, the idea did not play out as it was expected – the country heavily invested in the development of PV technology, but 1) PV stations did not generate as much energy as it was anticipated, because Germany is a cloudy country, and 2) Chinese manufacturers captured technological achievements and entered the market with way lower prices [7].

Therefore, eventually governments will stop supporting renewables with green tariffs. Initially, the ratio of green tariff and price on conventional kWh was 10:1, currently it is about 3:1. Supposedly, at certain point the cost (not price) of 'renewable kWh' will be competitive, if not equal to the price of the kWh derived from fossil fuel. The National Energy and Utilities Regulatory Commission of Ukraine [4] forecasts that it will happen in 2030. The green tariff will decline, while the price on conventional kilowatt-hour will, of course, keep growing as it is depicted in Fig. 3 [3].

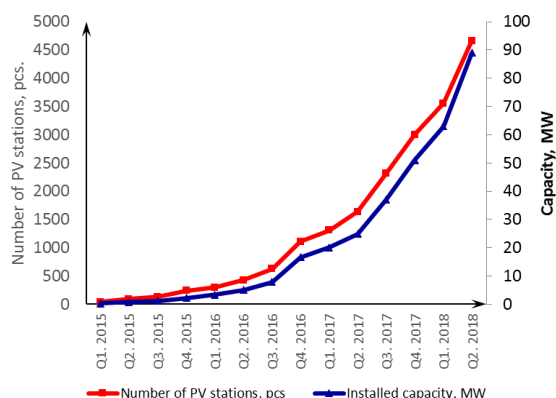


Fig. 2. Growth of PV stations in Ukraine

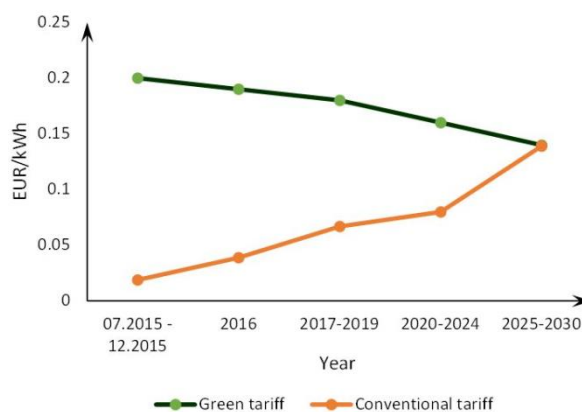


Fig. 3. Green tariff and price for conventional electricity in Ukraine up to 2030

Thus, time is running out. In ten years, we will have between 5% and 8% of renewables in total energy generation of Ukraine. Together with hydropower, that will constitute up to 18% of 'green' energy in Ukraine, and this is the clean energy to rely on.

**Economics of Electric Mobility.** Simply speaking, driving on electricity is extremely cheap in Ukraine. It is because 1 liter of gasoline costs about 1 EUR, roughly equal to the fuel price in Europe, while 1 kWh of electric energy costs about 1/6<sup>th</sup> of its European price.

An average sedan-size car needs about 16 kWh for 100 km, which means that driving 100 km on electricity costs less than 1 EUR, while driving this distance on gasoline is 6-8 EUR in the urban driving cycle. Even taking into account additional costs for EV battery maintenance, this makes a striking difference. That is why Ukraine demonstrates such a rapid growth of EV sales - +402 % in 2017 (Europe - +78%, China - +175%) [8]. The sales of conventional cars meanwhile has dropped by 68%, partly due to ongoing economic recession, but mainly, for the obvious benefits of EVs.

The lion's share of EV market belongs to Nissan Leaf – one of the cheapest electric vehicles. The share of used Leafes accounts 76% of all the EVs in Ukraine, though this number tends to decrease (in 2016 it was 87%).

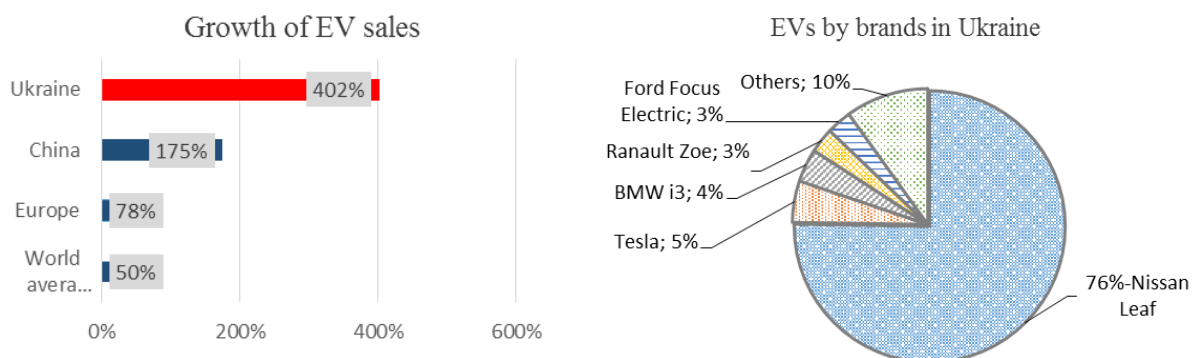


Fig. 4. EV sales and in Ukraine in 2018

Take into account that the charging infrastructure in Ukraine merely exists. There are only several fast charging stations in big cities and some quantity of slow-charging stations. Moreover, the government provides no viable financial support to promote electric mobility in the country. All this shows that having EV in Ukraine is de-facto very feasibly in itself.

Meanwhile, the impact of EVs on environment is a contradictory issue. The technology of internal combustion engines is very mature. The so-called 'well-to-wheel' efficiency and 'well-to-wheel' CO<sub>2</sub> emissions, i.e. energy and emissions calculated taking into account all the stages of energy production and conversion, is roughly equal for conventional and electric cars [9].

Perhaps, gasoline cars are even environmentally 'cleaner' – the on-board catalytic converters and other measures to reduce the harmful substances in modern cars often work better than filtering devices at coal power stations. Nevertheless, electric vehicles have one fundamental advantage, which is electric braking. When vehicle decelerates, some part of its kinetic energy can be captured and put

back to the battery, which is impossible in case of gasoline cars. That is why, EVs will always need less equivalent kilowatt-hours than conventional vehicles. Inevitably, conventional cars will cease to exist.

**Vehicle-to-Grid Concept.** The idea of V2G is to use the batteries of electric vehicles as a temporary storage of electric energy in order to level the loads in electric grids [10]. EVs parking time, as well as most conventional private vehicles, is 85% [11]. Their batteries could be charged during the nighttime, when the load onto the network is low (and electricity is cheap, and then discharged back to the grid during the hours of peak demand. The timing suits fine both utilities and EV-owners. Utilities could benefit from smoothed demand curve, and EV owners can earn money on the difference between the charging/discharging tariffs.

Actually, projects like Tesla Powerwall and Tesla Powerpack serve the same purpose. Such big investments should demonstrate the viability of the V2G concept, too; the thing is that the increase of charging cycles reduces the battery service life. The question is whether it will be feasible for EV-owners to earn extra money with the help of their electric cars, but have a need to replace it sooner. We will try to evaluate that in the next section.

**Case Study: Private PV-Station and Co-Generating Electric Vehicle.** To assess the user-side economics, let us take typical middle-class household in Ukraine. In winter people often use electric heating in addition to gas/coal or wood pellet furnaces, and, besides, spend more energy on illumination as the daylight hours are shorter. In summer, air conditioning is one of the major consumers. The average latitude in Ukraine is  $48^\circ$  and the intensity of solar irradiation is about  $1380 \text{ kW/m}^2$  [12]. The chart in Fig. 5 illustrates the daily consumption versus generation for a typical household with 10 kW PV station.

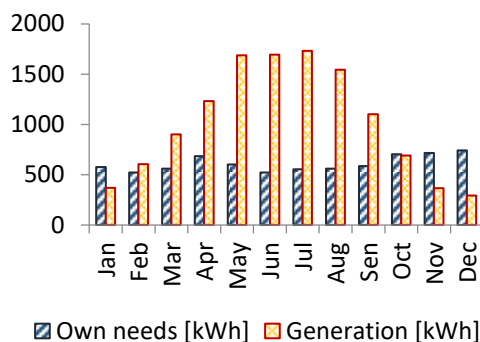


Fig. 5. Average daily consumption of the typical household and PV generation (10 kW station)

Table 1

Provides indicative financial figures for three PV stations of 10 kW, 20 kW and 30 kW capacities respectively [4]

| Indicator                                      | PV capacity [kW] |        |         |
|------------------------------------------------|------------------|--------|---------|
|                                                | 10               | 20     | 30      |
| PV station cost (with installation) [EUR]      | 14489            | 24155  | 32500   |
| Annual generation [kWh]                        | 14747            | 26269  | 36657   |
| Average daily generation [kWh]                 | 72.2             | 144.4  | 216.6   |
| Average daily consumption for own needs* [kWh] | 12.1             |        |         |
| Average gross daily income [EUR]               | 9.6              | 21.2   | 32.7    |
| Gross annual income [EUR]                      | 3509.8           | 7726.3 | 11942.8 |
| Payback [years]                                | 4.1              | 3.1    | 2.7     |

\*Only the daylight hours are counted

The data show that PV station is a good investment with payback period of 3-4 years. The bigger the rating of the station, the more daily income is, given that the consumption is constant. That is why, despite the bigger capital investment, the payback for more powerful station is shorter.

Of course, there are far more factors than simple capital cost versus daily generation, the cost of land, for example. But these factors lie beyond the scope of this study, we just want to illustrate the feasibility of PVs and give indicative dependencies.

To assess the attractiveness of V2G for a typical EV owner, we assume that he or she commutes daily to and back from work, the average daily travelling range is 68.5 km [11]. Thus, 11 kWh for actual driving is needed. Out of 40 kWh battery of Nissan Leaf, the EV owner has 29 kWh in his disposal that can be charged during the night at cheap tariff and sell to the grid when the vehicle is parked (given that there is a charging station that allows recuperation to the grid). Since there is no special tariff, we assume that the owner will be paid at current green tariff rates. Table 2 summarizes calculations of time, energy and money on the user-side. Note that 11 kWh needed for commuting are not taken into account, as this energy the owner would use to travel anyway.

We have taken discharge power at 3 kW, equal to charging in the 'slow' mode.

The typical mid-class worker arrives to work at 8:00 and leaves at 18:00. That gives ten hours of parking time, or 30 kWh to generate to the grid. But he cannot afford that, because he needs charge to

drive back home (not to mention that no one will agree to deplete the battery completely). That is why, actual generation time is less than time allows.

Table 2

Calculation of V2G indicators

| Time                              |    | Power and Energy                        |    | Money                                  |      |
|-----------------------------------|----|-----------------------------------------|----|----------------------------------------|------|
| Daily commuting [h]               | 2  | Battery capacity [kWh]                  | 40 | Charging tariff [EUR/kWh]              | 0.03 |
| Available parking time [h]        | 10 | Energy expenditures for traveling [kWh] | 11 | Green tariff [EUR/kWh]                 | 0.18 |
| Available night charging time [h] | 12 | Available energy for generation [kWh]   | 29 | Daily expenditures for charging* [EUR] | 0.87 |
| Actual generation time [h]        | 7  | Charge/discharge power [kW]             | 3  | Daily profit from generation [EUR]     | 5.22 |
| Actual night charging time [h]    | 11 | Actual generation [kWh]                 | 29 | Gross annual income [EUR]              | 1131 |

\*Energy needed for commuting is not taken into account

Thus, the calculations show that battery capacity is a main limiting factor. If a vehicle had a battery of bigger capacity and rated power were higher, it would use all the available time windows and the owner would profit more.

However, more important is that the gross annual income is not that big to make this idea attractive for the owner. First, very important aspect to be considered is the reduction of battery service life because of the increase of annual charge/discharge cycles. The dependence is nonlinear, the deeper the discharge, the faster degrades the battery. Safe estimate is 300 charging cycles reduce battery capacity by 20% [13-15]. Assume that the owner will be compelled to replace the EV battery when its capacity drops down to 80% (which is a rather realistic assumption). When commuting only, the battery service life is 4.2 years. When using the battery for V2G, it has to be fully charged and completely depleted daily, the service life will not exceed 1.5 years. Given the high price for battery (roughly EUR 5000 for Nissan Leaf's 40 kWh), the user will earn nothing – all the accumulated profit will be spent to buy new battery.

It is to be taken into account that EV owners will unlikely tend to deplete their batteries completely, always preferring to keep some level of charge in their EVs' batteries.

Of course, this is a very rough calculation. We have taken many assumptions, the charging tariff extremely cheap, and generation (green) tariff very lucrative and still it shows that this idea is not viable now.

In future, when there will be far more EVs in European cities which will be able to provide essential support for the utilities for the load levelling, and when the charging/co-generation infrastructure is in place, and batteries are cheap – then, the V2G option will be viable

### Conclusions and Perspectives:

the viability of PV generation worldwide and in Ukraine in particular depends exclusively on government support. As the green tariff declines, so will be the number of newly installed PV stations. Eventually, they'll occupy some small niche in the country's power generation and will keep growing slowly with the advancements in technology;

electric vehicles are viable and expedient for end users even without governments support. No matter how gas/electricity prices vary in future, regenerative braking will always make a decisive advantage of EVs. All the trends in technology play in favor of electric mobility;

The viability of V2G concept remains doubtful. Particularly, in Ukraine it doesn't likely to play out due to the lack of infrastructure and government incentives. When the infrastructure will be deployed at sufficient scale, the green tariff will be already too low to make it feasible for EV-owners. To make it feasible, the following tendencies are to take place:

- increase of battery capacity;
- improvement of fast charging technology;
- reduction of batteries' vulnerability to the number of charging cycles;
- increase of the difference of night and peak tariffs, or special 'EV tariff' from electric utilities.

### References

1. Tesla Maintenance Plans. [https://www.tesla.com/en\\_JO/support/maintenance-plans](https://www.tesla.com/en_JO/support/maintenance-plans)
2. Instability in a Crucial Country: Stratfor's analytical forecast. <https://worldview.stratfor.com/article/part-1-instability-crucial-country>

3. Report of the state agency for energy efficiency and energy saving of Ukraine. <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy>
4. Tariff for electricity in Ukraine. <http://www.nerc.gov.ua/?id=30038>
5. Prices for electricity in France. <https://en.selectra.info/energy-france/guides/electricity-cost>
6. Private solar power stations in Ukraine by the end of 2017: statistical report from Altec Ltd. <https://altec.in.ua/about/news/korporativnye-novosti/215-statistika-po-chastnym-solnechnym-stanciyam-v-ukraine-na-konec-2017-goda> - 2017
7. Moves Toward Green Energy Hamper Germany's Economy. <https://worldview.stratfor.com/article/moves-toward-green-energy-hamper-germanys-economy>
8. Ukraine enters top-10 countries in EV sales. <https://www.epravda.com.ua/rus/news/2018/03/13/634925/>
9. Yazdanie, M., Noembrini, F., Dossetto, L., & Boulouchos K. (2014). A comparative analysis of well-to-wheel primary energy demand and greenhouse gas emissions for the operation of alternative and conventional vehicles. Journal of Power Sources, (249), 333-348.
10. Vehicle-to-grid: Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-grid>
11. Electric vehicles in Europe: report of the European Environment Agency (2016). Available at. <https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-in-europe/download>
12. What is the solar energy and why Ukraine needs it today. <http://iht.univ.kiev.ua/en/content/what-solar-energy-and-why-ukraine-needs-it-today>
13. Battery Lifetime: How Long Can Electric Vehicle Batteries Last? <https://cleantechnica.com/2016/05/31/battery-lifetime-long-can-electric-vehicle-batteries-last/>
14. Beshta, A., Aziukovskyi, O., Balakhontsev, A., & Shestakov, A. (2017). Combined power electronic converter for simultaneous operation of several renewable energy sources. 2017 International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). <https://doi.org/10.1109/mees.2017.8248898>.
15. Beshta, O., Balakhontsev, A. & Albu, A. (2013). Design of electromechanical system for parallel hybrid electric vehicle. Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems, 29-35. <https://doi.org/10.1201/b16355-5>.

The editorial board received a manuscript on 11.11.2019

УДК 656.1: 504.054

В.І. ПАХОМОВ, канд. техн. наук, доц., І.В. ГІРІН, ст. викладач,  
Криворізький національний університет

## ОБГРУНТУВАННЯ НАЙБЛИЖЧИХ ПЕРСПЕКТИВ ВИБОРУ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ АВТОМОБІЛЯ

**Мета.** Основною метою роботи є комплексне дослідження впливу параметрів силових агрегатів автомобілів на економічну ефективність їх експлуатації та розробка на основі аналізу та систематизації світового досвіду пропозицій щодо економічних заходів стимулювання впровадження відновлюваних джерел енергії в якості джерел живлення автомобілів, а також оцінка їх ролі в формуванні кон'юнктури міжнародних енергетичних ринків.

**Методи дослідження.** У роботі виконано аналітичні дослідження з використанням світових та вітчизняних статистичних показників стосовно подальших перспектив розвитку автомобілів з силовими агрегатами на альтернативних джерелах живлення. Використано комплексний підхід, що включає узагальнення і аналіз літературних джерел і досліджень в галузі автомобільного транспорту.

**Наукова новизна.** Наукову цінність представляє аналітичне оцінювання темпів зростання ринку сучасного автомобільного парку з двигунами на альтернативних джерелах живлення та виявлення основних сегментів та технічних напрямків для подальшого підвищення складового рівня цього виду рухомого складу в загальній долі автотранспорту України.

**Практична значимість** роботи визначається можливістю використовувати розроблені і обгрунтовані в роботі заходи економічного стимулювання альтернативних джерел живлення для автомобільних двигунів. Положення і рекомендації дослідження можуть бути використані при вирішенні завдань забезпечення національної економічної безпеки за рахунок диверсифікації енергетичних джерел на внутрішньому ринку, а також при формуванні підходів до інтеграції України у транспортну систему ЄС. Результати роботи можуть бути застосовані організаціями та компаніями, які беруть участь у формуванні політики в сфері енергетики

**Результати.** Виконано порівняльний аналіз впливу рівня технічних компонентів електромобілів і традиційних автомобілів на стан автомобільного ринку. Узагальнено результати порівняльних характеристик компонентів та технічних можливостей електрокарів в порівнянні із звичайними авто. Дано порівняльну оцінку експлуатаційних показників найбільш поширених на сучасному світовому та внутрішньому ринку електромобілів і автомобілів з традиційними силовими агрегатами

**Ключові слова:** енергосистема, двигун, джерело енергії, електромобіль, газомоторне паливо.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-14-20

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями** Актуальність проблеми зменшення споживання транспортом палива нафтового походження пояснюється погіршенням екологічної обстановки і стабільним подорожчанням нафти, пов'язаним з виснаженням її запасів і зі збільшенням попиту на вуглеводневе паливо

Аналіз розвитку світового автомобільного ринку показує, що сьогодні електромобілі і автомобілі з комбінованими (гібридними) енергоустановками стають серйозною альтернативою для споживачів в ухваленні рішення при покупці нових автомобілів. Експертне співтовариство єдине в думці, що електричні технології стають домінуючим фактором, що забезпечує поліпшення експлуатаційної ефективності транспортних засобів. При цьому ключовими аспектами змін в контексті розвитку автомобілів є напрями, що несуть серйозні зміни для традиційної автомобільної промисловості, її конструкторської та технологічної бази.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Великий внесок у розвиток теорії автомобільного обладнання внесли російські і зарубіжні вчені: С.В. Акімов, В.А. Баляндрасніков, В.В. Болотін, С.Я. Дунаєвський, Е.В. Кононенко, Ю.А. Монастирський, Ю.А. Купе, Б.І. Петленко, Г.А. Сипайло, І.І. Трещев, М.Н. Фесенко, А.Е. Чернов, А.А. Ейдінов, В.Є. Ютг, W. Kellenberger, J. Kozesnik, A. Krapcl, G. Langkabel, G. Pfeifer, AAV. Robinson, I. Szabo, G. Torges, E. Wiedemann та інші, в роботах яких закладені основи аналізу і синтезу автомобілів з комбінованою енергоустановкою і електромобілів.

Однак існує ряд невирішених теоретичних і практичних проблем, які не дозволяють в даний час електричкам конкурувати в більшості випадків з автомобілями, оснащеними традиційною силовою установкою.

Важливе значення для успішного впровадження електромобілів і автомобілів з комбінованою силовою установкою набуває взаємозв'язок між наборами проектних технологій і комплексами забезпечення експлуатаційної ефективності, які базуються на показниках якості і надійності.

**Постановка завдання.** З огляду літературних джерел намітилися наступні напрями вирішення даної проблеми:

- модернізація двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ);
- використання альтернативних, більш екологічно чистих видів палива для теплових ДВЗ (спирт і його суміш з бензином, біологічне паливо, природний газ і водогін);
- використання альтернативних джерел енергії (електроенергії, стисненого повітря, механічної інерції маховика).

При виборі альтернативних видів енергії (палива) необхідно враховувати джерело і технологію його одержання, віддаючи перевагу відновлюваним джерелам.

Модернізація ДВЗ спрямована на підвищення його екологічних і економічних показників, як правило, за рахунок вдосконалення електронної системи управління двигуном, системи впуску, камер згоряння, застосування комплексної системи нейтралізації відпрацьованих газів (ВГ), а також використання різних видів палива. Зазначені заходи дозволяють задовольняти вимогам законодавчих актів, що регламентують кількість токсичних речовин в ВГ в найближчому майбутньому. Однак очевидно, що в міру посилення норм ці напрями вичерпають свої можливості щодо зниження викидів токсичних речовин. Тому необхідно вже сьогодні розвивати інші методи енергозабезпечення транспорту.

**Викладення матеріалу та результати.** У найближче десятиріччя розвиток автомобільної промисловості України призведе до однієї з найсерйозніших екологічних проблем - забруднення навколишнього середовища токсичними викидами автомобілів. Рішенням цієї проблеми вже зараз займаються багато закордонних фірм-виробників автомобілів за підтримки своїх держав. Зниження викидів токсичних речовин автотранспортом ці виробники досягають за рахунок збільшення частки випуску електромобілів, гібридних автомобілів з тяговою батареєю і використанням водневого або газомоторного палива для поршневих двигунів внутрішнього згоряння.

За кількістю електромобілів на душу населення безумовне лідерство за Норвегією. У 2017 році в цій країні 39% продаваних автомобілів були електрокарами або гібридами (в результаті зараз 6,4% всіх машин в Норвегії - електричні). На другому місці йде Ісландія - 11,7%, на третьому Швеція - 6,3%. Також до п'ятірки увійшли Нідерланди (2,7%) і Фінляндія (2,6%).

Частка продажів екологічно чистих машин в Китаї становить вже 2,2%. При цьому потрібно мати на увазі, що саме Китай є найбільшим за обсягом продажів ринком електрокарів. Тут продається більше 40% всіх електромобілів.

У 2017 році вперше в історії було продано більше 1 млн електромобілів і гібридів. А загальна кількість таких авто в світі на той період вже становила 3,1 млн. Звичайно, поки це мало в порівнянні з бензиновими і дизельними машинами. Але необхідно звернути увагу, з якою швидкістю ростуть продажі цих машин. Так в 2018 році по всьому світу було продано вже 2 018 247 нових електромобілів і гібридів. Зростання продажів щодо 2017 року склало 64%. Тобто загальна кількість електромобілів і гібридів до січня 2019 року склало 5,1 млн.

Найбільшим ринком для електрифікованих машин є Китай - тут їх в 2018 році продали 1,1 млн., зростання продажів склало більше 80%. На другому місці - Євросоюз, результат - 408 000 реалізованих електромобілів і гібридів, це + 33%. Третє місце займають США, де продано 361 000 «зелених» машин, збільшення продажів склало + 81%.

Рейтинг продажів електромобілів і гібридів за моделями розподілився в такому порядку. Перше місце займає Tesla Model 3, глобальні продажі цього седана склали 146 310 одиниць. У 2017 році ця модель була всього лише на 106-му місці.

З помітним відставанням від лідера на другому місці знаходиться BAIC EC-Series (90 640 штук). Це один з найдоступніших електромобілів Китаю. Характеристики у нього відповідні: потужність електромотора всього 49 або 61 к.с., а запас ходу не перевищує 260 кілометрів навіть для старої версії.

Майже стільки ж (87 149 штук) було продано моделей Nissan Leaf. Ця модель не потребує представлення, вона користується стійким попитом у багатьох країнах.

У п'ятірку лідерів увійшли ще дві моделі «Тесли»: Tesla Model S (50 045 штук) і Tesla Model X (49 349 штук). З урахуванням того, що коштують вони дуже недешево навіть за мірками розвинених країн і змагаються з автомобілями преміум класу, ці результати також заслуговують на повагу.

Серед виробників електромобілів 2018 рік був особливо успішним для китайської моделі BYD: відразу п'ять його електричних моделей увійшли в Топ-20. Там же знаходяться і три машини китайської моделі BAIC.

За прогнозами експертів, в 2030 році (тобто через 11 років) кількість електромобілів і гібридів в світі досягне 125 млн штук. При цьому мова йде про «песимістичний» сценарій. Згідно з оптимістичним, їх буде 228 млн, причому на електромобілі доведеться 130 млн, а на гібриди - ще 90 млн. А частка продажів екологічно чистих машин в Європі і Китаї досягне позначка у 20-25%.

У китайському місті Шеньчжень вже зараз всі автобуси з електричним приводом (а скоро на електротягу будуть переведені також таксі). Правда, поки це єдине велике місто в світі, яке перевело весь громадський транспорт на електрику.

Одночасно з ростом числа електрокарів очікується і стрімкий розвиток інфраструктури. До 2030 року кількість зарядних точок перевищить кількість електромобілів на 10%. Для порівняння, зараз навіть в Норвегії один загальнодоступний зарядний пристрій доводиться на 19 електромобілів, а в Швеції - на 12 (не враховуються точки в приватних будинках). Хоча, наприклад, в Японії вже зараз на 7 електромобілів доводиться одна загальнодоступна зарядна станція.

Обґрунтування вибору джерела енергії для автомобілів майбутнього кожна країна повинна робити з урахуванням аналізу природно-кліматичних умов, аналізу капітальних і експлуатаційних витрат, аналізу розвитку власної енергосистеми і відповідної інфраструктури для нових джерел енергії.

Швидка динаміка зростання продажів електромобілів пояснюється їх загальновідомими перевагами в експлуатації, істотними субсидіями і значною технічною підтримкою з боку зацікавлених держав, а також температурними і кліматичними умовами країн - лідерів рейтингів продажів цих машин. Аналіз географічного розташування країн, які стали лідерами продажів електромобілів у 2018 році показаний в табл.1.

Кліматичні і температурні умови країн, що є лідерами продажу електромобілів у 2018 році

| Країна   | Розташування, градус північної широти | Температура, °C                   |                                 |                                   |
|----------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|          |                                       | влітку                            | взимку                          | середньорічна                     |
| Китай    | 22,5 <sup>0</sup> ÷ 45 <sup>0</sup>   | +27 ÷ 35<br>субтропіки            | +3 ÷ +9<br>субтропіки           | +16 ÷ +19<br>субтропіки           |
| Євросоюз | 38 <sup>0</sup> ÷ 71 <sup>0</sup>     | Німеччина<br>+22 ÷ 24<br>помірний | Німеччина<br>0 ÷ +4<br>помірний | Німеччина<br>+5 ÷ +10<br>помірний |
| США      | 30 <sup>0</sup> ÷ 49 <sup>0</sup>     | +24 ÷ 35<br>субтропіки            | +1 ÷ +11<br>субтропіки          | +14 ÷ +16<br>субтропіки           |
| Японія   | 30 <sup>0</sup> ÷ 45 <sup>0</sup>     | +25 ÷ 30<br>субтропіки            | +1 ÷ +10<br>субтропіки          | +15 ÷ +17<br>субтропіки           |
| Норвегія | 58 <sup>0</sup> ÷ 71 <sup>0</sup>     | +25 ÷ 30<br>помірний              | -6 ÷ -8<br>помірний             | +6 ÷ +9<br>помірний               |
| Україна  | 46 <sup>0</sup> ÷ 52 <sup>0</sup>     | +18 ÷ 23<br>помірний              | -2 ÷ -7<br>помірний             | +8 ÷ +11<br>помірний              |

Проведений аналіз показав, що в більшій частині території Китаю, США і Японії є сприятливі кліматичні умови для ефективної експлуатації електромобілів протягом всього календарного року, так як середньорічна температура в цьому поясі не нижче + 15°C. Це підтверджується залежністю, наведеною на рис.1. Решта країн мають сприятливі кліматичні умови для ефективної експлуатації електромобілів в літній період року. У зимовий період року через низьку температуру навколишнього середовища ємність тягової батареї істотно знижується.



Рис. 1. Залежність середньорічної температури навколишнього середовища від кліматичного поясу (верхня крива – верхній параметр температури, нижня крива – нижній параметр температури): 1 - тропічний пояс; 2 - субтропічний пояс; 3 - помірний пояс

Відомо, що при температурі навколишнього середовища + 20°C доступна ємність акумуляторної батареї становить 100%, а при + 5°C доступна ємність її зменшується на 10 ÷ 15% (рис. 2). Ще більш небажані моменти спостерігаються

з тяговими батареями. Так аналітики Американської автомобільної асоціації (AAA) прийшли до висновку, що низькі температури навколишнього середовища істотно знижують відстань, яку може проїхати електромобіль на одному заряді. Як впливає з опублікованого дослідження AAA, коли температура навколишнього середовища становить 20° F (-6,6° C), пробіг на одному заряді при працюючій системі опалення автомобіля знижується в середньому на 41%. Літій-іонні акумулятори дуже чутливі до температури. При цьому вони однаково погано переносять вкрай високу і низьку температуру, адже коли стає дуже холодно, електролітна рідина всередині батареї стає в'язкою і швидко втрачає акумуляуючі якості. Особливо це критично для тих електромобілів, які не мають власної системи управління температурою акумулятора.

Але навіть при їзді без обігріву салону дальність пробігу досить сильно зменшується, оскільки ємність літій-іонних акумуляторів знижується при низьких температурах. Високі температури також негативно позначаються на дальності пробігу: при температурі 95 ° F (+ 35° C) при включеному кондиціонері вона зменшується на 17%.

Таким чином, аналітики AAA встановили, що вплив температури навколишнього середовища на електромобілі істотно більше, ніж раніше очікували. Так в AAA протестували п'ять популярних моделей електромобілів - BMW i3s, Chevrolet Bolt EV, Nissan Leaf, Tesla Model S і Volkswagen e-Golf. Автори дослідження прийшли до висновку, що для всіх моделей вплив морозу на зниження дальності виявився подібним. Накопичений досвід при експлуатації електромобілів в екстремальних погодних умовах (осінньо-зимовий період, помірний кліматичний пояс, велика спека) показав, що в таких умовах доводиться окремо виділяти енергію на опалення, вентиляцію або кондиціонування салону.

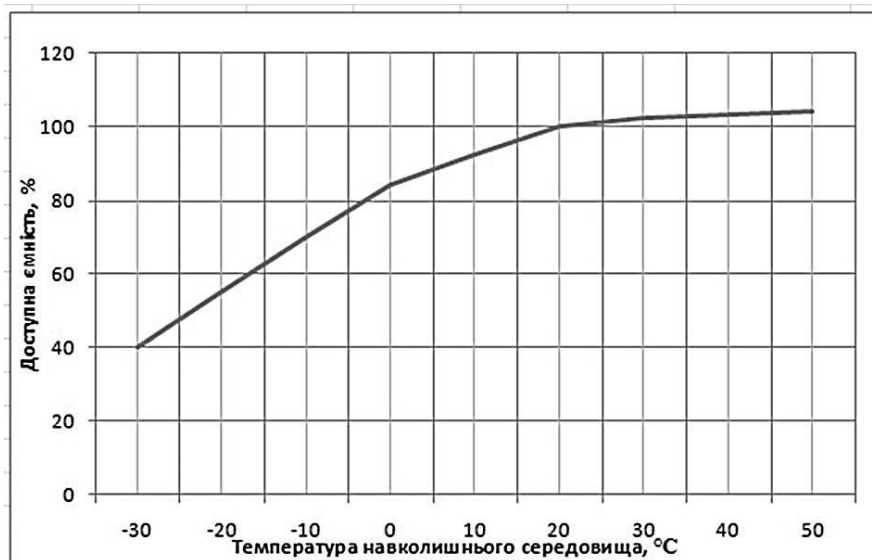


Рис. 2. Залежність доступної ємності АКБ від температури навколишнього середовища

Крім того, при екстремальних температурах, бортовий комп'ютер і зовсім може заблокувати резерв енергії в батареї для її збереження, оскільки АКБ найважливіший і дорогий компонент електромобілів. Наприклад, так роблять електромобілі Tesla, попереджаючи, що частина накопиченої енергії в електромобілі в холодну погоду може бути недоступна. Подібний резерв передбачений практично у всіх сучасних електромобілях, тому що розрядка батареї в повний «нуль» один з найбільш небажаних моментів для збереження акумуляторної батареї електромобіля. Також при експлуатації електромобіля в холодну погоду, часто зустрічаються такі негативні моменти: обмеження можливостей рекуперативного гальмування, а точніше передачі в акумулятор вироблюваної їм енергії і зниження швидкості зарядки, особливо швидкої, для захисту акумулятора.

Холодна погода не ворог електромобіля та його батареї, а тільки знижує його ефективність. Набагато більшої шкоди акумуляторній батареї може нанести її перегрів, влітку в жарку погоду при перегріванні батареї відбувається її деградація.

Так само для порівняльної оцінки звичайних автомобілів з ДВЗ і електрокарів необхідний аналіз загальної вартості володіння електромобілем. Загальна вартість володіння електромобілем - це його первісна ціна при покупці, а також витрати на паливо і обслуговування протягом всього терміну експлуатації. Для конкурентоспроможної моделі електромобіля ємність акумуляторної батареї повинна становити не менше 40 кВт·годин, а краще більше - від 45 до 60 кВт·годин. Зростання продажів електромобілів стримують, в першу чергу, високі ціни, ніж на їх бензинові і дизельні аналоги. Однак нове дослідження показує, що це може змінитися протягом наступних кількох років. Згідно з дослідженням, проведеним дослідницькою фірмою Deloitte, первісна ціна покупки транспортного засобу з акумуляторним живленням є одним з головних перешкод для прийняття рішення, але аналіз показав, що вартість покупки електромобіля може відповідати їх традиційним аналогам в усьому світі до 2022 року. Це буде пов'язано з тим, що середня ціна літій-іонної батареї, яка раніше становила майже половину вартості всього автомобіля, вже знизилася з \$ 600 за кВт·ч до \$ 208 за останні 5 років. Ця тенденція буде продовжуватися. Коли ціна батареї впаде нижче \$ 150 за кВт·годину, електрокари будуть дешевшати швидше і експлуатаційні витрати їх на 1 км пробігу також будуть знижуватися.

Експерти німецького автомобільного клубу (ADAC) в 2017 році змоделивали умови володіння різними електромобілями протягом чотирьох років при річному пробігу 15000 км. Встановлено, що кілометр шляху на електричному Ford Focus коштує приблизно 56,6 євроцента проти 51 цента у бензиновій і 51,4 цента у дизельній модифікації. Найбільш нерентабельною виявилася Tesla Model S - проїхати на ній кілометр обійдеться в 1,37 євро. Так первісна ціна покупки електромобіля впливає на собівартість проїзду 1 км.

Експлуатаційні витрати електромобілів також будуть знижуватися в міру того, як у виробництві електроенергії будуть менше використовувати вугілля. У найближчі роки Великобри-

танія, США, Японія і Євросоюз вже закривають вугільні електростанції і отримують більше енергії від вітряків та сонячних ферм, які також масштабно встановлюються практично в кожному регіоні світу, крім Південно-Східної Азії. У зв'язку з цим дослідження Bloomberg показали, що в 2018 році викиди вуглекислого газу від електричних транспортних засобів були приблизно на 40% нижче, ніж у транспортних засобів на ДВЗ. Сама відчутна різниця була зафіксована в Великобританії, де зосереджено багато об'єктів відновлюваної енергетики.

Аналітики Bloomberg також відзначають, що коли автомобіль з ДВЗ сходить з конвеєра, його викиди на 1 км пробігу фіксуються назавжди, у випадку з електромобілем вони будуть знижуватися з року в рік, у міру того як електромережа буде ставати чистішою.

Згідно з дослідженнями BNEF, широке поширення поновлюваних джерел енергії скоротить середні викиди на цілих 90% у Великобританії і більш ніж на третину в Японії до 2040 року. Також BNEF прогнозує, що глобальна частка вироблення електроенергії з нульовим викидом вуглецю збільшиться з 38% в 2018 році до 63% до 2040 року. У той час як удосконалення технологій ДВЗ призведе до скорочення їх викидів приблизно на 1,9% на рік до 2040 року, забруднення від електромобілів буде зменшуватися з 3 до 10% щорічно. Багато в чому це пов'язано з відмовою від вуглеводнів у виробництві електроенергії, а також зі скороченням її споживання.

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Дослідження впливу природно-кліматичних умов, аналіз загальної вартості володіння електромобілем та розвитку власної енергосистеми і відповідної інфраструктури для нових джерел енергії показав, що для цілорічної ефективної експлуатації легкового автомобіля в умовах України на перспективу 5-10 років доцільним джерелом енергії буде ДВЗ на газомоторному паливі. Для автобусів і комерційних вантажних автомобілів найкращим вибором джерела енергії також буде ДВЗ на газомоторному паливі. Трохи більш витратним варіантом вибору джерела енергії для тих же транспортних засобів буде гібридна силова установка, яка також використовує газомоторне паливо, а також батарею, що підзаряджається (плагін-гібрид)

#### *Список літератури*

1. **Karabektas M.** The effects of preheated cottonseed oil methyl ester on the performance and exhaust emissions of a diesel engine / M. Karabektas, G. Ergen, M. Hosoz // *Applied Thermal Engineering*. –2008. –28(17-18). P. 2136-2143
2. **Ghesti G.F.** Application of Raman Spectroscopy to Monitor and Quantify Ethyl Esters in Soybean Oil Trans685esterification/ G.F.Ghesti, J.L. De Macedo, V.S.Braga, A.T.C.P. De Souza, V.C.I. Parente, E.S.Figueroa, I.S.Resck, J.A.Dias, S.C.L.Dias // *JAOCS*. —2006. —Vol. 83. —No 7. —P.597-
3. **Mahajan S.** Determining the Acid Number Biodiesel / S.Mahajan, S.K.Konar, D.G.B. Boocock // *JAOCS*. —2006. —Vol. 83.—No 6. —P. 567-570
4. **He H.Y.** Comparison of Membrane Extraction with Traditional Extraction Methods for Biodiesel Production/ He H.Y., Guo X., Zhu S.L. // *JAOCS*. —2006. —Vol. 83. —No 5. —P.457-460.
5. **Товажнянский Л.Л.** Звіт з науково-технічної роботи “Дослідження процесів згоряння, тепловиділення та утворення шкідливих речовин при використанні біопалив рослинного походження у дизелях” / Л. Л. Товажнянский, В. В. Спіфанов, А. П. Марченко // X: НТУ “ХПІ”, 2006. —39 с.
6. **Ільченко А. В.** Перспективи застосування біодизельного палива в автомобільних двигунах / А. В. Ільченко // *Вісник НТУ*. —2013. —No 27. —С. 370–373.
7. **Гутаревич Ю.Ф.** Перевірка адекватності математичної моделі руху дорожнього транспортного засобу за ізовим циклом при роботі на природному газі // Гутаревич Ю.Ф., Матейчик В.П., Сидоренко Р.В., Яновський В.В. *Вісник НТУ і ТАУ*. — 2002, № 6, С.300-304.
8. **Матейчик В.П.** Шляхи ефективного використання природного газу як моторного палива для автомобілів // Матейчик В.П., Яновський В.В., Сидоренко Р.В.- *Вісник НТУ і ТАУ*. — 2001, № 5, С.60-64.
9. **Чекмарёва О.В.** Оценка и управление пылегазовыми выбросами от автомобильного транспорта в атмосферу промышленного города. Дисс.канд. техн. наук. Оренбург, 2002. - 155 с
10. **Чириков К.Н.** Прогноз применения компримированного природного газа на автотранспорте // Чириков К.Н. АвтоГазозаправочный Комплекс+Альтернативное топливо. 2003. - №3. - с. 20 - 23.
11. *Transport Economics: Past Trends and future Prospects.* ECMC, 2010.
12. **K. Owen** Automobile Fuel Handbook / K. Owen, T. Coley. N.York: SAE, 2009.-650 p
13. **Бондаренко Е.В.** Требования к методикам интегральной оценки экологической опасности автомобильных топлив // Бондаренко Е.В., Филиппов А.А. *Вестник Красноярского государственного технического университета*. Вып. 31. Транспорт. 2003. - С. 56 - 63
14. **Капустин А.А.** Об особенностях конструкции ДВС при работе на природном газе // Капустин А.А., Пономарев А.В., Соколов М.Г. НТС ОАО «Газпром» -М., 2006.-С. 22-32.
15. **Кавтарадзе З.Р.** Перспективы применения поршневых двигателей на альтернативных моторных топливах. // Кавтарадзе З.Р., Кавтарадзе Р.З. *Транспорт на альтернативном топливе*. - 2010, - № 1 (13). - С. 74-80

16. **Бондарь В.А.** Экологическая безопасность использования газового топлива / Бондарь В.А. АвтоГазоЗаправочныйКомплекс + Альтернативное Топливо (АГЗК + АТ). 2003. - №2(8) - С. 64-69
17. **Балабаева И.** Биодизельный бум в Германии // Балабаева И. Автомобильный транспорт. 2005. - №12. - С.40
18. Бензиновый вопрос [Електронний ресурс] // Автобизнес : маркетинговый автомобильный журнал [Сайт]. URL: <http://www.abiz.ru/ru/2/20/428/?nid=956&a=entry.show>
19. **Митрова Т.** Тенденции и риски развития мировой энергетики [Електронний ресурс] // Перспективы [сайт] : сетевое издание Центра исследований и аналитики Фонда исторической перспективы. URL: [http://www.perspektivy.info/rus/gos/tendencii\\_i\\_riski\\_razvitiya\\_mirovoiy\\_energ\\_etiki.htm](http://www.perspektivy.info/rus/gos/tendencii_i_riski_razvitiya_mirovoiy_energ_etiki.htm)
20. **Строганов В.И.** Концепция обеспечения качества и надежности электромобилей и автомобилей с гибридной силовой установкой / В. И. Строганов, В. Н. Козловский // Электроника и электрооборудование транспорта. - 2012. - №5-6. - С. 49-55.
21. **Строганов В.И.** Аналитическое моделирование тяговой системы электромобилей и автомобилей с комбинированной силовой установкой // В.И. Строганов, В.Н. Козловский, А.Г. Сорокин А.Г., Л.Н. Мифтахова // Вестник Казанского технологического университета. -2014. - №7. - С. 107-113

Рукопис подано до редакції 04.11.2019

УДК 614.8:331.45:331.421:331.582.2

К.В. ДАНОВА, В.В. МАЛИШЕВА, кандидати техн. наук, доценти  
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

## ІНФОРМАЦІЙНА ЕНТРОПІЯ ЯК ПОКАЗНИК НЕВИЗНАЧЕНОСТІ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ БЕЗПЕКИ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ ПРАЦІВНИКІВ ІЗ ІНВАЛІДНІСТЮ

**Мета.** Аналіз можливості використання інформаційної ентропії як показника, що характеризує невизначеність у прийнятті управлінських рішень стосовно працевлаштування особи, яка має стійкі функціональні зміни у стані здоров'я, на робоче місце. За показником інформаційної ентропії особа, яка приймає управлінські рішення, має можливість визначати необхідність впровадження організаційно-технічних рішень щодо адаптації робочого місця із урахуванням обмежень життєдіяльності працівника із інвалідністю.

**Методи дослідження.** Методика ґрунтується на аналізі наявної статистичної інформації щодо причин травматизму, пов'язаного із виробництвом, на підприємствах переробної галузі, задля визначення вірогідності настання нещасного випадку за кожною групою як індивідуального ризику травмування. На базі цього визначено інформаційну ентропію. Врахування стану здоров'я осіб із інвалідністю пропонується здійснювати за інтегральним показником функціональної обмеженості життєдіяльності, який впливає на значення інформаційної ентропії, що надає можливість виробляти ефективні управлінські рішення щодо її зменшення та підвищення рівня охорони праці на робочих місцях працівників із інвалідністю та підприємств у цілому.

**Наукова новизна.** Полягає у розробці підходу до прийняття управлінських рішень стосовно забезпечення охорони праці працівників із інвалідністю в умовах підприємства на основі врахування їх особливих потреб за інтегральним показником функціональної обмеженості життєдіяльності, що впливає на рівень інформаційної ентропії, яка відображає ефективність реалізації завдань щодо забезпечення безпеки на робочих місцях цієї категорії працівників.

**Практичне значення.** Полягає у наданні особі, яка приймає управлінські рішення, інформаційної бази для визначення пріоритетних напрямів підвищення рівня безпеки на робочих місцях відповідно до потреб працівника, який має стійкі функціональні зміни у стані здоров'я, з метою попередження зростання рівня виробничого травматизму. Зниження ризику травмування працівників із інвалідністю сприятиме посиленню позитивного ставлення до питання працевлаштування цієї категорії населення з боку роботодавців, що надасть змогу отримати суттєвий соціально-економічний ефект на державному рівні.

**Ключові слова:** ентропія, невизначеність, ризик, працівник, інвалідність, травма, безпека.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-20-25

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Працевлаштування осіб із стійкими функціональними порушеннями у стані здоров'я на підприємства України є важливим соціально-економічним завданням. Низький рівень трудової зайнятості осіб із інвалідністю призводить до негативних економічних наслідків, пов'язаних із втратою робочої сили, а також соціальних проблем, викликаних низьким рівнем доходу цієї категорії населення.

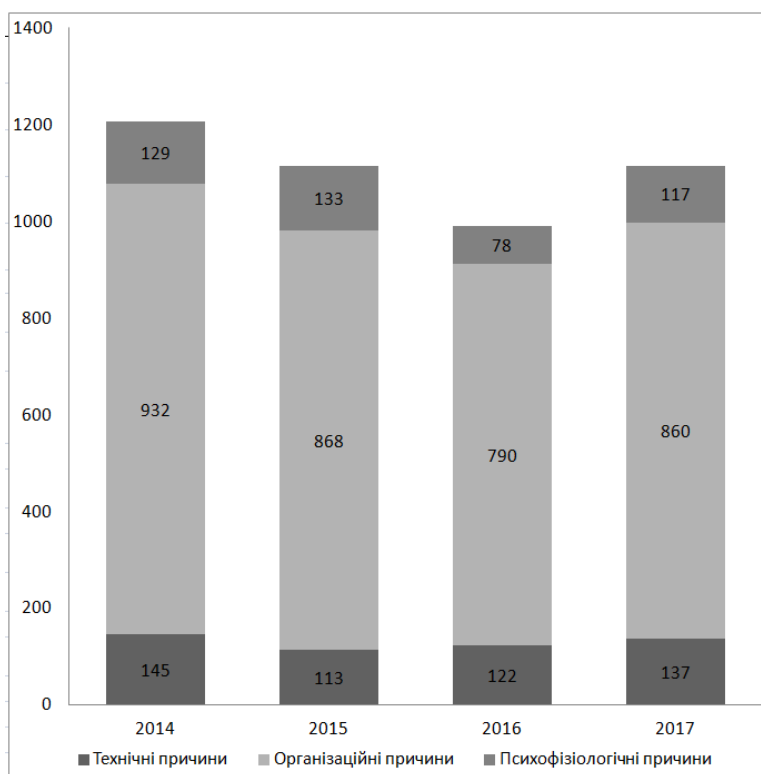
Квотний принцип працевлаштування осіб із обмеженими можливостями, що запроваджений Законом України «Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю в Україні» [1], установлює норматив робочих місць для працевлаштування осіб з інвалідністю у розмірі чотирьох відсотків середньооблікової чисельності штатних працівників облікового складу за рік, а

якщо працює від 8 до 25 осіб, – у кількості одного робочого місця для підприємств, установ, організацій, у тому числі підприємств, організацій, громадських організацій осіб з інвалідністю, фізичних осіб, які використовують найману працю тощо. Незважаючи на ці вимоги, рівень офіційного працевлаштування осіб з інвалідністю в Україні залишається вкрай низьким (близько 0,5 % від загальної чисельності осіб з інвалідністю) [2].

Основною причиною низького рівня включення осіб з інвалідністю у виробничий процес є складність у забезпеченні безпеки на робочому місці працівника із особливими потребами та високий рівень ризику, пов'язаного із виконанням трудових обов'язків цієї категорії працівників.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Закон України «Про охорону праці» зобов'язує роботодавця впроваджувати заходи щодо організації безпечних та нешкідливих умов праці на робочих місцях працівників [3]. Враховуючи високий рівень ризику, пов'язаний із виконанням працівником, який має стійкі функціональні зміни у стані здоров'я, професійних обов'язків, роботодавець прагне уникнути додаткової небезпеки та створює певні перешкоди працевлаштуванню працівника із інвалідністю або пропонує «умовну» зайнятість, за якої працівник фактично не є включеним у трудовий процес. З огляду на сучасні європейські підходи до працевлаштування осіб з інвалідністю така форма зайнятості припускається лише у тих випадках, коли стан здоров'я працівника є особливо складним і він майже не здатний до самообслуговування. У всіх інших випадках роботодавець має шукати шляхи залучення осіб з інвалідністю на робочі місця, забезпечуючи при цьому належний рівень безпеки.

В Україні вже тривалий час зберігається високий рівень виробничого травматизму, що пов'язано із недостатньою ефективністю системи керування охороною праці, значним фізичним та моральним зносом основних фондів виробництва та низьким рівнем уваги з боку роботодавця до питань охорони праці. На рис. 1 наведено статистичні дані по підприємствах переробної галузі, що відображають кількість потерпілих від нещасних випадків, пов'язаних із виробництвом, за групами причин згідно актів розслідування [2]. З наведених даних видно, що більшість працівників травмується з причин організаційного характеру (77-79% від загальної чисельності потерпілих).



**Рис. 1.** Кількість потерпілих від травматизму, пов'язаного із виробництвом, на підприємствах переробної галузі України

Тобто недоліки у організації праці, а також неврахування технічних й психофізіологічних факторів у організації трудового процесу, обумовлюють настання нещасних випадків, що є

пов'язаними із виробництвом, для працівників, які не мають виражених стійких функціональних порушень у стані здоров'я.

Забезпечення безпеки осіб із інвалідністю на робочих місцях пов'язане, у першу чергу, із вирішенням питань щодо організації робочого місця та технологічного процесу із врахуванням психофізіологічних особливостей, обумовлених станом здоров'я працівника із особливими потребами. Підвищення рівня інформативності процесу прийняття управлінських рішень щодо вибору робочого місця, виробничого навантаження та врахування особливих потреб осіб із інвалідністю дозволить знизити ризики та підвищити рівень безпеки трудових процесів.

Закордонні вчені вже тривалий час досліджують питання щодо включення осіб із обмеженими можливостями у виробничий процес. Однак при цьому необхідно враховувати, що професійна діяльність цієї категорії працівників має бути організована із урахуванням особливих вимог безпеки, обумовлених їх фізичними чи нервово-психічними обмеженнями, наявністю яких підвищує ймовірність настання нещасного випадку чи аварії.

При прийомі на роботу роботодавець зацікавлений у отриманні інформації про функціональні можливості працівника із інвалідністю та його рівень професійної працездатності, оскільки він має бути впевнений у тому, що працівник здатний безпечно та ефективно виконувати виробничі завдання, що йому доручатимуться [4]. Визначено, що у процесі найму на роботу працівника із особливими потребами перед роботодавцем постає низка питань, вирішення яких потребує певного інформаційного забезпечення: оцінка рівня кваліфікації та працездатності; сума витрат, необхідних на переоснащення робочого місця під потреби працівника із інвалідністю; особливості інтеграції працівника із інвалідністю та вплив на колектив; питання забезпечення безпеки на робочому місці.

Брак інформації з цих питань не дозволяє роботодавцеві організувати ефективну професійну інклюзію й безпеку та підвищує вразливість працівника із інвалідністю внаслідок впливу факторів виробничого середовища та трудового процесу [5].

Тому керівнику, який приймає рішення щодо працевлаштування особи із особливими потребами, підбору та адаптації робочого місця, важливо отримувати максимально повну інформацію у контексті трудової зайнятості, оскільки її нестача призводить до зростання ступеня невизначеності процесу прийняття управлінських рішень.

Відповідно до [6], невизначеність означає сумнів, наприклад у достовірності результатів вимірювань, що обумовлюється відсутністю точного знання щодо значення величини, що вимірюється. При використанні даного терміну у контексті теорії інформації, невизначеність характеризує ситуацію браку інформації стосовно об'єкту управлінської функції. За допомогою даного терміну стандарт [7] надає визначення одному з ключових понять у сфері безпеки – терміну «ризик», який визначено як вплив невизначеності на мету. Таким чином, поняття невизначеності тісно пов'язане із питанням безпеки як у аспекті оцінки умов праці при проведенні метрологічних вимірювань, так і у ситуації прийняття управлінських рішень в умовах недостатньої інформації щодо досліджуваного об'єкта.

**Постановка задачі.** Завданням наукової статті є дослідження рівня інформаційного забезпечення процесу прийняття управлінських рішень щодо зниження ризику травматизму на робочих місцях працівників із інвалідністю.

**Викладення матеріалу та результати.** Травматизм на робочих місцях, відповідно до Порядку розслідування нещасних випадків [8], визначається наступними групами причин:

технічні причини, що обумовлені конструкцією та експлуатаційним станом виробничого обладнання та технологічного процесу;

організаційні причини, що характеризуються особливостями функціонування системи управління охороною праці;

психофізіологічні причини, викликані впливом фізіологічних та психологічних особливостей працівника.

Група технічних причин виробничого травматизму, що, в основному, характеризується станом виробничого обладнання, засобів виробництва, транспорту та середовища, може бути записана у вигляді

$$X_1 = \{x_{11}, x_{12}, x_{13}\}, \quad (1)$$

де  $x_{11}$  – конструктивні недоліки, недосконалість засобів виробництва, що можуть призвести до травмування працівника, транспортних засобів;  $x_{12}$  – невідповідності технологічного процесу, що становить небезпеку для працівника;  $x_{13}$  – незадовільний технічний стан виробничих об'єктів, інженерних комунікацій, території, засобів виробництва, транспортних засобів, виробничого середовища.

Група організаційних причин включає в себе недоліки функціонування системи управління охороною праці, порушення вимог безпеки, трудової та виробничої дисципліни

$$X_2 = \{x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}\}, \quad (2)$$

де  $x_{21}$  – недоліки функціонування системи управління охороною праці, невикористання засобів колективного чи індивідуального захисту;  $x_{22}$  – недоліки під час проведення медичного обстеження (професійного відбору) працівника;  $x_{23}$  – недоліки навчання з питань безпеки, складання інструкцій з охорони праці;  $x_{24}$  – порушення вимог безпеки, трудової та виробничої дисципліни.

Психофізіологічні причини виробничого травматизму, пов'язані із впливом людського фактора, характеризуються як

$$X_3 = \{x_{31}, x_{32}, x_{33}\}, \quad (3)$$

де  $x_{31}$  – незадовільні фізичні чи нервово-психічні характеристики працівника;  $x_{32}$  – алкогольне, наркотичне отруєння (сп'яніння), особиста необережність;  $x_{33}$  – незадовільний мікроклімат у колективі, протиправні дії осіб.

У разі розглядання випадків травматизму за окремими групами причин як дискретних подій, що є несумісними, ймовірність настання травми за певною причиною може бути записана у вигляді

$$P\left(\sum_{i=1}^n X_i\right) = \sum_{i=1}^n p(X_i) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij}}{N}, \quad (4)$$

де  $X_i$  –  $i$ -група причин травматизму, пов'язаного із виробництвом;  $x_{ij}$  –  $j$ -й нещасний випадок за  $i$ -ю групою;  $N$  – середньоспискова чисельність працівників за галуззю, що розглядається.

Враховуючи це та використовуючи наявні статистичні дані (рис. 1), визначимо відносну ймовірність настання нещасного випадку за кожною групою як індивідуальний ризик травмування, отримуємо:  $p_1 = 0,95 \cdot 10^{-4}$ ;  $p_2 = 6,37 \cdot 10^{-4}$ ;  $p_3 = 0,84 \cdot 10^{-4}$ .

Ймовірність отримати травму зростає із збільшенням ступеня інформаційної невизначеності щодо небезпек, пов'язаних із технологічним обладнанням й процесами, функціонуванням системи управління охороною праці, а також психофізіологічним станом працівника.

Інформаційна невизначеність може бути виражена через ентропію за формулою К. Шеннона, за кожною групою причин

$$H(X) = -\sum_{i=1}^n p(X_i) \log_a p(X_i), \quad (5)$$

де  $p_i$  – ймовірність настання небажаного наслідку у вигляді травмування працівника внаслідок браку інформації для прийняття управлінського рішення щодо попередження виробничого травматизму за  $i$ -ю групою причин;  $a$  – основа логарифму, що обирається залежно від кількості можливих станів (у даному випадку розглядаються два стани: отримання чи неотримання травми працівником на робочому місці).

Враховуючи це, інформаційна невизначеність, що виражена через ентропію, щодо груп причин, що призвели до нещасних випадків, відповідно становитиме:  $H(x_1)=0,00127$ ;  $H(x_2)=0,00676$ ;  $H(x_3)=0,00114$ .

У випадку працевлаштування працівника із інвалідністю на певне робоче місце спостерігатиметься зростання невизначеності, що обумовлюється браком інформації щодо відповідності робочого місця, технологічного процесу, факторів оточуючого середовища та ін. особливим вимогам цієї категорії працівників, які можуть бути згруповані наступним чином:

ступінь відповідності виробничого обладнання та трудового процесу психофізіологічним особливостям працівника із інвалідністю (у контексті невідповідності параметрів виробничого обладнання та трудового процесу);

здатність системи управління охороною праці забезпечити достатність організаційних заходів по забезпеченню безпеки на робочому місці працівника із інвалідністю;

відповідність психофізіологічного стану працівника із інвалідністю змісту виконуваної роботи.

Інвалідність працівника, що встановлюється за висновками медико-соціальної експертизи, характеризується поєднанням категорій обмеження життєдіяльності  $u_p$ , та ступеня вираженості критерію обмеження життєдіяльності  $k_j$  [9]

$$E_{pj} = \{u_p, k_j\}, \quad (6)$$

де  $u_p$  – критерій обмеження життєдіяльності, що характеризує здатність людини до самообслуговування, пересування, орієнтації, контролю своєї поведінки, спілкування, навчання, виконання трудової діяльності згідно [10];  $k_j$  – ступінь вираженості критерію обмеження життєдіяльності (I – помірно виражений, II – виражений, III – значно виражений згідно [10]).

З метою урахування обмежень життєдіяльності працівника із інвалідністю використовує інтегральний показник функціональної обмеженості життєдіяльності  $I_e$ , що характеризує загальний рівень обмеження життєдіяльності [9]

$$I_e = \int_{u_1}^{u_7} f(u) du. \quad (7)$$

Аналіз складових основних причин виробничого травматизму за ф-ми (1-3) показав, що вплив функціональної обмеженості життєдіяльності на зростання рівня травматизму може очікуватися за усіма групами причин виробничого травматизму. Враховуючи це, запишемо ймовірність настання нещасного випадку за ф-ю (5) у вигляді

$$P(X) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij}}{N_1 + \sum_{k=1}^p I_{e_k} N_{2_k}}, \quad (8)$$

де  $N_1$  – чисельність працівників без стійких функціональних змін у стані здоров'я;  $N_{2k}$  – чисельність працівників із інвалідністю  $k$ -ї групи за інтегральним показником функціональної обмеженості життєдіяльності  $I_e$ .

Враховуючи те, що, згідно статистичних даних, в Україні понад 14 % населення працездатного віку мають інвалідність, та використовуючи вираз (8), визначимо ймовірність настання нещасного випадку у випадку, за якого із загальної чисельності працівників галузі 10 % мають інвалідність III групи. Приймаємо інтегральний показник функціональної обмеженості життєдіяльності  $I_e = 0,8$ . За таких умов ймовірність настання нещасного випадку із отриманням травми становитиме:  $p_1 = 1,03 \cdot 10^{-4}$ ;  $p_2 = 6,92 \cdot 10^{-4}$ ;  $p_3 = 0,94 \cdot 10^{-4}$ . В реальних умовах на підприємствах можуть бути працевлаштовані працівники не лише III, але й II групи інвалідності, що збільшує ймовірність травматизму.

Інформаційна невизначеність настання нещасного випадку, виражена через ентропію, відповідно становитиме:  $H(x_1)=0,00136$ ;  $H(x_2)=0,00726$ ;  $H(x_3)=0,00126$ .

Таким чином, врахування функціональних обмежень життєдіяльності працівників призвело до зростання рівня невизначеності стосовно організації безпеки праці на робочих місцях працівників із інвалідністю. При проведенні аналізу робочих місць показник ентропії дозволяє у зручній для особи, яка приймає рішення, формі отримати інформацію для вирішення питання щодо пріоритетності аналізу стану безпеки та впровадження відповідних заходів з охорони праці.

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Внаслідок наявності хронічного захворювання, вроджених вад, нещасного випадку людина може отримати стійкі функціональні зміни у стані здоров'я. При прийнятті на роботу особи із інвалідністю перед роботодавцем постає питання забезпечення належного рівня безпеки працівника та мінімізації ризиків, пов'язаних із виконанням працівником професійних завдань. Це може розглядатися як приклад прийняття рішення в умовах невизначеності, що істотно впливає на рівень безпеки на окремому робочому місці, у структурному підрозділі і, навіть, на рівні підприємства.

З метою визначення пріоритетності завдань щодо попередження виробничого травматизму на робочих місцях працівників із інвалідністю у статті запропоновано використовувати інформаційну ентропію як показник, що характеризує невизначеність стану безпеки на робочому місці. За значенням ентропії роботодавець може приймати обґрунтовані рішення щодо пріоритетності напрямів вдосконалення охорони праці на підприємстві.

#### Список літератури

1. Закон України «Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю в Україні»: станом на 20 січ. 2018 р. / Верховна Рада України, <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/875-12>.
2. Офіційний сайт Державної служби статистики України, <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
3. Закон України «Про охорону праці»: станом на 20 січ. 2018 р., <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/875-12>.
4. Bonaccio S. (2019) The Participation of People with Disabilities in the Workplace Across the Employment Cycle: Employer Concerns and Research Evidence / S. Bonaccio, C. E. Connolly, I. R. Gellatly // Journal of Business and Psychology. – 2019. – Volume 34. – pp. 1-24.
5. Breslin F. C. Examining occupational health and safety vulnerability among Canadian workers with disabilities / F. C. Breslin, A. M. Lay, A. Jetha, P. Smith // Disability and Rehabilitation Journal. – 2018. – Volume 40, issue 18. – pp. 2138-2143.
6. Uncertainty of measurement ISO/IEC GUIDE 98-3:2008(E), <https://www.sis.se/api/document/preview/910301/>.
7. Risk management — Guidelines ISO 31000:2018, <https://pecb.com/whitepaper/iso-310002018-risk-management-guidelines>.
8. Деякі питання розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві, <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1232-2011-%D0%BF>.
9. Данова К.В. Функціональні обмеження осіб із інвалідністю в аспекті оцінки рівня працездатності та безпеки праці / К.В. Данова // Комунальне господарство міст. – Вип. 146. – С. 133-137.
10. Питання медико-соціальної експертизи, <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1317-2009-%D0%BF/page>.

Рукопис подано до редакції 13.12.2019

УДК 622.271.33:622.12

С.О.ЛУЦЕНКО, канд. техн. наук, доц., В.Г.БЛІЗНЮКОВ, д-р техн. наук, проф.,  
І.В.БАРАНОВ, канд. техн. наук  
Криворізький національний університет

### ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ КОНТУРІВ КАР'ЄРІВ, ЩО РОЗРОБЛЯЮТЬ КРУТОСПАДНІ ЗАЛІЗОРУДНІ РОДОВИЩА

**Мета.** Удосконалити науково-методичну базу в області проектування і планування відкритих гірничих робіт шляхом розробки нових і коригування існуючих методів визначення границь відкритих гірничих робіт, на основі порівняння показників режимів гірничих робіт, що змінюються в часі, проектного кар'єру і діючих (базових) кар'єрів.

**Методи дослідження.** Економічною основою розрахункового принципу визначення перспективної глибини проектного кар'єру прийнято умову: в будь-який період розробки економічні показники виробництва і реалізації залізорудної продукції проектного підприємства повинні бути краще або рівні аналогічних показників діючого (базового для порівняння) підприємства. Реалізація цієї умови досягнута із застосуванням геометричного аналізу кар'єрних полів і порівняння режимів гірничих робіт проектного і діючого кар'єрів.

**Наукова новизна.** Розроблена методика відрізняється від відомих урахуванням зміни граничних коефіцієнтів розкриття в часі, а також визначенням впливу технологічних показників кар'єрів-конкурентів на кінцеву глибину кар'єру, що проектується [2].

**Практична значимість.** Результати виконаних досліджень можуть бути використані проектними організаціями і гірничодобувними підприємствами при визначенні перспективних контурів кар'єрів.

**Результати.** Приведено загальноприйнятий принцип визначення меж відкритих гірничих робіт, суть якого полягає у визначенні границь на основі порівняння допустимої собівартості видобутку руди з очікуваною за проектом кар'єром [1]. Розроблена методика визначення границь кар'єрів, яка передбачає застосування граничного коефіцієнта розкриття як величини не постійної, а такої, що змінюється в часі, і залежить від зміни поточних коефіцієнтів розкриття на кар'єрах-конкурентах [2]. На прикладі кар'єрів, які відображають характерні особливості розробки крутоспадних родовищ України, продемонстровано вплив поточних коефіцієнтів розкриття діючих кар'єрів на граничний коефіцієнт розкриття, який служить головним критерієм при визначенні меж відкритих гірничих робіт для проектного кар'єру [2].

**Ключові слова:** відкриті гірничі роботи, перспективні контури кар'єра, кордони кар'єра, граничний коефіцієнт розкриття, глибина відкритих гірничих робіт, собівартість концентрату.

**Проблема та її зв'язок з науковими й практичними задачами.** На даний час верхні горизонти більшості залізородних кар'єрів підходять до своїх проектних границь. Тому робота кар'єрів буде характеризуватися досягненням найбільших експлуатаційних коефіцієнтів розкриву. Саме це призведе до того, що собівартість руди й у цілому витрати на виробництво концентрату досягнуть припустимої величини. Виходячи з цього, величина експлуатаційного коефіцієнта розкриву, що визначає кінцеві границі кар'єрів, може бути зменшена за рахунок вибору напрямку розвитку гірничих робіт і визначення раціональних контурів кар'єрів по поверхні. Зменшення експлуатаційного коефіцієнта дозволить розширити кінцеві границі кар'єрів, тим самим збільшити запас руди в контурах кар'єрів і промисловий потенціал гірничо-збагачувальних комбінатів.

Слід зазначити що, своєчасне визначення кінцевих контурів кар'єрів дозволяє планувати потребу в земельних площах під поверхневі будинки та технологічні спорудження, що забезпечують нормальну роботу гірничо-збагачувальних комбінатів на тривалий час. При цьому неможливе значення має й соціальний фактор.

Необхідність вже зараз визначати перспективні кінцеві границі кар'єру обумовлена тим, що після виходу верхніх горизонтів на кінцевий контур кар'єри будуть працювати в режимі щорічного зниження (вибуття) виробничої потужності, а для підготовки перекриття такого вибуття буде потрібно 5-7 років при будь-якому способі розробки [3]. При цьому збільшиться глибина розробки родовища, а більша частина верхніх горизонтів робочої зони буде погашена, що зажадає залучення значно більшого обсягу інвестицій на освоєння запасів за затвердженим проектним контуром кар'єру [4].

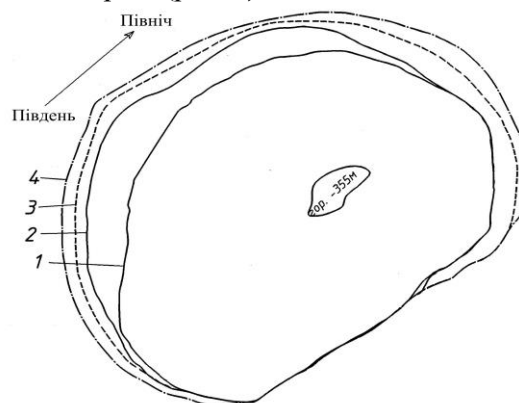
З визначенням перспективних кінцевих контурів кар'єру відбудеться зміна обсягів розкривних порід, руди та її якості, при яких необхідно встановити його виробничу потужність і період роботи комбінату [4].

**Аналіз досліджень і публікацій.** Питаннями визначення границь кар'єрів займалася велика кількість учених. Найбільший внесок [5-9] у теорії проектування границь відкритих гірничих робіт належать [2]. О.І. Стешенко, І.А. Кузнєцову, П.І.Городецькому, О.І. Арсент'єву, В.В. Ржевському, В.С. Хохрякову, В.Г. Білізюкову, О.К. Поліщуку. Дослідження з визначення перспективних границь відпрацювання кар'єрів проводилися Академією гірничих наук України [10] і Державним вищим навчальним закладом «Криворізький національний університет» [11]. У цих роботах в основу визначення граничного коефіцієнта розкриву було покладено порівняння показників роботи досліджуваних підприємств із показниками подібних гірничо-збагачувальних комбінатів [2]. Економічна ефективність і строк роботи підприємства, повнота використання запасів корисних копалин і обсяги інвестицій прямо залежать від границь відкритих гірничих робіт [2]. Ціна товарної руди (продукції), яка залежить від її якості, завжди визначала границі відкритих гірничих робіт. Однак на різних гірничовидобувних підприємствах товарна продукція тієї ж самої якості може мати різну ціну реалізації, що у свою чергу може внести помилку при визначенні кінцевих контурів кар'єрів. Тому запропонована методика визначення граничного коефіцієнта розкриву, який дозволяє уникнути впливу неприродних і нетехнологічних факторів на ціну концентрату [12]. На основі проведених досліджень була розроблена нова методика визначення границь кар'єрів [13], з урахуванням зміни граничного коефіцієнта розкриву в часі, яка дозволяє визначати кінцеву глибину проектного кар'єру з урахуванням можливої зміни обсягів вилучення розкривних порід і видобутку руди на базових підприємствах-конкурентах, тобто з урахуванням зміни їх поточних коефіцієнтів розкриву [2]. Це дає можливість підприємству залишатися конкурентоспроможним протягом всього строку експлуатації родовища.

**Постановка задач.** Метою даної роботи є дослідження зміни найбільшого поточного коефіцієнту розкриву залежно від збільшення проектної глибини проектного кар'єру, а також динаміки із часом поточних коефіцієнтів розкриву на гірничо-збагачувальних комбінатах (ГЗК) і гірничовидобувних підприємствах України. Таке дослідження дасть можливість розв'язати питання визначення перспективних границь проєктованих залізородних кар'єрів залежно від впливу технологічних показників кар'єрів-конкурентів. В остаточному підсумку перспективні контури повинні забезпечити мінімальне значення коефіцієнта розкриву в цілому по кар'єру [14].

**Виклад матеріалів і результати.** Для виконання досліджень за основу був взятий Першотравневий кар'єр ПрАТ «Північний ГЗК». Для визначення раціональної глибини Першотравневого кар'єру намітили кілька варіантів його контурів по поверхні (рис. 1).

**Рис. 1.** Можливі контури Першотравневого кар'єру по поверхні: 1 – сучасний стан гірничих робіт; 2 – контур кар'єру за першим варіантом; 3 – за другим варіантом; 4 – за третім варіантом



При побудові контурів кар'єру та положення гірничих робіт за мірою їх зниження прийняті значення кутів укосів бортів кар'єру до моменту їх погашення відповідно до значень представлених у роботі [15]. Кути робочих бортів кар'єру прийняті відповідно до значень, які фактично досягнуті на Першотравневому кар'єрі.

Для цих варіантів були прийняті наступні кінцеві глибини кар'єру ( $H_k$ ):

I варіант – нижня відмітка дна кар'єру «-565 м»,  $H_k = 670$  м;

II варіант – положення дна кар'єру через 50 м, тобто нижня відмітка дна кар'єру «-615 м»,  $H_k = 720$  м;

III варіант – положення дна кар'єру через 120 м, тобто нижня відмітка дна кар'єру в замковій частині родовища «-665 м»,  $H_k = 770$  м.

Характеристика Першотравневого кар'єру по варіантах, що досліджувалися представлено в табл. 1.

Таблиця 1

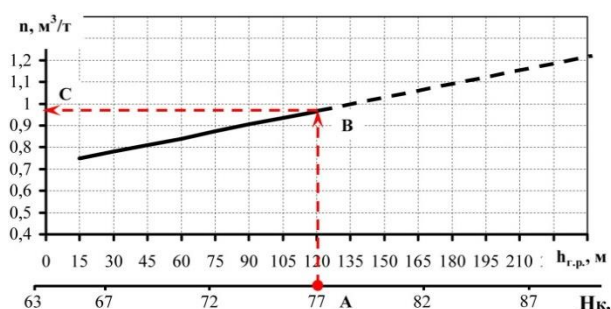
Експлуатаційна характеристика Першотравневого кар'єру

| Показники                                                                       | Варіанти кінцевої глибини кар'єру ( $H_k$ ) |            |             |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------|-------------|
|                                                                                 | I варіант                                   | II варіант | III варіант |
| Кути укосів робочих бортів ( $\alpha$ ), град.                                  | 16-20                                       | 16-20      | 16-20       |
| Найбільший поточний коефіцієнт розкриву ( $n_m$ ), м <sup>3</sup> /т            | 0,78                                        | 0,87       | 0,965       |
| Глибина гірничих робіт з найбільшим поточним коефіцієнтом розкриву ( $H_r$ ), м | -355                                        | -400       | -445        |

За кожним розглянутим варіантом, для визначення максимальних поточних коефіцієнтів розкриву, відбудували положення гірничих робіт у момент їх виходу за рівнем денної поверхні на проектні (кінцеві) контури кар'єру. При побудові календарних планів гірничих робіт були використані рекомендації «МІ-ЦЕНТР» [15]. Посування бортів кар'єру здійснюємо в північно-східному та південно-західному напрямках за кожним розглянутим варіантом. Посування борту в східному напрямку не доцільно, у зв'язку з наявністю на ньому фабрики. Далі за кожним варіантом здійснюємо розрахунки обсягів видобутку руди та вилучення розкривних порід з визначенням максимальних поточних коефіцієнтів розкриву.

За результатами розрахунків побудували графіки зміни найбільших поточних коефіцієнтів розкриву залежно від збільшення кінцевої глибини кар'єру  $n_{m,max} = f(H_k)$  (рис. 2). Вихідним для розрахунків прийняте сучасне положення гірничих робіт.

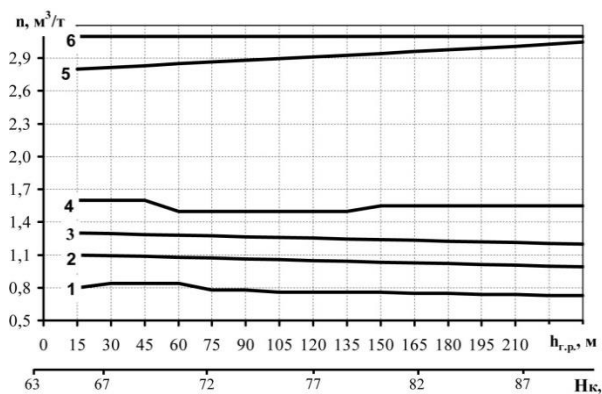
Аналіз варіантів кінцевої глибини кар'єру показав, що розвиток контурів кар'єру по поверхні обмежується наявністю транспортних комунікацій, будинків і споруджень (за винятком відвалів на північному та південно-західному бортах кар'єру). Максимальна перспективна глибина кар'єру, при якій немає обмежень розвитку контурів по поверхні становить 770 м (суцільна лінія  $n_{m,max} = f(H_k)$  на рис. 2), при цьому граничний коефіцієнт розкриву становить 0,97 м<sup>3</sup>/т (рис. 2 лінія A-B-C). При



**Рис. 2.** Графік зміни найбільших поточних коефіцієнтів розкриву залежно від збільшення кінцевої глибини кар'єру  $n_{m,max} = f(H_k)$

збільшенні перспективної глибини Першотравневого кар'єру необхідно буде виконати не тільки перенос, або ліквідацію вище зазначених відвалів, але й перенос (або знос) транспортних комунацій, будинків і споруджень (пунктирна лінія  $n_{т.мах} = f(H_k)$  на рис. 2).

Визначення граничного коефіцієнта розкриття та кінцевої глибини кар'єру на різних ділянках родовища виконали за розробленими методиками [12, 13]. Їх сутність полягає у виключенні впливу суб'єктивних факторів на ціну товарної продукції, які роблять неточним застосування існуючих методів визначення кінцевих контурів кар'єрів. Методика визначення границь кар'єрів передбачає застосування граничного коефіцієнта розкриття як величини не постійної, а мінливої в часі, і такої, яка залежить від зміни поточних коефіцієнтів розкриття на кар'єрах-конкурентах [1]. Згідно цих методик граничний коефіцієнт розкриття для Першотравневого кар'єру визначали з урахуванням можливої зміни в часі обсягів розкривних порід і руди на базових підприємствах-конкурентах. Для цього простежили динаміку із часом поточних коефіцієнтів розкриття по ГЗК і гірничовидобувним підприємствам України (Південний ГЗК (ПівдГЗК), Центральний ГЗК (ЦГЗК), Арселор Міттал Кривий Ріг (АМКР), Полтавський ГЗК (ПГЗК), Інгулецький ГЗК (ІнГЗК), Криворізький залізорудний комбінат (КЗРК)) (рис. 3).

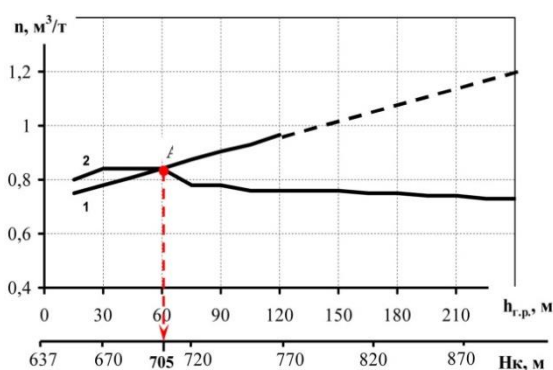


**Рис. 3.** Зміна в часі поточних коефіцієнтів розкриття (граничних для Першотравневого кар'єру) по кар'єрах-конкурентах  $n_t = n_z = f(h_{г.р.})$ : 1 – ПГЗК; 2 – ПівдГЗК; 3 – АМКР; 4 – ЦГЗК; 5 – ІнГЗК; 6 – КЗРК

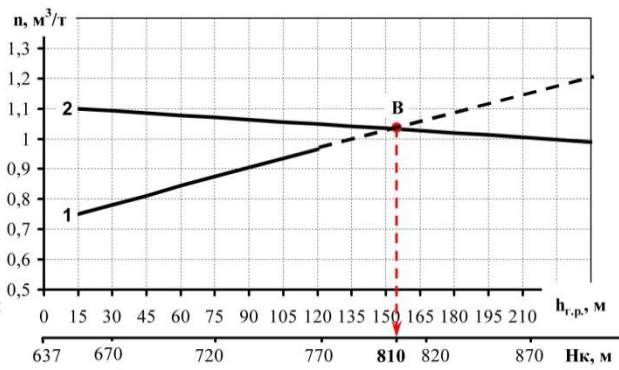
Визначимо перспективні границі Першотравневого кар'єру, які забезпечать економічні показники видобутку руди та виробництва концентрату на рівні не нижче подібних економічних показників у порівнянні з кожним з вище перерахованих ГЗК.

Для цього на графіку зміни найбільших поточних коефіцієнтів розкриття залежно від зміни кінцевої глибини Першотравневого кар'єру ( $n_t = f(H_k)$ ) відобразимо криву обраного граничного коефіцієнта розкриття. Потім визначаємо точку перетину кривої, що відображує зміну найбільших поточних коефіцієнтів розкриття з лініями граничних коефіцієнтів розкриття. Від точок перетину проводимо вертикальні лінії до осі абсцис і визначаємо перспективну глибину кар'єру в порівнянні з кожним з вище перерахованих ГЗК.

Як приклад, розглянемо визначення глибини Першотравневого кар'єру в порівнянні з економічними показниками роботи ПГЗК та ПівдГЗК (рис. 4а, б).



**Рис. 4а.** Графічне визначення глибини Першотравневого кар'єру: 1 – зміна поточних коефіцієнтів розкриття від кінцевої глибини Першотравневого кар'єру ( $n_t = f(H_k)$ ); 2 – зміна поточних коефіцієнтів розкриття від глибини гірничих робіт ( $n_t = f(h_{г.р.})$ ) на ПГЗК



**Рис. 4б.** Графічне визначення глибини Першотравневого кар'єру: 1 – зміна поточних коефіцієнтів розкриття від кінцевої глибини Першотравневого кар'єру ( $n_t = f(H_k)$ ); 2 – зміна поточних коефіцієнтів розкриття від глибини гірничих робіт ( $n_t = f(h_{г.р.})$ ) на ПівдГЗК

Якщо визначати глибину Першотравневого кар'єру в порівнянні з економічними показниками роботи Полтавського ГЗК, то на графіку, який відображено на рис. 4а, відзначаємо точку перетину лінії, що відображує зміну найбільших поточних коефіцієнтів розкриття з лінією, що

відображає зміну граничних коефіцієнтів розкриву (точка *A*). В цій точці перетину значення граничного коефіцієнту розкриву становить  $0,84 \text{ м}^3/\text{т}$ .

Після цього з точки *A* проводимо вертикальну лінію на вісь абсцис і визначаємо перспективну глибину Першотравневого кар'єру. У порівнянні з економічними показниками роботи Полтавського ГЗК ця глибина буде становити 705 м.

Якщо визначати глибину Першотравневого кар'єру в порівнянні з економічними показниками роботи Південного ГЗК, то на графіку, який відображено на рис. 4б, відзначаємо точку перетину лінії, що відображає зміну найбільших поточних коефіцієнтів розкриву з лінією, що відображає зміну граничних коефіцієнтів розкриву (точка *B*). В цій точці перетину значення граничного коефіцієнту розкриву становить  $1,03 \text{ м}^3/\text{т}$ .

Після цього з точки *B* проводимо вертикальну лінію на вісь абсцис і визначаємо перспективну глибину Першотравневого кар'єру. У порівнянні з економічними показниками роботи Південного ГЗК ця глибина буде становити 810 м.

За вище наведеним алгоритмом визначення перспективної глибини Першотравневого кар'єру ПраТ «Північний ГЗК» були визначені його перспективні границі, які забезпечать економічні показники видобутку руди та виробництва концентрату на рівні не нижче подібних економічних показників у порівнянні з ГЗК та гірничовидобувними підприємствами України [3] (ПівдГЗК, ЦГЗК, АМКР, ПГЗК, ІнГЗК та КЗРК). Показники перспективної глибини Першотравневого кар'єру представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Перспективна глибина Першотравневого кар'єру ( $H_k$ ) та її приріст

| Показники                                   | Підприємства-конкуренти |         |      |      |       |      |
|---------------------------------------------|-------------------------|---------|------|------|-------|------|
|                                             | ПГЗК                    | ПівдГЗК | АМКР | ЦГЗК | ІнГЗК | КЗРК |
| Глибина кар'єру ( $H_k$ ), м                | 705                     | 810     | 890  | >890 | >890  | >890 |
| Приріст глибини кар'єру ( $\Delta H_k$ ), м | 35                      | 140     | 220  | >220 | >220  | >220 |

З таблиці видно, що при збільшенні кінцевої глибини Першотравневого кар'єру мінімум до 705 м (приріст глибини щодо діючого проекту складе 35м) економічні показники видобутку та виробництва концентрату будуть не гірше чим на Полтавському ГЗК. Із цього випливає, що в порівнянні з іншими ГЗК України ці показники тим більше будуть не гірше.

У випадку встановлення перспективної глибини кар'єру за економічними показниками базових підприємств-конкурентів перспективна кінцева глибина Першотравневого кар'єру, що забезпечує конкурентоспроможність його товарної продукції, складатиме мінімум 810 м (приріст глибини щодо діючого проекту складає 140м).

Однак при даній глибині кар'єру контури по поверхні вимагають переносу частини Північного автовідвалу та транспортних комунікацій практично по всьому периметру кар'єру.

Максимальна перспективна глибина кар'єру, при якій немає обмежень розвитку контурів по поверхні становить 770 м (приріст глибини щодо діючого проекту складе 100 м). Тобто, при глибині розробки родовища 770 м забезпечується конкурентоспроможність товарної залізничної продукції Першотравневого кар'єру на внутрішньому ринку України. Тому, у якості перспективної кінцевої глибини Першотравневого кар'єру рекомендується глибина 770 м.

**Висновки.** Підраховані погоризонтні обсяги видобутку руди та розкривних порід у перспективному контурі відпрацювання кар'єру. Приріст запасів руди в цьому контурі становить більш 130 млн. т [4]. При цьому додатковий обсяг розкривних робіт складатиме у розмірі 260 млн.  $\text{м}^3$  [4]. Коефіцієнт розкриву в затвердженому проектному контурі кар'єру становить  $0,6 \text{ м}^3/\text{т}$ . При розробці родовища в перспективному контурі коефіцієнт розкриву буде становити  $0,81 \text{ м}^3/\text{т}$ , а строк його експлуатації може бути продовжений до 43 років проти 37 при роботі в затвердженому контурі відпрацювання [4].

#### Список літератури

1. Близнюков В.Г. Совершенствование методов определения границ карьеров / В.Г.Близнюков, И.В.Баранов, С.А. Луценко. - Гірничий вісник. – Кривий Ріг, 2015. - Вип. 99. – С. 8-13.
2. Луценко С.О. Развитие методологии определения границ карьеров / С.О.Луценко, В.Г.Близнюков, И.В.Баранов // Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2018. – №142. – С. 59-67.

3. Луценко С.А. Определение перспективных контуров карьеров разрабатывающих крутопадающие железорудные месторождения / В.Г.Близиюков, С.А.Луценко, И.В.Баранов // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць, вип. 41. – Кривий Ріг, 2016. – С. 147-152.
4. Близиюков В.Г. Определение перспективных контуров карьеров разрабатывающих крутопадающие железорудные месторождения / В.Г.Близиюков, С.А.Луценко, И.В.Баранов. - Гірничий вісник. – Кривий Ріг, 2016. – Вип. 101. – С. 18-24.
5. Арсентьев А.И. Определение производительности и границ карьеров / А.И.Арсентьев. – 2-е издание переработанное и дополненное. – М.: Недра, 1970. – 319 с.
6. Арсентьев А.И. Развитие методов определения границ карьеров / А.И.Арсентьев, А.К.Полищук. - Л.: Наука, 1967.
7. Ржевский В.В. Проектирование контуров карьеров / В.В.Ржевский. – Москва: Металлургиздат, 1956.
8. Хохряков В.С. Проектирование карьеров / В.С.Хохряков – М.:Недра, 1980.
9. Близиюков В.Г. Определение главных параметров карьера с учетом качества руды / В.Г.Близиюков – М.: Недра, 1978. – 151 с.
10. Определение перспективных границ и производительности Первомайского карьера ПАО «СевГОК»: Отчет о НИР (заключит. Том I) // Академия горных наук Украины. № ГР 0115U002577. – Кривий Ріг, 2014. – 93 с.
11. Определение перспективных границ карьера, обеспечивающих конкурентоспособность железорудной продукции Полтавского ГОКа: Отчет о НИР (заключит.) // Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет». № ГР 011U003099. – Кривий Ріг, 2014. – 115 с.
12. Близиюков В.Г. Исключение субъективных факторов при определении конечных контуров железорудных карьеров в составе ГОКов / В.Г.Близиюков, И.В.Баранов, А.В.Савицкий // Вісник Криворізького національного університету: Зб. наук. праць. – 2012. – Вип. 31. – С.3-6.
13. Луценко С. А. Определение границ карьеров, отрабатывающих мощные крутопадающие залежи / С.А.Луценко // Изв. Вузов. Горн. Журнал. – №4. – 2016. – С. 10-18.
14. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий с открытым способом разработки месторождений полезных ископаемых, К.: - Министерство промышленной политики Украины, 2007.
15. Научно-исследовательская работа «Определение рациональной стратегии развития транспортной схемы Первомайского карьера ПАО «СЕВГОК». – «МИ-ЦЕНТР». – Кривий Ріг, 2013.

Рукопис подано до редакції 26.06.2019

УДК 004.896

Д.І. КУЗНЕЦОВ, канд. техн. наук, доцент  
Криворізький національний університет

## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ПОТОЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ SMART GRID МЕРЕЖ

**Мета.** Метою роботи є розробка інформаційної системи для визначення поточного стану та ідентифікації будь-якого енергетичного обладнання головним елементом якого є асинхронний двигун, зокрема визначення несправностей та підвищеного енергоспоживання в енергетичних мережах типу Smart Grid. З метою реалізації поставлених задач запропоновано використання модульної структури Smart Box діагностуючих пристроїв. Зокрема, представлено модель модульної інформаційної кіберфізичної системи із застосуванням Smart Box пристрою для ранньої технічної діагностики електрообладнання та його інформаційні потоки.

**Методи дослідження.** У даній статті автором запропоновано структуру інформаційної системи для ранньої діагностики промислового та приватного електрообладнання на основі використання підходів та стандартів Industry 4.0, зокрема концепції Internet of Things у межах енергетичних мереж типу Smart Grid.

**Наукова новизна.** Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Запропоновані методи є актуальними адже дозволяють у якості обчислювального ядра Smart Box пристрою використовувати структуру нейро-нечіткої мережі, яка складається з 5 шарів. Особливістю даної системи є можливість зміни кількості термів вхідних змінних з метою підвищення якості ідентифікації асинхронних двигунів.

**Практична значимість.** Завдяки виконанню автоматизації на снові запропонованого підходу можливо розподілювати усі технологічні об'єкти підприємства на окремі структурні одиниці, які можуть бути частиною інформаційного кластеру. Це дозволяє зменшити час реакції в кластерній системі до 35 %, у порівнянні зі звичайною. Також, використання даного типу системи дозволяє зменшити кількість спеціалізованого обладнання у межах використання однотипного енергетичного обладнання.

**Результати.** Отримані результати дослідження у вигляді моделі модульної інформаційної системи можливо використовувати при побудові апаратно-програмних модулів для діагностики технологічного та побутового електрообладнання. У свою чергу, дані модулі можуть об'єднуватися у загальну глобальну мережу IoT в межах енергетичної системи типу Smart Grid.

**Ключові слова:** інформаційна система, Industry 4.0, рання діагностика, кіберфізична система, асинхронний двигун, Smart Grid.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** На сьогоднішній день, головними енергетичними робочими одиницями сучасних підприємств є електроприводи. У більшості випадків основними елементами яких є багатофазні асинхронні електродвигуни (АД). Даний вид електродвигунів досить поширений. Про це свідчить те, що вони споживають приблизно 40% електроенергії, яка виробляється у світі [1, 2]. Головною особливістю даного типу обладнання є висока пошкоджуваність, зокрема, середній строк їх роботи двигунів без капітального ремонту складає 10-15 років. Несвоєчасне виявлення аварійних режимів роботи АД призводить до порушення безперервності технологічних процесів з наступним браком продукції, витратами на відновлення і ремонт електродвигунів, підвищеного енергоспоживання тощо. Зокрема, це питання дуже актуальне у гірничозбашачувальній промисловості та металургії, де раптовий вихід із ладу електрообладнання може практично зупинити велику частину виробництва [3, 4].

Сучасні інструментальні засоби та методи технічної діагностики електрообладнання переважно базуються на використанні різних датчиків, які під'єднуються безпосередньо до об'єкту (тобто прямих методів). Зокрема, більшість із них використовуються під час планового ремонту або поточної діагностики [1, 5]. Слід відмітити що, автор у понятті планової діагностики та ремонту мають на увазі часткове або повне зупинення технологічного процесу у якому об'єкт аналізу брав участь. Під ранньою або поточною діагностикою, відповідно, мається на увазі моніторинг поточного стану досліджуваного об'єкту без його безпосереднього вилучення із технологічного процесу. Головною перевагою поточної (ранньої) технічної діагностики перед плановою є відносно малий проміжок часу (до декількох секунд) отримання результатів. Також, рання діагностика дозволяє попередити аварійні режими роботи промислового та побутового обладнання.

До головних особливостей інформаційних систем які використовують підходи та концепції IoT можна віднести процес постійного обміну інформацією між пристроями підприємства без посереднього залучення людини. Це дозволяє накопичувати та аналізувати інформацію у автоматичному режимі, виконувати управління без впливу людини. Інакше кажучи, IoT дає можливість створювати самоорганізовану та самоадаптовану інформаційну систему, не тільки в межах деякого підприємства, а і у межах усього світу. Тобто, з точки зору діагностики та моніторингу поточного стану електрообладнання це дозволяє створити та впровадити інформаційну систему з можливостями до навчання та самодіагностики.

Актуальною задачею для подальшого розвитку інформаційних систем аналізу та моніторингу поточного стану електроустаткування є розробка самодіагностичних технічних систем, які входять до складу глобальної мережі IoT в межах енергетичних мереж типу Smart Grid. Зокрема, розробка методів та підходів для створення безпосередньо елементів мережі «Розумних коробок (речей)» (Smart Box) та «Розумних додатків» (Smart App), розробки мережі доступу до передачі даних (мобільну або фіксовану), а також розробки платформи для управління мережею IoT, зокрема при управлінні Smart Box та Smart App.

**Аналіз досліджень і публікацій.** На сьогоднішній день, для реалізації мережі доступу до елементів IoT використовуються уніфіковані спеціалізовані стандарти [6]. Зокрема, стандарт eMTC (enhanced Machine-Type Communication) розгортається на основі мобільних мереж LTE, а EC-GSM-IoT (Extended Coverage – GSM – Internet of Things) працює поверх мережі GSM. Але найбільш популярним є стандарт NB-IoT (Narrowband IoT). Його особливість полягає в тому, що він може бути розгорнутий, як в мережах GSM або LTE, так і незалежно, окремою мережею, наприклад, Ethernet. Отже, можна зробити висновок, що при проектуванні та розробці SmartBox необхідно враховувати уніфіковані вищезазначені стандарти організації зв'язку для реалізації майбутньої платформи для їхньої взаємодії.

На основі проаналізованої літератури за тематикою дослідження, можна зробити висновок, що на сьогоднішній день велика кількість компаній по виготовленню енергетичного обладнання займається дослідженнями у сфері інновацій для систем IoT. Зокрема, компанія LG створила технологію інтелектуальної самодіагностики Smart Diagnosis та систему управління енергоспоживанням Smart Grid Ready [7]. Дані технології дозволяють останнім версіям побутової техніки даної компанії краще проводити самодіагностику та інформувати про це користувача. За допо-

могою Wi-Fi, NFC і звукових діагностичних сигналів, власник повідомляється про незначні проблеми. Наприклад, виключення льодогенератора або виникнення аварійних режимів роботи електродвигуна пральної машини. Це сприяє ранньому діагностуванню пошкоджень та неправильної роботи електрообладнання. Головним недоліком даної системи є використання власних протоколів та режимів роботи «розумної» техніки, що унеможливує її використання на іншому обладнанні, наприклад пральній машині іншого виробника.

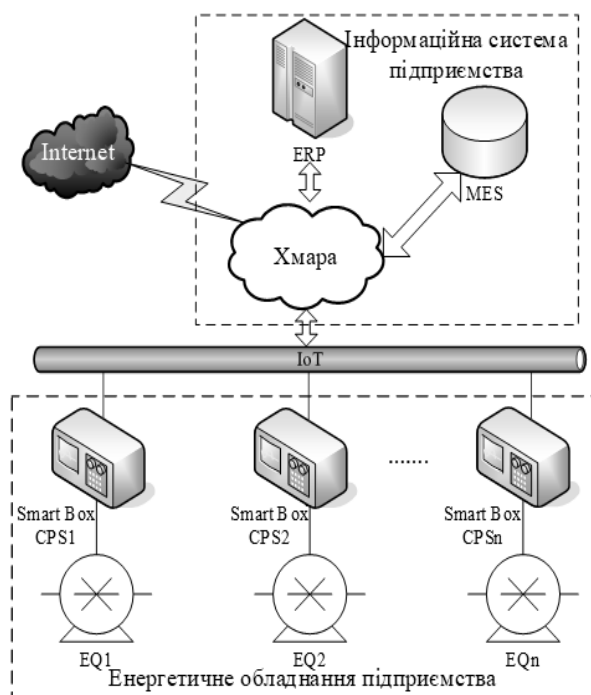
Досить потужною інформаційною системою для IoT у сфері діагностики електрообладнання є програмна платформа Winnum [8]. Дана система є інтегрованим середовищем яке забезпечує збір, зберігання та обробку великих обсягів даних (BigData). Це дозволяє виконувати моніторинг роботи вузлів системи, зокрема моніторити статус та технічний стан електрообладнання. Існує можливість відновлення подій, які передували аварійному виходу із ладу. Головним недоліком даної системи є обмежене коло підтримуваних енергетичних пристроїв, зокрема тільки промислових станків з людинно-програмним управлінням та обмеженим колом працюючих АД.

Слід відмітити те, що існують інформаційні технології, методи та апаратні засоби для цифрової діагностики АД, як складової частини електрообладнання, які використовують спектр-струмовий аналіз електромережі. Даний метод дозволяє досліджувати АД без безпосереднього під'єднання до об'єкту дослідження [1, 9]. При спектр-струмовому аналізі найчастіше використовують пряме перетворення Фур'є для отримання, наприклад, амплітудно-частотної характеристики у реальному часі. До головних недоліків інформаційних технологій, які використовують спектр-струмовий аналіз, можна віднести використання великої кількості датчиків, необхідність наявності експерта, як кінцевого елемента який приймає рішення щодо технічного стану обладнання.

З метою, забезпечення зменшення кількості використовуваних датчиків, пропонується використовувати непрямий спосіб діагностики комплексу АД започаткований у дослідженнях [1, 18] і який базується на основі спектр-струмового аналізу електромережі. Це дозволить у подальшому реалізовувати модульні Smart Box пристрої як елементи загальної IoT мережі. Як результат, це надасть можливість використання меншої кількості діагностуючих датчиків та реалізацію уніфікованої управляючої платформи для різних модулів Smart Box.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка концепції модульної інформаційної системи для ранньої діагностики енергетичного обладнання на основі використання принципів та стандартів Industry 4.0, зокрема IoT в межах енергетичних мереж типу Smart Grid.

**Викладення матеріалу та результати.** Типова логіко-функціональна схема підприємства яке використовує принципи Industry 4.0, зокрема IoT представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Логіко-функціональна схема підприємства із використанням Smart Box діагностуючих пристроїв

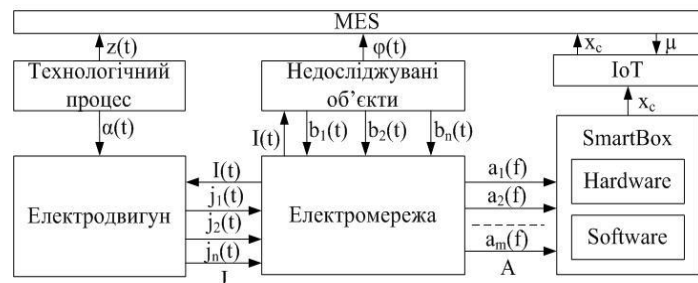
На рис.1 представлено ERP (планування ресурсів підприємства) – це інтегроване управління основними бізнес-процесами яке опосередковане програмним забезпеченням та технологією виробництва. MES (Виробничі системи виконання) – це комп'ютеризовані системи, що використовуються у виробництві, для відстеження та документування перетворення сировини в готові вироби. Smart box – програмно-апаратний пристрій, який використовується для зчитування поточної інформації із досліджуваного об'єкту, зокрема спектральні характеристики обладнання. Це здійснюється за допомогою датчиків струму. EQ1, EQ2, ..., EQn – обладнання з якого зчитується поточна інформація. У даному випадку це електродвигуни.

Слід відмітити, що MES забезпечує

інформацію, яка допомагає виробникам, які приймають рішення, зрозуміти, як можна оптимізувати поточні режими роботи обладнання. У свою чергу це дозволяє підвищити продуктивність виробництва на основі оптимальної роботи з мінімізацією витрат на технічну діагностику та подальший ремонт.

Отже, на основі представленої логіко-функціональної схеми (рис. 1) типова схема інтеграції Smart Box пристрою для визначення технічного стану досліджуваного об'єкту прийме наступний вигляд (рис. 2)

**Рис. 2.** Схема інтеграції Smart Box пристрою для визначення технічного стану досліджуваного об'єкту:  $A=\{a_1, a_2, \dots, a_m\}$  – спектр шуму електромережі;  $I(t)$  – струм;  $J=\{j_1, j_2, \dots, j_n\}$  – вищі гармоніки, створювані електрообладнанням у електромережі;  $x_c$  – рішення щодо поточного стану електродвигуна;  $\alpha(t)$  – характер робочого процесу;  $\beta=\{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n\}$  – вищі гармоніки, створювані іншими недосліджуваними об'єктами;  $z(t)$  – характер завантаженості електродвигуна;  $\varphi(t)$  – характер роботи недосліджуваних об'єктів;  $\mu$  – вектор параметрів налаштування SmartBox пристрою



Слід зазначити, що у більшості випадків Smart Box складається з двох частин: Hardware та Software. До Hardware можна віднести використання мікроконтролерів, різноманітних датчиків та комутуючих пристроїв із середовищем передачі даних. До Software можна віднести програмне забезпечення яке першочергово оброблює первинну інформацію з подальшим її частковим аналізом. Безпосередній та більш ширший аналіз відбувається на рівні мережі IoT та загальної інформаційної платформи підприємства (MES).

Розглянуті схеми (рис. 1, 2) являють собою прототипи існуючих систем підтримки прийняття рішень з однією відмінністю, а саме можливістю віддаленого моніторингу, планування та управління роботою досліджуваних об'єктів підприємств та домогосподарств. Про що свідчать дослідження та існуючі розробки [6, 10, 11]. Додатково слід зауважити, що використання спеціалізованих інформаційних платформ, виділених баз даних, спеціалізованого програмного забезпечення не дозволяють уніфікувати процес створення SmartBox пристроїв. Як результат – вони потребують наявності спеціалізованих спеціалістів для аналізу технічної інформації за допомогою коштовного програмного та технічного забезпечення.

Автором пропонується нова концепція модульної кіберфізичної системи для ранньої діагностики енергетичного обладнання на основі використання підходів IoT та групового спектрального аналізу згідно із дослідженнями [12]. Зокрема, ключовим елементом будь-якої мережі IoT є Smart Box. З точки зору підприємства можуть існувати декілька варіантів Smart Box пристроїв. Вони, Окрім вирішуваних завдань, Smart Box можуть кардинально відрізнитися архітектурою елементів Hardware та Software, що може спричинити додаткові витрати на їх інтеграцію у загальну мережу IoT підприємства. Це може бути пов'язане із використанням додаткового програмного та апаратного забезпечення. Тому, запропоновано виокремлювати кожен SmartBox пристрій у окремий модуль, здатний окрім самоаналізу та самодіагностики виконувати аналіз суміжних із ним Smart Box пристроїв.

Згідно дослідження [1] АД вони у процесі своєї роботи та власних конструктивних особливостей утворюють у електромережі вищі гармоніки. Тому, з метою подальшого аналізу вищих гармонік підсистема збору поточної інформації перетворює аналоговий сигнал у цифровий з подальшим формуванням спектрального шуму електромережі для аналізу [12]. Дана підсистема може бути представлена у вигляді звичайного аналогово-цифрового перетворювача. Завданням підсистеми управління базами даних (СУБД) є збереження та керування всіма необхідними даними для правильної та ефективної роботи модульного SmartBox пристрою. Зокрема до таких даних можна віднести: дані, які відповідають за збереження еталонного зразку роботи досліджуваного АД; дані, які відповідають за поточні значення параметрів роботи досліджуваного АД. Підсистема ухвалення висновку та виведення інформації являє собою експертну систему. Слід зазначити, що остаточне рішення щодо технічного стану повинно виконувати MES. Це пов'язано із особливостями технологічного процесу та ймовірністю виникнення помилки у

результаті обчислень, що у свою чергу може спричинити певну похибку при створенні висновків щодо технічного стану обладнання.

Запропонований підхід дозволяє виконувати моніторинг поточного стану устаткування на основі використання меншої кількості SmartBox пристроїв. Зокрема їхня кількість SmartBox визначається типом та кількістю використовуваного обладнання, особливістю технологічного процесу та віддаленістю один від одного. Отже, загальну логіко-функціональну схему підприємства із використанням Smart Box діагностуючих пристроїв на основі модульного принципу можна представити наступним чином (рис. 4).

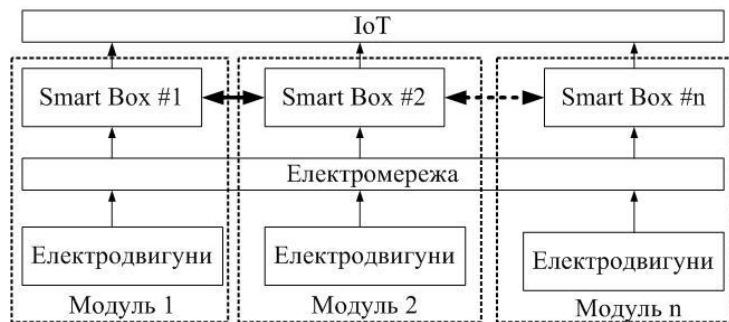


Рис. 4. Модульна мережа Smart Box діагностуючих пристроїв

Слід зазначити, що в межі одного модулю відноситься тільки один Smart Box діагностуючий пристрій та група однотипних електродвигунів які під'єднанні до електромережі. Загалом усі модулі утворюють інформаційний обчислювальний кластер. Особливістю організації об'єктів у кластер є підвищення їхньої продуктивності та надійності.

Також необхідно враховувати те що, Smart Box не може робити вірні висновки тільки на основі експериментальних (поточних) даних. Це пов'язано із неможливістю врахування всіх можливих ситуації системи, які можуть виникати. Наприклад, в результаті похибок вимірювань датчиків (АЦП), відсутності точної математичної моделі закономірності виникнення дефектів, відмови датчиків тощо. Тому при роботі Smart Box можуть виникати невідповідності класифікацій ситуацій. Для вирішення даної проблеми можна використовувати нечітку логіку, нейромережі, дискримінантний аналіз, дерева класифікації тощо.

На основі розглянутих різновидів систем, для побудови експертної системи Smart Box запропоновано використовувати багаторівневу нечітку-нейромережеву гібридну систему, яка буде складатися із підмереж різних архітектур (нейромережевої та нечіткої логіки).

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** З метою аналізу доцільності та раціональності використання запропонованої концепції модульної кіберфізичної системи для ранньої діагностики було проведено експериментальні дослідження шляхом використання імітаційного моделювання методом Монте-Карло.

Для кожного типу модульного Smart Box пристрою досліджувався час реакції системи на досліджуваний об'єкт  $\tau$ . Під часом реакції слід розуміти час, протягом якого Smart Box робить висновок про технічний стан електродвигунів. Із кожним етапом експерименту кількість досліджуваних двигунів змінювалася від 1 до 5. Спектральна характеристика та можливий дефект для кожного двигуна генерувалася випадковим чином.

Результати порівнянь реакції стандартного та модульного Smart Box пристрою представлені на рис. 5.

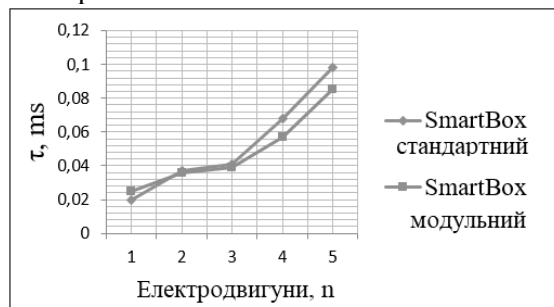


Рис. 5. Результати тестувань стандартного та модульного Smart Box пристрою

Слід зазначити, що рішення задачі технічної діагностики електрообладнання на підприємстві було вирішено за рахунок використання використання концепції кіберфізичних систем. Тобто поєднання Smart Box пристроїв з розумним виробництвом (MES), в якому кожен Smart Box здатен до самодіагностики як окремо, так і у

комплексі. Зокрема, використання модульних Smart Box пристроїв дозволяє зменшити кількість використовуваного обладнання для діагностики. Додатково утворюється можливість створювати кластери з модулів Smart Box, що дозволяє підвищити надійність та продуктивність системи IoT в цілому.

Модульна структура Smart Vox аналізувалась шляхом збільшення діагностованих електродвигунів з 1 до 5, та збільшення кількості вузлів кластеру від 1 до 4. У якості вузла кластеру використовувався модуль Smart Vox пристрою.

Перевагою запропонованої системи є гнучкість у налаштуванні, так як вона дозволяє використовувати у якості підсистеми ухвалення висновку та виведення інформації до нечіткої системи виводу. Структура нечіткої системи дозволяє з легкістю змінювати параметри термномножин, що у свою чергу може підвищити якість розпізнавання дефектів у відповідності до особливостей або умов використання.

До недоліків даної інтелектуальної системи можна віднести неможливість роботи з енергетичними установками, які не містять АД. Також, до недоліків можна віднести ймовірність виникнення помилок пов'язаних із якістю електромережі. Зокрема, перепадів напруги, наявності вищих гармонік від потужнішого в декілька разів енергетичного обладнання.

Запропонована структура модульної кіберфізичної системи для ранньої діагностики енергетичного обладнання, у разі відсутності інтеграції до загальної інформаційної системи підприємства, може являти собою частину IoT приватного домогосподарства. Також вона може бути елементом системи типу «Розумний дім» та працювати автономно.

Перспективою розвитку даного напрямку є вирішення задачі створення концепції альтернативної глобальної мережі IoT для технологічних пристроїв. На думку автора, у свою чергу це надасть змогу значно підвищити якість комунікації пристроїв, збільшення інформативної бази для діагностування.

### Список літератури

1. **Купін А. І.** Інформаційна технологія для групової діагностики асинхронних електродвигунів на основі спектральних характеристик та інтелектуальної класифікації: монографія / **Купін А. І., Кузнєцов Д. І.** // Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2016. - 200с.
2. Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф [Електронний ресурс] / Офіційний сайт державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України.-Київ, 2019.-Режим доступу: <http://saee.gov.ua/sites/default/files/VDE.pdf>.
3. **Morkun, V.** Automation of the ore varieties recognition process in the technological process streams based on the dynamic effects of high-energy ultrasound / **Morkun, V., Tron, V., Goncharov, S.** // Metallurgical and Mining Industry, 2015.-№ 2, p.p. 31-34.
4. **RuEmann, M.** Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries / **RuEmann M., Lorenz M., Gerbert P., Waldner M., Justus J., Engel P., Harnisch M.** //The Boston Consulting Group. 2015. URL: <https://www.zvw.de/media/media.72e472fb-1698-4a15-8858-344351c8902f.original.pdf> (дата звернення: 01.04.2018).
5. **Гаевский А.Ю.** Прогнозирование мощности ФЭС на основе спутниковых данных / **А.Ю. Гаевский, О.В. Мельник** // Матеріали XIV Міжнародної конференції «Відновлювана енергетика XXI століття», Крим. 16-20 вересня 2013. – с. 248-249.
6. **Lutsenko, I.** Synthesis of cybernetic structure of optimal spooler/ **Lutsenko, I., Fomovskaya E.** // Metallurgical and Mining Industry, No 9, p.p. 297-301.
7. Прогнозування роботи сонячної електростанції [Електронний ресурс] / Офіційний сайт компанії Rentechno.-Київ, 2019.- Режим доступу: <https://rentechno.ua/blog/solar-pv-forecast.html>
8. Сучасний стан енергоменеджменту в Україні [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Українського фонду соціальних інвестицій.-Київ, 2015.-Режим доступу: [www.usif.org.ua](http://www.usif.org.ua).
9. **Кузнєцов Д.І.** Експертна система розпізнавання дефектів електрообладнання / **Д.І. Кузнєцов, А.І. Купін**//Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг: зб. матеріалів III всеук. наук.-техн. конф. 2012р.- Донецьк.: ДонНТУ, 2012.-С.185-187.
10. **Кузнєцов, Д. І.** Інформаційна система енергоменеджменту побутової техніки у системах типу «Інтелектуальний Дім»[Текст]/ **Д. І. Кузнєцов, І.О. Музика** //Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2017. – №45. – С. 33–38.
11. **Кузнєцов Д.І.** Структура експертної системи моніторингу поточного стану електрообладнання / **Д.І. Кузнєцов, А.І. Купін** // Стратегія якості в промисловості та освіті: IX міжнар. наук.-практ. конф. 2013р.: тези доповідей. Варна, 2013. – С.333–335.
12. **Денисюк С. П.** Аналіз проблем впровадження віртуальних електростанцій [Текст] / **С. П. Денисюк, Д. С. Горенко** // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2016. – №2. – С. 25–33.
13. **Lasseter, R.** Microgrid: A Conceptual Solution [Електронний ресурс] / **R. Lasseter, P. Piagi** // PESC'04 Aachen, Germany. – 2004. – Режим доступу: URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.374.8193&rep=rep1&type=pdf>.
14. **Кечкин А. Ю.** Вопросы создания виртуальных электростанций в масштабе Micro-Grid [Текст]/ **А. Ю. Кечкин, Е. Н. Соснина, А. В. Шалухо** // Вестник НГИЭИ. – 2015. – С. 50–55.
15. **Wen, C.** Droop Control of Parallel Dual-Mode Inverters Used in Microgrid [Електронний ресурс] / **C. Wen, Z. Liu, Z. Li** // International Conference on Power Electronics and Energy Engineering. –2015.– Режим доступу: URL: [http://www.atlantispress.com/php/download\\_paper.php?id=24810](http://www.atlantispress.com/php/download_paper.php?id=24810).

Рукопис подано до редакції 24.09.2019

І.А. КОТОВ, канд. техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## АВТОМАТНА МОДЕЛЬ РЕАКТИВНОЇ ТРИГЕРНОЇ СППР ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМОМ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ

**Метою статті** є виклад результатів розробки автоматної моделі реактивної тригерної системи підтримки прийняття рішень (СППР) для управління режимом енергосистеми. В системі реалізована властивість реактивності за рахунок використання запропонованих апаратно-програмних тригерів. Модель реактивної тригерної системи підтримки рішень інтерактивно пов'язана як з діями користувача-оператора, так і зі станами компонентів енергосистеми. Теоретична розробка і впровадження програмного комплексу тригерної системи підтримки прийняття рішень в середу диспетчерського управління енергосистеми є актуальною науково-технічною проблемою.

**Методи дослідження** полягають в комплексуванні автоматної моделі станів та тригерної моделі функціонування програмної системи підтримки рішень. При цьому стан автоматної моделі пов'язується з виконанням пакета метаправил для управління логічним висновком. У роботі використані методи теорії множин, математичної логіки, теорії автоматів, електроенергетичних систем (ЕЕС), теорії графів, математичної статистики.

**Наукова новизна** полягає в новій моделі подієвої взаємодії системи підтримки рішень з енергооб'єктами електроенергетичної системи. Для схеми станів реалізована автоматна модель функціонування з конкретизацією семантики станів, транзакцій і тригерів. Розроблена модель візуалізації автоматного формалізму у вигляді керованих тригерами станів програмної системи. Показано, що структурна схема тригерних станів реалізує базовий набір структур алгоритму. Розроблена схема візуалізації виконання транзакцій, як одного стану програмної системи.

**Практична значимість** роботи полягає в удосконаленні автоматизації управління режимами енергосистеми шляхом впровадження в середу діючого оперативного інформаційно-управляючого комплексу (ОІУК) розробленої автоматної моделі реактивної тригерної системи підтримки прийняття рішень. Реалізація та впровадження програмного комплексу дозволить скоротити збитки від аварійних ситуацій в енергосистемі, підвищити якість диспетчерського управління режимами і технологічними процесами електричних мереж.

**Результатами роботи** є подієва модель станів системи підтримки рішень, модель апаратно-програмних тригерів для зв'язку з компонентами енергосистеми, автоматна тригерна модель станів, асоційованих з транзакціями метаправил для запуску та управління логічним висновком в базі знань. Дано визначення стану моделі і транзакції метаправил. Розроблені формальні моделі переходів, транзакцій і функцій виходів станів автоматної моделі. Наведено візуалізація тригерної моделі і принципи її функціонування.

**Ключові слова:** транзакція, енергосистема, автомат, онтологія, евристика, база знань, інкорпорація

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-36-42

**Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Визначальними якостями функціонування СППР є складність і об'ємність об'єкту управління – енергосистеми гірничо-металургійного комплексу, зв'язок із засобами ОІУК автоматизованої системи диспетчерського управління (АСДУ), необхідність роботи як в режимі реального часу, так і інтерактивно – в якості порадника оперативно-диспетчерського персоналу (ОДП), робота з різними формами подання знань, поєднання обчислювальних завдань і логічного висновку та інші.

Перераховані якості формують ряд особливих вимог як до самої інтелектуальної системи, так і до методології її проектування. Приведемо базові з таких вимог: одночасна робота з декларативними і процедурними формами подання знань, однакова робота системи в режимі логічного висновку в базі знань (БЗ) і обробки бази даних (БД), забезпечення практичного апаратного інтерфейсу з компонентами енергооб'єктів і АСДУ, реалізація призначеного для користувача візуального інтерфейсу з ОДП, ефективна трансляція у внутрішні коди системи і інтерпретація управляючих метаправил, реалізація програмного механізму логічного висновку у вигляді транзакцій метаправил.

Сформульовані вимоги обумовлюють необхідність нового ексклюзивного підходу до подання і візуалізації структурних і функціональних моделей програмного комплексу СППР. Засоби візуалізації моделі функціонування СППР повинні забезпечувати алгоритмічну точність і простоту моделі, однозначну інтерпретацію графічних примітивів, відображення станів програми і бази знань, моделювання подій і реактивність інтелектуальної системи, використання мінімального формального символічного алфавіту. При цьому, модель повинна вирішувати наступні головні завдання: забезпечення однакового представлення алгоритмів функціонування СППР і алгоритмів трансляції і обробки бази знань на усіх рівнях, репрезентації дієвого вико-

нання програми залежно від параметрів (сигналів) станів зовнішнього оточення інтелектуальної системи – комплексу АСДУ, ОДП і енергооб'єктів ЕЕС.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Проведемо короткий аналіз існуючих функціональних моделей візуалізації алгоритмів (сценаріїв, поведінки), які найбільш адекватно реалізують поставлені завдання [1, 2]. Кожен з формалізмів має сильні і слабкі сторони, а також переважну область застосування. Більш важливим є аналіз їх обмежень.

Спочатку необхідно відзначити текстуальні форми запису алгоритмів. Ця форма є найбільш природною і найменш формалізованою для людини. Вона може застосовуватися на самому початковому етапі концептуального опису завдання для обговорення в колективі розробників. Однак незначне ускладнення алгоритму або деталіровка завдання призводять до різкого розростання обсягу опису, заплутування викладу, зникнення наочності і появи суперечливості.

Різновидом текстуальної записи алгоритму є псевдокод. Цей підхід корисний, коли необхідно абстрагуватися від конкретного середовища і мови програмування, представляючи, однак, якусь структуру програми. Цей підхід корисний для ілюстрації невеликих і ізольованих фрагментів алгоритмів. В іншому він несе обмеження текстуальної форми запису.

У деяких випадках буває корисним безпосередній запис алгоритму в рамках деякої мови програмування. Цей підхід використовується, коли алгоритм вже відомий і потрібно відпрацювання деяких нюансів, приписок, модифікацій. Крім того, даний підхід можна застосувати, в основному, в колективах розробників, вже знайомих з попередніми варіантами вихідного коду. Інакше, вивчення чужого вихідного коду вимагатиме занадто багато часу.

Кращим і найбільш масовим є формалізм блок-схем, як найбільш поширений образ відображення алгоритмів, який досить підходить для безлічі добре формалізованих задач [1, 2]. Формальна мова схем алгоритмів стандартизована і добре випробувана на практиці. У більшості випадків, спираючись на талант розробника, вдається звести задачу до візуалізації блок-схемою алгоритму. Однак, у міру зростання складності та ієрархічності завдання, схема алгоритму втрачає логіку в кількості зв'язків і переходів. Можна навіть зазначити, що «покрокова блок-схема є прикритим анахронізмом, придатним тільки для новачків в алгоритмічному мисленні» [3]. У багатьох випадках схеми алгоритмів рисуються навіть після того, як програма закінчена [1].

Діаграми Дейкстри визначають деякий альтернативний підхід до візуального моделювання алгоритмів [4, 5]. Дейкстра ввів принципи структуризації блок-схем: принцип обмеження топології, принцип вертикальної орієнтації входів і виходів, принцип єдиної вертикалі, принцип нанизування типових блок-схем на єдину вертикаль [6]. Підхід Дейкстри випередив час, він мінімізував типізацію блоків схеми і способи їх з'єднання, але сьогодні, в основному, також несе недоліки сучасних блок-схем алгоритмів.

З метою «ущільнення» схем алгоритмів і ліквідації їх заплутаності запропонований метод візуалізації Нессі-Шнейдермана [7]. Він забезпечує абсолютне дотримання принципів структурного програмування, покрокову деталізацію завдання при відсутності зв'язуючих стрілок. До недоліків схем Нессі-Шнейдермана слід віднести великий обсяг загальної схеми, яка важко сприймається. При відсутності зв'язуючих стрілок збільшується кількість меж блоків. Зменшення розмірів схеми зменшує внутрішні відділи і знижує їх читабельність.

Розглянуті формальні системи подання алгоритмів застосовуються і розвиваються, проте, вони не забезпечують механізмів відображення взаємодії системи з зовнішнім середовищем. Базовим формальним підходом для подання реактивних систем є комплекс різних варіантів автоматних моделей. Головним достоїнством таких моделей є врахування безлічі станів системи і впливу операцій на логіку переходів в наступні стани. Графічним поданням автоматної моделі є добре відомий граф переходів. Формалізми автоматів виражаються моделями автоматів Мілі і Мура [2, 8]. Аналіз робіт дозволяє відзначити наступні обмеження автоматних моделей при формалізації алгоритмів – відсутність ієрархії станів, узагальнення переходів, засобів відображення відновлення нормальної роботи після переривання, подання семантики взаємодії кінцевих автоматів [2].

В якості деяких рішень зазначених проблем використовуються SWITCH-технологія проектування [9], а також діаграми станів Д. Харела [10, 11].

В основі SWITCH-технології лежить можливість подання програми як ієрархії взаємодіючих автоматів. Модель дозволяє реєструвати зовнішні події. До недоліків моделі можна віднес-

ти «необхідність підтримки великих переліків подій, вхідних і вихідних впливів, представлених в кінцевих програмних модулях у вигляді формальних ідентифікаторів (буква + номер), що зводяться, в кінцевому рахунку, до числових кодів (номерів)», «необхідність ретельного протоколювання глобального списку подій» [9].

Візуальний формалізм діаграми станів Д. Харела є кроком вперед по відношенню до автоматної моделі, відрізняється високою наочністю і додатковими можливостями – ієрархією (реалізація суперстанів), моделюванням тимчасових затримок, наявністю історії станів. Багато розробників сьогодні спирається на дану модель, вона дозволяє реалізовувати внутрішню реактивність системи по відношенню до умов і станів. Однак, відсутня можливість візуалізувати вплив подій зовнішнього середовища на умови запуску станів.

Р-схеми – це технологія візуалізації проектування систем, яка була розроблена і застосована в інституті кібернетики Академії наук України під керівництвом В.М. Глушкова [12, 13]. Про доцільність застосування Р-схем говорить прийняття стандарту [13]. Базова частина Р-схеми в цілому відповідає розширеній мережі переходів, заснованої на моделі автомата Мілі. Недоліком формалізму Р-моделі є концентрація на поданні потоку управління і відсутність відображення потоків даних. Також складно представляються кілька точок входу в модель.

Мова ДРАКОН розроблена як засіб структурно-імперативного проектування топології схем програм з метою їх кращої структуризації і формалізації [14]. Реалізовано дві моделі: алгоритмічного примітиву для порівняно простих завдань і «силуету» – для складно-структурованих алгоритмів. Мова має потужні логічні і виразні властивості, підхід підтверджений практичним застосуванням. Недоліками можна вважати велику кількість графічних примітивів (іконок – 25 штук, макроіконок – 20 штук), дві моделі подання завдань, відсутність явного подання подій і взаємодії із зовнішнім середовищем.

Оригінальним рішенням в області моделювання обчислювальних процесів і проектування програмних комплексів є формалізм L-мереж, запропонований М. Ф. Лекаревим [15, 16]. Позитивними особливостями моделі візуалізації є глибоке теоретичне обґрунтування, лаконічна формальна мова, однакове подання «малих» і «великих» функціональних структур, однозначна інтерпретація схеми, «незалежність обчислювальної платформи, яка визначається L-мережею, від мови програмування», підвищення ефективності праці програміста на 1 – 2 порядків [11].

Узагальнюючи розглянуті вище основні підходи до моделювання та візуалізації процесів проектування складних програмних систем і відзначаючи їх безсумнівну корисність в певних областях і умовах, слід сказати, що вони не цілком відповідають завданням проектування подієвої інтелектуальної системи – СППР, що використовує інкорпоровану базу знань, керовану метаправилами, що активізуються зовнішнім середовищем. Тому сформульовані вище вимоги до засобів візуалізації моделі структурно-інформаційної схеми програмного комплексу СППР обумовлюють актуальність і необхідність розробки нових синтетичних засобів подання структури і функціонування СППР, яка взаємодіє з комплексом АСДУ енергосистеми і оперативним персоналом.

**Постановка завдання.** З огляду на сильні якості і обмеження проаналізованих підходів до проектування програмних систем є актуальною задача розробки синтетичної тригерної моделі візуалізації алгоритму (сценарію) функціонування програмного комплексу СППР, керованої подіями зовнішнього середовища.

Сформулюємо основні вимоги до системи візуалізації проектування, що впливають із змісту і специфіки обраної професійної області. Формалізм візуалізації функціонального поведінки інтелектуальної системи, пов'язаної із зовнішнім середовищем АСДУ, повинен забезпечувати наступне:

- реалізацію як обчислювальних задач, так і задач розпізнавання, трансляції, інтерпретації, поведінки і управління;
- використання мінімальної кількості концептуальних примітивів;
- мінімізацію кількості сполучних інформаційних трактів;
- виконання умови: один блок – одна операція (один пакет);
- наявність подієвих блоків зв'язку із зовнішнім середовищем (тригерів);
- наявність мінімальної кількості функціональних блоків з однаковим поведінкою;
- реалізацію функціональним блоком запиту до бази даних, метаправила до бази знань, однієї

операції або пакета операцій – транзакції;

наявність довільних подієвих точок входу в процес обчислень;

явне позначення станів;

явне завдання семантики станів;

забезпечення вкладеності і ієрархічності обчислювальних блоків.

**Викладення матеріалу та результати.** Реалізація зазначених необхідних властивостей моделі має спиратися на систему її станів. ОІУК АСДУ повертає цифрові дані про поточний стан режиму енергооб'єктів ЕЕС в інформаційні тракти, до яких підключається СППР. Програмні тригери поточного стану ідентифікують режимні параметри на вході і генерують ситуаційні коди на виході. Якщо СППР знаходиться в стані опитування тригерів, то вона отримує ситуаційний код і запускає відповідний йому стан. З даним станом асоційована транзакція (пакет метаправил), виконання якої реалізує операції по відношенню до БЗ (БД). Залежно від результату транзакції СППР переходить в наступний стан.

Розроблена узагальнена діаграма станів СППР, яка заснована на транзакціях метаправил, наведена на рис. 1. Діаграма поєднана зі схемою інформаційної взаємодії СППР з зовнішнім середовищем – апаратно-програмними засобами АСДУ ЕЕС.

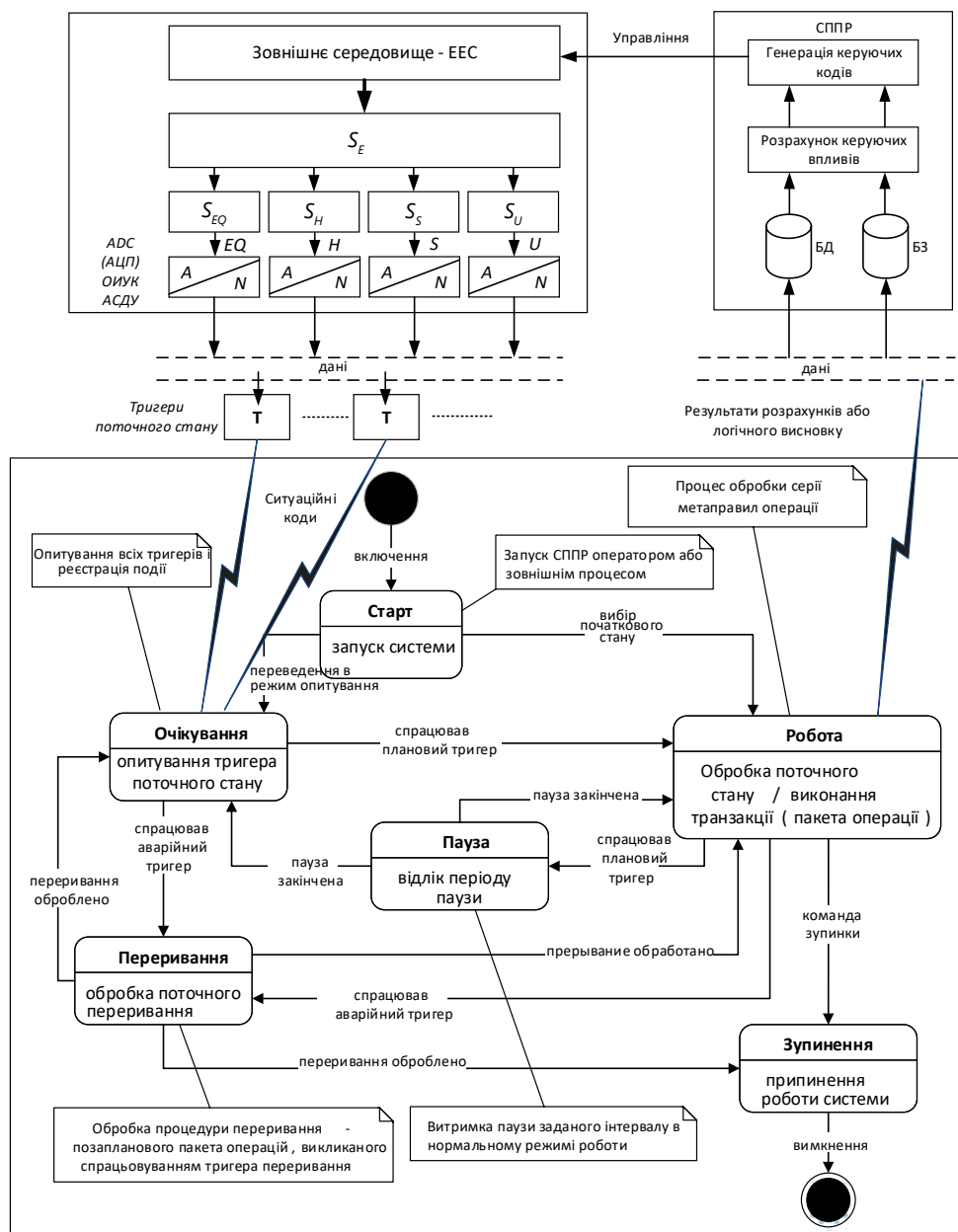


Рис. 1. Діаграма станів тригерної СППР на основі транзакцій метаправил

Взявши за основу подієву модель станів функціонування СППР, наведену на рис. 1, формалізуємо механізм подання візуалізації її роботи, що задовольняє сформульованим вище вимогам. В якості стартового етапу приймемо узагальнену схему циклу управління.

Очевидно, що в даному випадку поведінка СППР може бути описана моделлю кінцевого автомата (КА) з виходами [17, 18]

$$M=(V, W, Q, q_0, F, \delta, \mu),$$

де  $V$  – вхідний алфавіт автомата СППР;  $W$  – вихідний алфавіт автомата СППР;  $Q$  – кінцева множина станів СППР;  $q_0$  – початковий стан автомата СППР;  $F$  – не порожня множина фінальних станів автомата СППР,  $F \subseteq Q$ ;  $\delta$  – функція переходів автомата СППР,  $\delta: Q \times V \rightarrow Q$ ;  $\mu$  – функція виходів автомата СППР,  $\mu: Q \times V \rightarrow W$ .

На рис. 2 наведено приклад діаграми станів автомата з виходами.

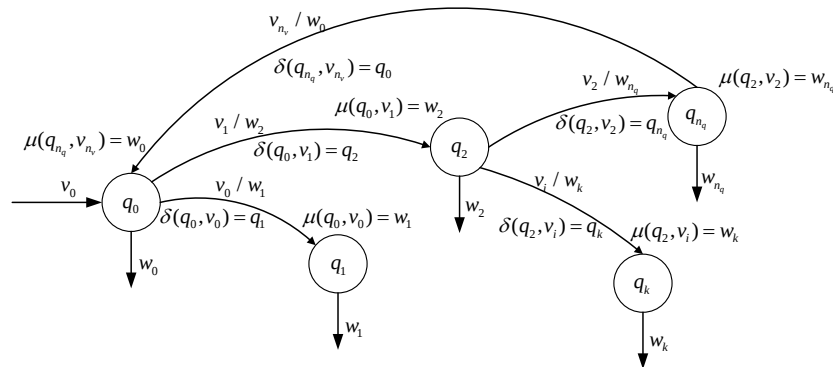


Рис. 2. Приклад діаграми станів автомата з виходами

Для вирішення поставленого завдання – моделювання роботи СППР на основі транзакцій метаправил – модернізуємо взятю за основу математичну модель КА. Конкретизуємо семантику поняття стану, транзакції і тригера в рамках пропонованої моделі.

Запропонована формальна модель операційного автомата програмного комплексу СППР, яка об'єднує стани і реалізований алгоритм обробки БЗ, може бути проілюстрована графом, представленим на рис. 3.

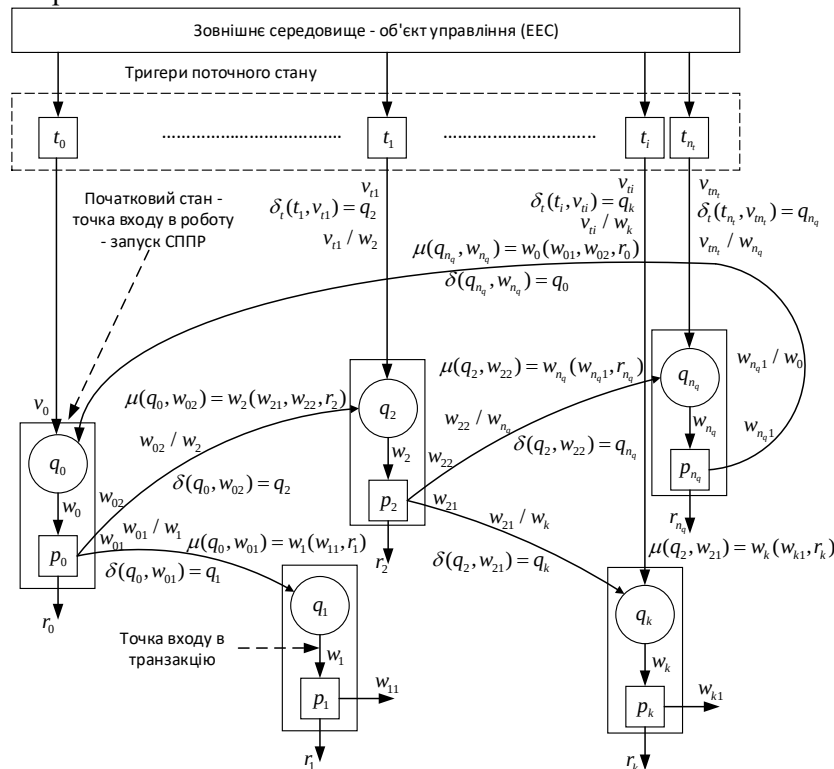


Рис. 3. Граф станів автоматної тригерної операційної моделі програмного комплексу СППР

На рисунку також показано зовнішнє середовище по відношенню до програмної системи. Тригери розглядаються як частина системи, але їх входи пов'язані з зовнішнім середовищем і не залежать від характеру і результатів роботи алгоритму.

Під станом автоматної моделі СППР –  $q$  – будемо розуміти логічно виділений етап її функціонування, пов'язаний з реалізацією однієї конкретної транзакції.

Під транзакцією –  $p$  – будемо розуміти обчислювальний блок, який реалізує послідовний набір команд, виразів, операцій і розглянутий в рамках поточної транзакції як один обчислювальний пакет. Кожна транзакція жорстко пов'язана з конкретним станом –  $q$ . Транзакції можуть містити набори метаправил для управління БЗ і виробництва логічного висновку, пакети запитів для управління БД, оператори математичних обчислень, команди управління поведінкою СППР і т.д. В результаті виконання транзакції формується результат транзакції –  $r$  – і символи (коди) з вихідного алфавіту системи  $W$ .

Під тригером –  $t$  – будемо розуміти зовнішній апаратний або програмний об'єкт, що генерує коди, які розпізнаються СППР як вхідний алфавіт –  $V$  – і переводять її в один, однозначно пов'язаний з даними тригером, стан –  $q$ .

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Розроблена тригерна схема станів і подієвої взаємодії СППР з енергооб'єктами ЕЕС. Для схеми станів реалізована автоматна модель функціонування СППР з конкретизацією семантики станів, транзакцій і тригерів. Узагальнена запропонована модель по відношенню до класичної моделі автомата з виходом. Розроблена модель візуалізації автоматного формалізму у вигляді керованих тригерами станів програмної системи. Кожний стан реалізує одну транзакцію метаправил. Результат виконання транзакції дає можливість розгалуження процесу обробки БЗ.

Напрямок подальших досліджень полягає в формалізації механізму виконання транзакцій і, на цій основі, мінімізації мови моделювання. Передбачається моделювати активізацію станів моделі за допомогою маркування вузлів її графа станів [19]. Передбачається розробка мови програмування тригерних транзакцій метаправил для управління базою знань.

### Список літератури

1. **Пышкин Е.В.** Структуры данных и алгоритмы: реализация на C/C++ / Е.В. Пышкин – СПб.: ФТК СПбГПУ – 2009 – 200 с.
2. **Карпов Ю.Г.** Теория автоматов. Учебник для вузов – СПб.: Питер, 2003.- 208 с.
3. **Brooks, Frederick P., Jr.** The Mythical Man-Month. Essays on Software Engineering. Anniversary Edition. Addison – Wesley, 1995.
4. **Dahl O.-J., Dijkstra E.W., Hoare C.A.R.** Structured Programming. Academic Press. London and New York. 1972.
5. **Dijkstra, Edsger W.** A Discipline of Programming. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, N.J., 1976.
6. **Дал У., Дейкстра Э., Хоор К.** Структурное программирование – М.: Мир – 1975 – С. 25–28
7. **Cornelia M.Y., Marilyn L.S.** Nassi-Shneiderman charts an alternative to flowcharts for design – ACM SIGSOFT/BIGMETRICS Software and Assurance Workshop, November 1978 – pp. 386 – 393
8. **Поликарпова Н.И., Шалыто А.А.** Автоматное программирование – СПб.: Изд-во СПбГУ – 2008 – 167 с.
9. **Шалыто А.А., Туккель Н.И.** SWITCH-технология – автоматный подход к созданию программного обеспечения «реактивных» систем // «Программирование», №5 – 2001– с. 45 – 62
10. **Пышкин Е.В.** Структурное проектирование: основание и развитие методов. С примерами на языке C++: Учеб.пособие. – СПб.: ФТК СПбГПУ – 2005 – 324 с.
11. **Harel D.** On Visual Formalisms // Communications of the ACM – Vol.31, No.5, May 1988 – pp.514 – 530
12. **Вельбицкий И.В.** Безбумажная Р-технология проектирования широкого применения// Выч. техника социальных стран, вып.18 – М.: Финансы и статистика, 1985.- с. 21-39
13. ГОСТ 19.005-85. Р-схемы алгоритмов и программ. Обозначения условные графические и правила выполнения. – Действует с 01.07.1986.
14. **Калиногорский Н.А.** Автоматизация процесса разработки алгоритмов управления в интегрированной среде Дракон 2007-2010 / Сост. Н.А. Калиногорский – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ – 2013 – 50 с.
15. **Lekarev M.F.** Das graphische Verfahren der Software-Entwicklung für logisch komplizierte Anwendungen // Technische Berichte der Fachhochschule Hamburg, №25 (Aug.1993), s.36-38.
16. **Лекарев М.Ф.** Визуальный формализм для разработки программного обеспечения. – СПб.: СПбГТУ, Санкт-Петербург – 1997 – 95 с.
17. **Лекарев М.Ф.** L-сеть в сверхбольшом программном проекте – СПб.: СПбГТУ – 2000 – 96 с.
18. **Белоусов А. И.** Дискретная математика: учебник для вузов / А. И. Белоусов, С. Б. Ткачев; под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко – 5-е изд. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана – 2015 – 743 с.
19. **Лескин А.А., Мальцев П.А., Спиридонов А.М.** Сети Петри в моделировании и управлении – Л.: Наука – 1989 – 133 с.

Рукопис подано до редакції 25.09.2019

Н.Ю. ШВАГЕР, д-р техн. наук, проф., Т.А. КОМІСАРЕНКО, канд. техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## СПОСІБ КОНТРОЛЮ СКЛАДУ АТМОСФЕРИ КАР'ЄРІВ ПІСЛЯ МАСОВИХ ВИБУХІВ

**Мета.** Аналіз існуючих методів визначення наявності шкідливих речовин в атмосфері після масових вибухів в кар'єрах та розробка способу вимірювання газового складу атмосфери за допомогою безпілотного апарата БПЛА.

**Методи дослідження.** У статті використано загальнонаукові методи дослідження. За основу при проведенні дослідження було покладено системний підхід. За допомогою аналізу та порівняння виокремлено особливості різних способів визначення стану атмосфери кар'єра в цілому і його окремих ділянок. Утворені в момент вибуху шкідливі речовини досягають понаднормових концентрацій у повітрі кар'єру, що чинить негативний вплив на здоров'я працівників гірничого підприємства та жителів прилеглих до кар'єра територій. Метод узагальнення дав змогу визначити шляхи удосконалення способів контролю газового складу атмосфери.

**Наукова новизна.** Для вирішення цієї проблеми запропоновано спосіб контролю газового складу атмосфери після вибухів за допомогою БПЛА.

**Практична значимість.** Використання безпілотного апарата (БПЛА) для визначення концентрації шкідливих газів, що утворюються після масових вибухів на кар'єрі забезпечує відсутність необхідності перебування людини у зоні особливої небезпеки після масового вибуху, а також швидкі темпи обробки інформації (загальний час на збір інформації та її обробку не буде перевищувати 1 годину). До недоліків методу можна віднести порівняно високу вартість обладнання.

**Результати.** Надані пропозиції щодо способу контролю газового складу атмосфери після вибухів за допомогою БПЛА. Дослідження нових способів контролю складу атмосфери після масових вибухів при відкритому способі розробки родовищ корисних копалин має важливе значення для забезпечення безпеки праці та зниження екологічного навантаження на прилеглі до кар'єра території. Реалізація пропонованого способу контролю складу атмосфери після вибуху дозволить отримувати достовірні дані про хімічний склад атмосфери на ділянках, які розташовані в зоні вибуху в короткі терміни, а також проводити контрольні виміри в процесі виконання гірничотехнічних робіт без їх переривання і без участі людей.

**Ключові слова:** масовий вибух, моніторинг, шкідливі речовини, концентрація, безпілотний апарат

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-42-46

**Постановка проблеми та її зв'язок з науково-практичними задачами.** Діяльність гірничих підприємств з відкритим способом видобутку корисних копалин впливає перш за все на якість атмосферного повітря. Масові вибухи на кар'єрах супроводжуються утворенням пилогазової хмари з кількістю пилу  $0,030-0,19 \text{ кг/м}^3$ , окису вуглецю -  $60-95 \text{ л/кг}$ , а окисів азоту –  $3,5-7 \text{ л/кг}$ . Утворені в момент вибуху шкідливі речовини досягають понаднормових концентрацій у повітрі кар'єру, що чинить негативний вплив на здоров'я працівників гірничого підприємства та жителів прилеглих до кар'єра територій [1-3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогоднішній день найбільш поширеним способом визначення наявності шкідливих речовин (оксиду вуглецю CO, диоксида вуглецю CO<sub>2</sub>, метану CH<sub>4</sub>, оксиду азоту NO, диоксида азоту NO<sub>2</sub>) та пилу після проведення вибухових робіт на кар'єрах Криворізького залізорудного басейну є вимірювання, що проводяться групою спеціалізованих працівників які перебувають безпосередньо на місці вибуху [4-6]. Виміри складу атмосфери проводяться шляхом перекачування повітря через пробовідбірники в різних місцях фронту проведення гірничих робіт. Після цього проби повітря доставляються у лабораторію, що ухвалює рішення про допуск робітників у зону вибуху.

Головним недоліком даного способу є те, що працівники знаходяться в небезпечній зоні, і наражаються на небезпеку отруєння шкідливими газами і пилом. Крім того, цей спосіб вимагає значних витрат часу на доставку і аналіз проб в лабораторії. Отримані результати вимірювань даним способом недостовірні, оскільки відбори проб ведуться на рівні поверхні розвалу гірських порід, або в безпосередній близькості від неї.

Спосіб не дає можливості визначити зміни складу атмосфери на висоті декількох метрів та її зміну в процесі ведення гірничих робіт, при якому відбуваються викиди газів, що містяться в розвалі гірської породи [7].

Відомим є такий спосіб визначення наявності шкідливих речовин, який включає дискретні вимірювання хімічного складу атмосфери по заданих траєкторіях навколо геометричного центра розвалу підірваної породи - епіцентру в заданих точках. При цьому на місцевості роз-

міщують блоки відбору проб атмосфери, що складаються з набору окремих пристроїв, причому розташовують їх по умовних концентричних еліпсоїдних лініях (траєкторіям) навколо геометричного центра розвалу підірваної породи. Форма еліпсоїдних ліній враховує напрям і швидкість вітру [ 8]. У кожен блок відбору проб атмосфери включають таке число пристроїв для відбору проб, яке рівне числу моментів відбору проб в точці установлення блоку за регламентом контролю атмосфери. Після установки блоків відбору проб від них відводять електролінії на пульт управління, який влаштовують в безпечному місці. Після проведення вибуху і появи в атмосфері газів, періодично проводять дистанційне почергове відкриття камер пристроїв в моменти часу, згідно прийнятому регламенту контролю атмосфери. Після закінчення відбору проб, проводять їх евакуацію з камер і відомими методами виконують аналіз хімічного складу проб атмосфери.

Недоліком даного способу є його низька надійність, оскільки існує значна кількість блоків відбору проб, які заздалегідь розміщують в місці вибуху по еліпсоїдних траєкторіях, та можуть бути пошкоджені шматками підірваної породи і засипані нею. Окрім цього, спосіб є високо трудомістким і вимагає підвищених витрат часу для його реалізації із застосуванням ручної праці спеціалізованих працівників. В процесі евакуації проб з блоків, спеціалізовані працівники наражаються на небезпеку отруєння шкідливими газами та пилом. Цей спосіб не дає можливості достовірно визначати хімічний склад атмосфери після вибуху на різних висотних відмітках в зоні ведення робіт. Так само спосіб не дозволяє оперативно визначати зміну хімічного складу атмосфери, яке відбувається в результаті викидів шкідливих речовин з розвалів породи після початку вантажних робіт. Причому, достовірність отриманих даних буде різко спотворена у разі зміни напрямку вітру, або погодних умов в цілому.

Ще одним способом контролю складу атмосфери по технічній суті і результату, що досягається, є спосіб контролю газового складу атмосфери після вибуху, за допомогою використання безпілотного літального апарату (БПЛА), що здійснює дискретні вимірювання хімічного складу повітря по заданих траєкторіях навколо геометричного центра розвалу підірваної породи в заданих точках. БПЛА оснащують портативним газоаналізатором з детекторами газів і пилу, бортовим комп'ютером, електронним висотоміром і навігатором, а траєкторії руху БПЛА мають форму горизонтальних прямокутників, геометричний центр яких співпадає з геометричним центром розвалу підірваної породи. За допомогою портативного газоаналізатора автоматично зберігають поточні вимірювання із заданими інтервалами часу з передачею отриманих результатів на бортовий комп'ютер і формуванням радіосигналу, який передають на наземний персональний комп'ютер. За допомогою навігатора відстежують і фіксують траєкторії польоту БПЛА на фіксованих висотах від поверхні землі, які задають і контролюють за допомогою електронного висотоміра [9].

Однією з найважливіших характеристик є автономність дії та максимальна дальність БПЛА. Порівняно з іншими способами контролю, як наприклад безпосередній забір проб на місці, або аеророзвідка за допомогою авіації, автономність БПЛА має критично важливе значення.

**Постановка завдання.** Метою даної статті є аналіз існуючих методів визначення наявності шкідливих речовин в атмосфері після масових вибухів в кар'єрах та розробка способу вимірювання газового складу атмосфери за допомогою безпілотного апарату БПЛА.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** При масових вибухах у кар'єрах Криворізького залізничного басейну, площа підірваної гірничої маси залежить від геологічних особливостей родовища, таким чином ширина підірваної ділянки може починатися від 20 м, та довжина від 200 м [10].

Розглянемо кілька варіантів площі масового вибуху, щоб порівняти отримані дані, та визначити необхідну автономність. Крім того, слід враховувати безпечну відстань від фронту проведення робіт до укриття у якому буде знаходитись БПЛА. Цю відстань приймають від 500 м до 1000 м (у найбільш несприятливому випадку).

БПЛА має провести розвідку та аналіз стану повітря після масового вибуху, його схематична траєкторія руху буде такою, як показано на рис. 1.

Так, для параметрів блоку, при довжині  $A = 300$  м та ширині  $B = 30$  м, сумарна довжина траєкторії  $P$  руху БПЛА над блоком становитиме, при щільній сітці вимірів ( $l = 5$  м), м

$$P_{\text{вимір}} = (A/l \cdot L) + (A/l \cdot l);$$

$$P = (300/5 \cdot 30) + (300/5 \cdot 5) = 2100.$$

Також необхідно врахувати відстань від укриття до місця проведення масового вибуху, у нашому випадку  $P_{пол} = 2 \times 1000$  м, тобто 2000 м. Загалом БПЛА повинен пройти відстань у щонайменше 3 км для того, щоб здійснити виміри у підірваному блоці.

Швидкість руху БПЛА буде відрізнятися, при прольоті від укриття до місця вимірювання  $V_{пол}$ , та безпосередньо на місці вимірювання  $V_{вимір}$ . При прольоті від укриття до блоку, БПЛА може розвинути крейсерську швидкість  $V_{пол} = 8 - 10$  м/с, тоді як при вимірюванні, ми обмежені максимальною швидкістю у  $V_{вимір} = 2 - 3$  м/с, щоб виміряти показники.

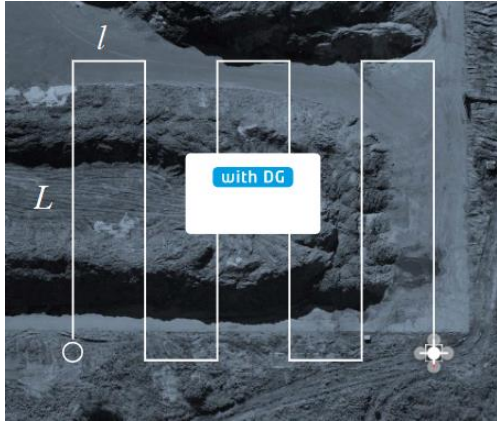


Рис. 1. Схематична траекторія руху БПЛА для проведення замірів якості повітря після масового вибуху

Таким чином, отримуємо:

$$T_{пол} = P_{пол} / V_{пол} = 2100 / 8 = 263 \text{ с, приймаємо } 5 \text{ хв.};$$

$$T_{вимір} = P_{вимір} / V_{вимір} = 1000 / 2 = 500 \text{ с, приймаємо } 9 \text{ хв.}$$

Отже, автономність нашого БПЛА повинна щонайменше становити 14 хв, при ідеальних умовах роботи (відсутність вітру, автономність живлення приладів вимірювання). Тому при виборі БПЛА, необхідно розглядати моделі, які матимуть автономність роботи від 30 хв, та крейсерську швидкість у 8 – 10 м/с для того, щоб забезпечити надійну експлуатацію без ризику втрати обладнання.

Необхідно також розглядати моделі, що мають радіус автономної дії у 2-3 км.

Задачею БПЛА є отримання достовірних даних про хімічний склад атмосфери на ділянках, розташованих в зоні вибуху по всій території фронту відкритих гірничих робіт на різних висотах без участі людей, а також забезпечення експрес-контролю хімічного складу атмосфери і вмісту пилу в процесі розробки і виїмки породи з розвалу при виконанні вантажних робіт [11-13].

Технічний результат від використання моделі полягає в тому, що пропонується спосіб дозволяє різко скоротити час контролю складу атмосфери, отримувати достовірні дані як після вибуху, так і в процесі ведення вантажних робіт, а також виключити участь спеціалізованих працівників під час контролю атмосфери в зоні вибуху і, таким чином повністю виключити небезпеку виробничого травматизму.

Згідно зі способом, що пропонується, вимірювання газового складу атмосфери проводять за



Рис. 2. Принципова схема БПЛА

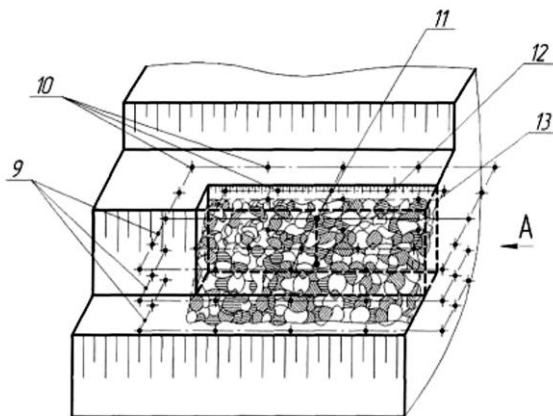


Рис. 3. Траекторії руху БПЛА

допомогою безпілотного апарата БПЛА (рис. 2), з автономними двигунами 1, який оснащують портативним газоаналізатором 2 з детекторами газів і пилу 3, бортовим комп'ютером 4 з носієм даних вимірювань складу атмосфери 5, електронним висотоміром 6 і навігатором 7. Бортовий комп'ютер формує радіосигнал і передає його на наземний персональний комп'ютер 8. Траекторії руху БПЛА (рис. 3) мають форму горизонтальних прямокутників 9, із заданими точками 10 вимірювань хімічного складу атмосфери. При цьому довжина і ширина траекторій 9 охоплюють весь розвал підірваної породи, а геометричний центр 11 траекторій 9 співпадає з геометричним центром 12 розвалу підірваної породи в плані. Параметри концентричних прямокутних траекторій 13 менших розмірів визначають виходячи з прийнятого регламенту контролю атмосфери. Траекторії 9 рухів БПЛА розташовують на різних фіксованих висотах  $H_1, H_2, H_3$  від поверхні землі.

Для забезпечення прив'язки вимірювань концентрації шкідливих речовин до місцевості, БПЛА додатково оснащують фотореєструючою апаратурою, за допомогою якої проводять аерофотознімання в процесі вимірювання газового складу атмосфери з прив'язкою даних виконаних вимірювань до координат заданих точок траєкторії польоту БПЛА.

Розрахунок концентрацій шкідливих речовин на момент проведення вибухових робіт, що проведений авторами [14, 15], дозволяє зробити висновок, що концентрації оксиду вуглецю, оксидів азоту і пилу в атмосфері кар'єру багаторазово перевищують ГДК. Це створює критичну ситуацію по забрудненню атмосферного повітря робочої зони. Інтенсивність їх виділення залежить від властивостей і стану гірської породи, погодних умов, техніки і технології розробки, ефективності застосування способів придушення пилу і шкідливих газів. У зв'язку з цим запиленість і загазованість повітря на робочих місцях може змінюватися в широких межах. Значний вплив на стан атмосфери кар'єра в цілому і його окремих ділянок надає наявність, склад і характер рухомих повітряних потоків, які в багатьох випадках визначають кількість принесених, що виникають і виносяться з кар'єру шкідливих домішок, а іноді є і причиною інтенсивного пилоутворення. Для вирішення цієї проблеми запропоновано спосіб контролю газового складу атмосфери після вибухів за допомогою БПЛА.

**Висновки з проведеного дослідження.** Реалізація запропонованого способу контролю складу атмосфери після вибуху дозволить отримувати достовірні дані про хімічний склад атмосфери на ділянках, які розташовані в зоні вибуху в короткі терміни, а також проводити контрольні виміри в процесі виконання гірничотехнічних робіт без їх переривання і без участі людей.

Спосіб контролю газового складу атмосфери після вибухів, що включає дискретні вимірювання її хімічного складу по заданих траєкторіях навколо геометричного центра розвалу підірваної породи в заданих точках, який відрізняється тим, що вимірювання газового складу атмосфери проводять за допомогою безпілотної апаратури, що літає (БПЛА), який оснащують портативним газоаналізатором з детекторами газів і пилу, бортовим комп'ютером, електронним висотоміром і навігатором, а траєкторії руху БПЛА мають форму горизонтальних прямокутників, геометричний центр яких співпадає з геометричним центром розвалу підірваної породи, при цьому за допомогою портативного газоаналізатора автоматично зберігають поточні вимірювання із заданими інтервалами часу з передачею отриманих результатів на бортовий комп'ютер і формуванням радіосигналу, який передають на наземний персональний комп'ютер, а за допомогою навігатора відстежують і фіксують траєкторії польоту БПЛА на фіксованих висотах від поверхні землі, які задають і контролюють за допомогою електронного висотоміра.

Вимірювання хімічного складу атмосфери на заданих траєкторіях проводять по декількох прямокутних траєкторіях на різних фіксованих висотах. БПЛА додатково оснащують фотореєструючою апаратурою, за допомогою якої проводять аерофотознімання в процесі вимірювання газового складу атмосфери з прив'язкою даних виконаних вимірювань до координат заданих точок траєкторії польоту БПЛА.

Таким чином, використання БПЛА для визначення концентрації шкідливих газів, що утворюються після масових вибухів на кар'єрі забезпечує відсутність необхідності перебування людини у зоні особливої небезпеки після масового вибуху, а також швидкі темпи обробки інформації (загальний час на збір інформації та її обробку не буде перевищувати 1 годину). До недоліків методу можна віднести порівняно високу вартість обладнання.

#### *Список літератури*

1. Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах / [Э.И. Ефремов, П.В. Бересневич, В.Д. Петренко, В.А. Мартиненко] Под ред. чл.-корр. НАН Украины Е.И. Ефремова. – Днепропетровск: Січ, 1996 – 179 с.
2. Тишук В.Ю., Євдокименко М.Ф., Губа М.М., Горобець Ю.І., Кузьменко П.К. Дослідження рівня забруднення атмосферного повітря на межі санітарно-захисної зони від кар'єрів після проведення масових вибухів // Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу. – 36. наук. праць. – Кривий Ріг: ДП «НДІБПГ». – 2007. Вип. 9. – С. 85-98.
3. Бересневич П.В., Деньгуб В.И., Наливайко В.Г. Изменения концентраций пыли, выделившейся при массовом взрыве в карьере, ФТПРПИ, № 2, 1987. - С. 100-103.
4. Ушаков К.З., Михайлов В.А. Аэрология карьеров. - М: Недра, 1985
5. Никитин В.С., Битколов Н.З. Проветривание карьеров. М.: "Недра". 1975. - 256 с.
6. Гуль Ю.В. О методе низкотемпературного нагрева атмосферы при управлении воздухообменом в глубоких карьерах/. Гуль Ю.В. Косарев Г.И., Рогалев В.А. // Сб. Теория и практика работы карьеров Заполярья. Апатиты: КФАН, 1974. с. 217-219.

7. Борьба с пылью в рудных карьерах / [Михайлов В.А., Бересневич П.В., Борисов В.Г. и др.]. – М. : Недра, 1981. – 262 с.
8. Способ контроля газового состава атмосферы после взрывов А.Е. Азаркович, Л.Г. Болховитинов, А.С. Зверев/ АС. СССР 1798649, Кл. G01N 1/22, Заявл. 25.09.90. Оpubл. 28.02.93. Бюл. № 8.
9. Спосіб контролю складу атмосфери після вибухів А.С. Аралкин, Т.А. Комиссаренко / Патент України № 118217, бюл. №14, 25.07.2017
10. **Тыщук В.Ю.** Исследование удельного пылегазовыделения при массовых взрывах в карьерах и способы снижения вредных выбросов./ Тыщук В.Ю.// Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. Випуск 1/2010 (5), с.127–132.
11. Проблеми енергозбереження і механізації в гірничо-металургійному комплексі: Матеріали молодіжної науково-технічної конференції – Кривий Ріг: КНУ, 2019
12. **Берлянд М.Е.** Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.
13. **Левин А.В.** О диффузии пылегазового облака в пограничном слое атмосферы // Тр.УкрНИИГМИ, вып. 150, 1976, с. 8-10.
14. Методика расчета выбросов вредных веществ карьеров с учетом нестационарности их технологических процессов. – Кривой Рог, ВНИИБТГ, 1989. - 57 с.
15. **А.В. Звягинцева, А.Ю. Завьялова.** Анализ основных технологических и инженерно-технические мероприятия, направленные на сокращение пылегазовых выбросов при массовых взрывах на карьерах горно-обогатительного комбината. //Гелиогеофизические исследования - 2015.

Рукопис подано до редакції 05.11.2019

УДК 553.04-047.58:622.03

М.В. ШОЛОХ<sup>\*</sup>, канд. техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГНОЗНОЇ ОЦІНКИ МІНЛИВОСТІ ВМІСТУ ЯКІСНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН У МАСИВІ І РОЗПУШЕНІЙ ЗАЛІЗОРУДНІЙ МАСІ

**Мета.** Метою даної роботи є моделювання динамічних рядів природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. Побудова моделей прогнозування характеристик ознак динамічних рядів базується на методах аналізу тимчасових рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин.

**Методи дослідження.** Розглянуто підходи для моделювання взаємозалежних динамічних рядів мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. Моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин пов'язане з узагальненням методу для ізольованих рядів. Для моделей прогнозування характеристик ознак динамічних рядів вмісту якісно-технологічних показників використано метод найменших квадратів. Побудовано адаптивну і дискретну лінійну модель прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак динамічного ряду вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин множинної регресії та алгебраїчного критерію стійкості.

**Наукова новизна.** Запроєктовано рекомендації технології прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин окремих рівнів залізорудної маси з невеликими інтервалами дискретності. Розглянуто приклади визначення центрованої постійної моделі прогнозування характеристик ознак і розрахунок прогнозних оцінок вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві і розпушеній залізорудній масі. Для ілюстрації методики послідовних операцій ідентифікації моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин відособлених рядів вмісту якісно-технологічних показників залізорудної маси використано дільниці рудного тіла і покладів родовищ Кривбасу.

**Практична значимість.** Рекомендована методика моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин і побудова моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин динамічних рядів, обмежується двома взаємозалежними динамічними рядами вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин.

**Результати.** Розглянуті моделі прогнозування характеристик ознак мають високоадаптивні властивості, високу точність прогнозування і можливість моделювання нестационарних динамічних рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. За рахунок статистичного аналізу інформації прогнозування характеристик ознак окремих рівнів залізорудної маси, які пов'язанні технологічними процесами досягнуто узагальнення методів прогнозування ізольованих рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин на взаємозалежні.

**Ключові слова:** моделювання, об'ємно-якісні показники, динамічні ряди, родовище, залізисті кварцити.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-46-53

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеній залізорудній масі є моделювання прогнозової оцінки мінливості вмісту якісно-технологічних показників і процесів його формування. Виділяється статичний і динамічний методи моделювання. За допомогою статичних моделей вивчається природно-просторове розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеній залізорудній масі. Динамічна модель використовується для опису природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві і розпушеній залізорудній масі.

**Аналіз досліджень і публікацій.** З поставлених завдань і форм подання даних виділяється два підходи і до вирішення проблеми моделювання природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеній залізорудній масі [1–3]. *Перший* (аналітичне моделювання) полягає у знаходженні аналітичного виразу, який описує природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у просторі і часі, а *другий* (матричне або цифрове моделювання) – пов'язаний з відновленням значень природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників у фіксованих точках і об'ємах, які розташовані у вузлах регулярної мережі.

**Постановка завдання.** Для прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеній залізорудній масі проводиться аналітичне моделювання у такий спосіб. Якщо для визначення,  $M_1, M_2, \dots, M_n$  – точок площини  $XOY$ , що лежать у деякій області  $D$ , у якій виміряні значення природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом,  $C_1, C_2, \dots, C_n$ . Залежно від призначення моделювання, характеру вимірюваних значень  $C$  аналітичне моделювання представляє собою завдання інтерполяції або згладжування і у інтерполяційній постановці знайдеться функція  $U(X, Y, Z, t)$ , щоб виконувалась умова

$$\sum_{i=1}^n [U(X_i, Y_i, Z_i) - C_i]^2 = 0, \quad (1)$$

де  $X_i, Y_i, Z_i$  – координати точки  $M_i$ .

**Викладення матеріалу та результати.** Умова (1) представляє собою критерій точного проходження поверхні топографічного порядку  $U(X, Y, Z, t)$  через вузли інтерполяції  $(X_i, Y_i)$ . Підбір  $U(X, Y, Z, t)$  за умови (1) здійснюється числом способів і щоб завдання інтерполяції мало однозначне рішення, вводяться обмеження на клас функцій, які використовуються при моделюванні поверхонь топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом. Обчислення використовується для аналітичного моделювання метода поліноміальної інтерполяції [4–6]. Інтерполяційна поверхня топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом,  $U=U(X, Y, Z, t)$ , що задовольняє критерію (1), має властивості закінченості, однозначності, безперервності, плавності і при цьому використовується функціонал виду

$$I_\beta(U) = \iint_D \left[ \left( \frac{d^2 U}{dx^2} \right)^2 + \beta \left( \frac{d^2 U}{dx dy} \right)^2 + \left( \frac{d^2 U}{dy^2} \right)^2 \right] dx dy. \quad (2)$$

Умова  $I_{\beta=1} = \min$  відповідає мінімізації площі поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом,  $U(X, Y, Z, t)$ , а мінімізація  $I_{\beta=2}$  – мінімальній середній швидкості мінливості кутів нахилу поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, і у одновірному випадку

$$\int_a^b \left| \frac{d^2 U}{dx^2} \right|^2 dx = \min \quad (3)$$

виражає умову мінімуму середньої кривизни лінії поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом,  $U=U(X)$  на відрізьку  $[a, b]$ . Функція поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, яка задовольняє критерію точного проходження через вузли інтерполяції [вираз (1)] і умовам закінченості, однозначності, безперервності і плавності [вирази (2) і (3)], представляє собою «склеєні» поліноми невисокого порядку поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, – сплайн-функції. Розглянемо методи сплайн-інтерполяції, які використовуються для маркшейдерського забезпечення управління природно-просторовим розміщенням мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпущеної залізорудної маси. Аналітичне моделювання поверхонь топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом у тих випадках, коли розміщення ознаки у просторі не носить яскраво вираженого закономірного характеру або його вимірювання у точках  $(X_i, Y_i, Z_i)$  проведені з похибками, розглядається як завдання згладжування. При цьому критерій (1) замінюється умовою

$$\sum_{i=1}^n [U(X_i, Y_i, Z_i) - C_i]^2 = \min. \quad (4)$$

Знаходження функцій поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом,  $U(X, Y, Z, t)$  за умови (4) є метод найменших квадратів і апроксимуюча поверхня топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, представляється у вигляді лінійної комбінації

$$U(X, Y, Z) = \sum \alpha_i \varphi_i(X, Y, Z), \quad (5)$$

де  $\{\varphi_i(X, Y, Z)\}$  – система лінійно незалежних функцій поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом  $\{X^i\}$ ;  $m$  – порядок багаточлена у правій частині виразу (5), причому  $m < n$ ; коефіцієнти  $\alpha_i$  визначаються із системи рівнянь, які отримані з умови мінімуму (4).

На основі методу найменших квадратів виділяється тренд, яким описується поліномом невисокого порядку ( $m=1, 2, 3$ ), з чутливістю методу до нерівномірного розташування точок вимірювання  $M_i$  поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом. Аналогічно із завданням інтерполяції при згладжуванні вмісту якісно-технологічних показників визначається додатковий мінімум  $I_{\beta=1}(U)$  поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом. Оптимальне згладжування здійснюється за допомогою двовимірних сплайнів [7], а згладжування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів виникає у зв'язку з наявністю випадкової складової ознаки у природно-просторовому розміщенні мінливості вмісту якісно-технологічних показників. Чисельні теоретичні і експериментальні дослідження мінливості вмісту якісно-технологічних показників характеристик дільниць рудного тіла і покладу залізорудного родовища балансово-промислових запасів проведені в [8–10], показали, що природно-просторове розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів описується виразом

$$C(X, Y, Z, t) = C_m(X, Y, Z, t) + C_c(X, Y, Z, t) + C_k(X, Y, Z, t), \quad (6)$$

де  $C_m(X, Y, Z, t)$  – тренд закономірної складової;  $C_c(X, Y, Z, t)$  – некорельована випадкова складова, яка характеризується законом розподілу;  $C_k(X, Y, Z, t)$  – корельована випадкова складова, яка представляє собою реалізацію стаціонарної випадкової функції поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, і характеризуємо автокореляційною чи стру-

ктурною функцією вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів.

Локальне згладжування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів на регулярній мережі, що використовується для побудови числових моделей на основі комп'ютерних технологій, базується на статистичній ідеї зваження результатів спостережень у сусідніх точках, тобто значення ознаки поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, у довільній точці поля  $(X, Y, Z, t)$  знаходимо з виразу

$$\tilde{C}(X, Y, Z, t) = \sum_{k=1}^n p_k C_k. \quad (7)$$

Оскільки коефіцієнти згладжування  $p_k$  залежать від застосовуваного методу згладжування, тому підсумується лише значення  $C_k$ , координати яких попадають у вікно згладжування і на основі методів теорії випадкових функцій визначається коефіцієнт  $p_k$ .

Якщо оцінка природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом  $C$  має мінімальну похибку серед всіх лінійних оцінок типу (7), то умова (4) замінюється умовою мінімуму дисперсії оцінки

$$D[C - \tilde{C}] = \min. \quad (8)$$

В залежності від взаємного розташування точок поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом  $(X, Y, Z, t)$  і  $(X_k, Y_k, Z_k, t)$  у виразі (7) виконується завдання оптимальної статистичної інтерполяції або екстраполяції [11; 12]. Результати вирішення завдання використовуються для прогнозування динамічних рядів, а оптимальна статистична оцінка узагальнена у такий спосіб. Знаходження оцінки середнього значення ознаки поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом,  $C(X, Y, Z, t)$  у деякому об'ємі  $V$  за результатами  $n$  вимірювань вмісту якісно-технологічних показників у прилеглих точках  $M_1, M_2, \dots, M_n$  у припущенні, що оцінка величини

$$\bar{C} = \frac{1}{V} \iiint_V C(X, Y, Z, t) dx dy dz dt \quad (9)$$

має лінійний вигляд [вираз (7)], закладається виконання умови (8), замінюючи  $C$  на  $\bar{C}$ . Мінімізація дисперсії приводить до рівнянь крайгінга [13; 14]

$$\sum_{i=1}^{n-1} p_i R_{ij} = A_j, \quad j = 1, 2, \dots, n-1, \quad p_n = 1 - \sum_{j=1}^{n-1} p_j, \quad (10)$$

де  $R_{ij} = K_{ij} + K_{nn} - K_{ni} - K_{nj}$ ;  $A_j = K_{vj} - K_{vn} + K_{nn} - K_{nj}$ ;  $K_{ij} = K(r_{ij})$ ;  $K_{vj} = \frac{1}{V} \iiint_V K(r_j) dV$ ;  $r_{ij}$  – відстань між точ-

ками поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом  $M_i$  і  $M_j$ ;  $r_j$  – відстань між точкою  $M$  з поточними координатами і точкою  $M_j$ . Визначення дисперсії оптимальної оцінки отримується з формули

$$\sigma_n^2 = D[\bar{C} - \tilde{C}] = K_{VV} + K_{nn} - 2K_{Vn} - \sum_{i=1}^{n-1} p_i A_i, \quad (11)$$

де  $K_{VV} = \frac{1}{V^2} \iiint_V \iiint_V K(r') dV dV'$ ;  $r'$  – відстань між двома точками поверхні топографічного поряд-

ку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом з поточними координатами, які належать об'єму  $V$ . Об'ємне завдання зводимо до точкового і групуючи об'єм  $V$  у точку  $M_0$ , будемо мати

$$\bar{C} \rightarrow f(M_0); \quad K_{vj} \rightarrow K_{0j}; \quad K_{VV} \rightarrow K(0). \quad (12)$$

Загальний вираз (10) на підставі умов (12) використовується для прогнозування значень природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеній залізородній масі. Якщо у

виразі (6) переважним компонентом є закономірна складова  $C_T$ , то побудову моделюючої поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, проводимо методом інтерполяції, виходячи з умов (1) і (2), а при наявності компонентів  $C_T$  і  $C_c$  і рівномірному опробуванні методом тренд-аналізу. Внесення у мінливість моделюючого поля вмісту якісно-технологічних показників корельованої випадкової складової  $C_k$  методом прогнозування є оптимальна статистична оцінка, при якій якісні показники вирішення завдання оцінки залежить від дослідження природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників дільниць рудного тіла і покладу залізрудного родовища і вибору апроксимуючої моделі природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом автокореляційної функції. У відповідності з загальним підходом до завдань моделювання і прогнозування вирішується кількісна оцінка просторової і тимчасової мінливості природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників. Вираз (6) і загальне рішення завдання прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин методами теорії випадкових функцій (7)–(11), використовується як характеристика мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів автокореляційну або структурну функції поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом [13; 14]. Якщо моделюєме поле ознаки є випадковим однорідним з кінцевим математичним очікуванням і дисперсією, то між автокореляційною  $K(h)$  і структурною  $S(h)$  функціями справедливе співвідношення

$$2K(h) = S(\infty) - S(h) \quad \text{або} \quad S(h) = 2K(0) - 2K(h), \quad (13)$$

де  $K(h) = M[(C(x) - m)(C(x + h) - m)]$ ;  $S(h) = M[(C(x) - C(x + h))^2]$ .

Вибір функції при оцінці мінливості природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеній залізрудній масі не є принциповим і при зроблених припущеннях визначається обчисленням процедур при знаходженні оцінок і підборі аналітичної апроксимуючої залежності. Оцінка структурної функції краща, тому що для неї визначаються числові параметри за результатами експериментальних даних природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом. Оцінка  $S(h)$ , якщо розвідувальна мережа регулярна і відомі значення характеристики ознаки вмісту якісно-технологічних показників  $C(X_i, Y_i, Z_i, t)$  у вузлах прямокутної мережі поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом з розмірами елементарного осередку  $h_x \times h_y$ . Тоді оцінка  $S(h)$  для чотирьох різних напрямів буде визначена за формулами

$$\begin{aligned} \text{у напрямку } (\bar{h}_x) \quad \tilde{S}(kh_x) &= \frac{1}{N_x} \sum [C(X_i, Y_i, Z_i, t) - C(X_{i+k}, Y_i, Z_i, t)]^2; \\ \text{у напрямку } (\bar{h}_y) \quad \tilde{S}(lh_y) &= \frac{1}{N_y} \sum [C(X_i, Y_i, Z_i, t) - C(X_i, Y_{i+l}, Z_i, t)]^2; \\ \text{у напрямку } (\bar{h}_x + \bar{h}_y) \quad \tilde{S}(mh_d) &= \frac{1}{N_{xy}} \sum [C(X_i, Y_i, Z_i, t) - C(X_{i+m}, Y_{i+m}, Z_i, t)]^2; \\ \text{у напрямку } (\bar{h}_x - \bar{h}_y) \quad \tilde{S}(nh_\alpha) &= \frac{1}{N_{yx}} \sum [C(X_i, Y_i, Z_i, t) - C(Y_{i=m}, Y_{i-m}, Z_i, t)]^2, \end{aligned} \quad (14)$$

де  $h_\alpha = \sqrt{h_x^2 + h_y^2}$  – довжина діагоналі елементарного осередку регулярної розвідувальної мережі;  $N$  – число додатків під знаком суми у напрямку  $h_\alpha$ .

Оцінка структурної функції (варіограми)  $S(h)$  вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів побудовані для різних напрямів поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом несуть інфо-

рмацію про мінливість характеристик поля, які необхідні при вирішенні завдання про оцінку вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин і її похибки у довільній точці поля або у заданому об'ємі. Розбіжності варіограм, які побудовані для різних напрямів поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом виявляється геометрична, зональна і функціональна анізотропії [15]. При наявності всіх трьох типів анізотропії апроксимація варіограм буде складною. Справа у тім, що при аналізі експериментальних варіограм враховується, що функціональна анізотропія вказує на наявність закономірної складової (тренд) у розміщенні вмісту якісно-технологічних показників і вона проявляється у різкому зростанні  $S(h)$  на значних відстанях. Геометрична анізотропія проявляється у подібності варіограм для взаємно перпендикулярних напрямів, причому коефіцієнт подібності дорівнює коефіцієнту анізотропії, а наявність зональної анізотропії пов'язана з різним масштабом мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів для різних напрямів, тобто значення  $S(h)$  відрізняє одна від одної на більших відстанях поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом. Частина, яка залишається, характеризує анізотропну складову мінливості вмісту якісно-технологічних показників. Апроксимація варіограм проводиться за допомогою однієї з моделей, які наведені у [11] і при цьому керуються особливостями тих завдань, для вирішення яких використана структурна функція  $S(h)$  поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом.

Знаходження оптимальної оцінки середнього природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом у блоці апроксимується  $S(h)$  на великому інтервалі мінливості  $h$  і використанні експонентної моделі мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. Завдання інтерполяції, які виникають при кресленні ізоліній за допомогою програм комп'ютерних технологій, полягають у тому, що треба апроксимувати  $S(h)$  у околиці нуля, на відстанях, менших кванту опробування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і для цього підходить ступенева модель [9–11]

$$S(h) = 2\sigma_0^2 h^k \quad (0 \leq k \leq 2). \quad (15)$$

Перевагами ступеневої моделі є те, що показник у рівнянні структурної функції поверхні топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом характеризує ступінь регулярності просторової мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеній залізородній масі. Чим ближче  $k$  до нуля, тим вище частка випадкової складової мінливості. При  $k=2$  випадкова складова відсутня і при цьому у рівнянні структурної функції (15) відсутня константа «ефекту самородків». Для визначення параметрів рівняння (15) представляється оцінка варіограм  $S(h)$  у логарифмічному масштабі по обох вісях і оцінка параметра  $k$  є тангенс кута нахилу графіка  $S(h)$  до горизонтальної вісі. Розрахунок параметрів  $\sigma_0^2$  і  $k$  для експериментальних варіограм і для регулярних мереж опробування вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів, оцінка структурних функцій при нерівномірному опробуванні має свої особливості. Для оцінки варіограми будується гістограма мінливих відстаней  $h$  між всіма можливими парами точок  $(M_i, M_j)$  з використанням середньої відстані  $h_{cp}$  [4–6], квадрати різниць  $[C(M_i) - C(M_j)]^2$  для всіх пар, які попадають у один розряд, поєднуються і усереднюються природно-просторове розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів. Усереднення природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів є правочинним, так як відстані між сусідніми точками розподілені рівномірно на відрізьку  $[0, h_{cp}]$ .

**Висновки та напрям подальших досліджень.** Вибір математичних методів моделювання поверхні ліній топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості

вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом, які обмежують гірничо-геологічні об'єкти, визначається апіорним характером залежності між координатами характерних точок поверхні ліній топографічного порядку, що отриманні у результаті маркшейдерських вимірювань і зйомок, або у результаті виділення однорідних геологічних об'єктів за даними координат точок опробування вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеній залізорудній масі. Найпоширенішою ситуацією є відсутність випадкових компонентів, а у найгіршому – закономірна мінливість однієї з координат поверхні або ліній топографічного порядку залежно від супроводження випадковими похибками вимірювання. Моделювання зводиться до побудови інтерполяційної поверхні або ліній топографічного порядку природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом з обмеженнями на плавність. При постановці завдань достовірні результати отримуються при використанні інтерполяційних сплайн-функцій. Інтерполяція за допомогою сплайнів відповідає меті графічного моделювання, а використання сплайн-функцій при моделюванні границь гірничо-геологічних об'єктів має переваги у порівнянні із традиційними методами інтерполяції.

### Список літератури

1. Сборник руководящих материалов по охране недр (1973). – М., Недра.
2. Инструкция по производству маркшейдерских работ (1987). – ВНИМИ. – М., Недра. – 240 с.
3. **Шолох М.В.** (2018). Нормування балансово-промислових запасів залізистих кварцитів по ступеню підготовленості до видобутку. – С. 742–761. / The Second International scientific congress of scientists of Europe. – Proceedings of the II International Scientific Forum of Scientists «East–West» (May 10–11, 2018). Premier Publishing s. r. o. Vienna. 2018. 822 p. ISBN–13 978-3-903197-91-6; ISBN–10 3-903197-91-2.
4. **Шолох М.В.** (2018). Ефективність методів прогнозування об'ємно-якісно-технологічних показників корисних копалин у надрах. / 36. наукових праць ДВНЗ «КНУ» «Гірничий вісник» Науково-технічний збірник: Кривий Ріг, 2018. – Вип. 103. – С. 119–125. ISSN 2306-5435.
5. **Шолох М.В.** (2018). Маркшейдерське забезпечення прогнозування і управління якісними показниками при розробці залізорудних родовищ. – С. 160–168. / Форум гірників – 2018: матеріали міжнар. конф., 10–13 жовтня 2018 р. – Дніпро: Середняк Т. К. – 2018. – 307 с. ISBN 978-617-7696-55-0.
6. **Шолох М.В., Сергєєва М.П.** (2018). Моделювання характеристик об'ємно-якісно-технологічних показників потоків залізорудної маси кар'єрів і шахт. / 36. наукових праць ДВНЗ «КНУ» «Гірничий вісник» Науково-технічний збірник: Кривий Ріг, 2018. – Вип. 103. – С. 17–22. ISSN 2306-5435.
7. **Шолох Н.В.** (1999). Горно-геометрический мониторинг прогнозирования качественных показателей железорудных месторождений. / Сб. науч. трудов второго международного симпозиума / 12–17 июля 1999. / Оперативный контроль и управлением качества минерального сырья при добыче и переработке. – Ялта. – С. 151–153.
8. **Шолох Н.В.** (2002). Оптимальные алгоритмы и программы для автоматизации построения горно-геометрических графиков. / Разработка рудных месторождений. – Выпуск № 78. – Кривой Рог. – С. 179–182.
9. **Шолох Н.В.** (2005). Прогнозирование показателей геохимического поля месторождений железистых роговиков Кривбасса. / Разработка рудных месторождений. – Выпуск № 89. – Кривой Рог. – С. 144–147.
10. **Шолох М.В.** (2015). Моделювання процесів формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині рудного потоку. / Науково – техн. збірник «Гірничий вісник» ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг. – Вип. 100. – С. 111–116.
11. **Шолох М.В.** (2018). Моделі і критерії оптимізації якісно-технологічних показників видобутку магнетитових роговиків. – С. 65–78. / The 6<sup>th</sup> International conference - Science and society – (August 3, 2018) Accent Graphics Communications & Publishing, Hamilton, Canada. 2018. 250 p. ISBN 978-1-77192-360-6.
12. **Шолох М.В.** (2018). Моделювання прогнозної оцінки мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. 274–287. / The 3rd International youth conference – Perspectives of science and education – (July 6, 2018) SLOVOWORD, New York, USA. 2018. 524 p. ISBN 978-1-77192-403-0.
13. **Sholokh M.V.** (2018). Determination and research of norms of the ferrous quartzites prepared to booty. 25–52. / Development of scientific foundations of resource-saving technologies of mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Sofia: Publishing House «St. Ivan Rilski», 2018. – 264 p. ISBN 978-954-353-355-8.
14. **Sholokh M.V.** (2018). Estimation of content of quality indexes of minerals in array of rogitinums of magnetite and in stream of iron-ore mass. 180–208. / Resources and resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Petroșani. Romania: UNIVERSITAS Rublishing, 2018. – 363 p. 180–208. ISBN 978-973-741-592-9.
15. **Sholokh M.V., Sholokh S.M., Sergieieva M.P.** (2018). An analysis of surveyor control of losses of balance-industrial supplies is at mastering of bowels of the Earth. 415–438. / Innovative development of resource-saving technologies for mining. Multi-authored monograph. – Sofia: Publishing House «St. Ivan Rilski», 2018. – 439 p. ISBN 978-954-353-351-0.

Рукопис подано до редакції 01.11.2019

УДК 625.7

О.В. ПИЩИКОВА, Л.О. ЯНОВА, С.І. САХНО, кандидати техн. наук, доценти  
Криворізький національний університет

## АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ВИКЛАДАННЯ НОРМАТИВНИХ ДИСЦИПЛІН ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ З МЕТОЮ РОЗВИТКУ ПРОФЕСІЙНИХ КОМПЕТЕНЦІЙ МАЙБУТНІХ БАКАЛАВРІВ ТА МАГІСТРІВ УСІХ ГАЛУЗЕЙ ЗНАНЬ ТА СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

**Мета.** В сучасних умовах особливого періоду, який переживає Україна викладання дисциплін «БЖД» та «ЦЗ» майбутнім бакалаврам та магістрам розглядається як один з пріоритетніших факторів забезпечення національної безпеки держави.

**Методи дослідження.** Використано методи статобробки даних, наукового узагальнення та систематизації.

**Наукова новизна.** Полягає в узагальненні ієрархії нормативно-правових актів (НПА) України з метою визначення пріоритетності виконання Постанов Кабінету Міністрів та Стандартів вищої освіти.

**Практична значимість.** Полягає у підвищенні якості надання освітніх послуг вищими навчальними закладами (ВНЗ) майбутнім бакалаврам і магістрам та обов'язкове включення в навчальні плани нормативних дисциплін «БЖД» та «ЦЗ».

**Результати.** У ВНЗ України проблемі підготовки фахівців з питань ЦЗ та БЖД не приділяється достатньої уваги, що може негативно вплинути в майбутньому на стан національної безпеки країни. Політика в сфері БЖД населення порушується необґрунтованими рішеннями ВНЗ, які вважають необов'язковим вивчення дисциплін, що дозволяють приймати професійні рішення в умовах аварійних, нестандартних та надзвичайних ситуаціях, не зважаючи на прямі нормативні посилання уряду щодо організації навчання майбутніх бакалаврів та магістрів саме у ВНЗ. В Стандартах вищої освіти в переліку загальних та компетенцій бакалаврів та магістрів не приділено належної уваги вирішенню соціальних питань. Але дисципліни «ЦЗ» та «БЖД» є обов'язковими до включення в усі бакалаврські та магістерські навчальні програми МОН у зв'язку з Постановою № 444 Кабміну від 26.06.2013 р. «Порядок здійснення навчання населення діям в надзвичайних ситуаціях». Обов'язковість до виконання Постанов Кабміну є апіорним згідно ієрархічної системи НПА України. В разі наявності суперечностей з НПА Міністерств з Постановами Кабміну перші застосуванню (повністю чи у відповідній частині) не підлягають.

**Ключові слова:** безпека життєдіяльності, цивільний захист, професійні компетенції, ієрархія НПА

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-53-58

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** На сьогодні є дуже важливим обґрунтування питання щодо:

підвищення ролі майбутніх бакалаврів та магістрів, які мають певний світогляд та уявлення про виконання своїх професійних функціональних обов'язків,

висвітлення необхідності питань з забезпечення особистої безпеки, безпеки підлеглих та навколишнього природного середовища в умовах повсякденного функціонування економіки, на випадок НС та воєнних дій.

На сьогоднішній день ВНЗ надано повну свободу дій [17] щодо прийняття рішень стосовно розвитку академічних свобод, організації наукових досліджень, освітнього процесу, внутрішнього управління, економічної та іншої діяльності, самостійного добору і розстановки кадрів тощо.

Реалізація таких гарантій, відповідно до Конституції України як «право на захист свого життя і здоров'я від наслідків аварій, катастроф, стихійного лиха, застосування зброї, а також гарантоване забезпечення реалізації цього права» [3], на жаль, передбачена не в повному обсязі в Стандартах Вищої освіти, які розроблено на базі Закону України «Про вищу освіту». Особливо такі непорозуміння стосуються магістерського рівня вищої освіти, що в свою чергу суперечить НПА України, які є обов'язковими для виконання усіма міністерствами та відомствами України, в тому числі й Міністерством освіти і науки України.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Короткий аналіз стану питання, що розглядається показує, що проблема викладання дисциплін циклу безпеки життєдіяльності і цивільного захисту є об'єктом підвищеної уваги та постійного активного обговорення у засобах масової інформації, на конференціях та нарадах і потребує роз'яснення, враховуючи юридичні аспекти обов'язкового включення в навчальні бакалаврські та магістерські плани вищенаведених дисциплін. Нижче буде представлено обґрунтовану законодавчу базу, яка є юридичним доказом

необхідності включення даних дисциплін до навчальних планів та внесення змін до Стандартів вищої освіти.

**Постановка задачі.** В статті буде представлено ієрархію НПА України з питань безпеки життєдіяльності і цивільного захисту та обґрунтовані докази щодо необхідності внесення змін в Стандарти вищої освіти для магістрів у зв'язку з виявленими суперечностями між Постановою Кабінету міністрів № 444 від 26.06.2013 р. із змінами від 26.07.2018 р. № 592 та Стандартами вищої освіти МОН України.

**Викладення матеріалу та результати.** Упродовж 2018 року в Україні зареєстровано 128 надзвичайних ситуацій (НС), які відповідно до Національного класифікатора «Класифікатор надзвичайних ситуацій» ДК 019:2010 розподілилися на: техногенного характеру – 48; природного характеру – 77; соціального характеру – 3 [1].

Внаслідок цих надзвичайних ситуацій загинуло 168 осіб (з них 40 дітей) та постраждало 839 осіб (з них 401 дитина).

На рис. 1 представлено динаміку кількості надзвичайних ситуацій, які сталися на території України протягом 2009- 2018 років.

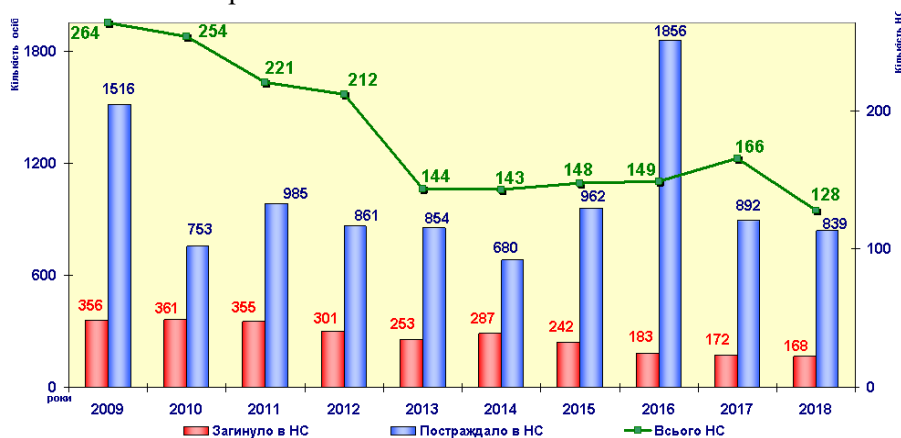


Рис.1. Динаміка кількості надзвичайних ситуацій, які сталися на території України протягом 2009- 2018 рр.

За масштабами надзвичайні ситуації, що виникли у 2018 році, розподілилися на: державного рівня – 2; регіонального рівня – 6; місцевого рівня – 64; об'єктового рівня – 56.

Незважаючи на зменшення у 2018 році загальної кількості НС техногенного характеру, зафіксовано зростання на 12,5% кількості НС пов'язаними із аваріями на транспорті та на 10% - НС, пов'язаних із пожежами та вибухами, проте кількість загинувших та постраждалих в цих НС зменшилася, за винятком НС на транспорті, де кількість постраждалих збільшилася більше ніж у 2 рази.

Серед НС природного характеру зафіксовано зменшення кількості НС та постраждалих в них людей за усіма видами, натомість кількість загинувших збільшилася, через велику їх частку в НС, пов'язаних із отруєнням людей чадним газом та дикорослими грибами.

У регіональному розрізі найбільшу кількість НС (10 НС) зареєстровано у Донецькій області, а також по 9 НС - у Дніпропетровській та Луганській областях. По 8 НС сталося у Закарпатській та Миколаївській областях, 7 НС у Херсонській області та м. Києві. У Волинській, Київській та Тернопільській областях зареєстровано по 6 НС; по 5 НС – у Житомирській, Львівській, Одеській, Сумській, Черкаській та Чернігівській областях. По 4 НС виникло у Запорізькій, Полтавській та Харківській областях; по 3 НС – у Вінницькій, Кіровоградській та Хмельницькій областях, в інших областях зареєстровано по 2 НС.

Найбільшу кількість загинувших в НС зареєстровано у Дніпропетровській (27 осіб) області, переважна більшість з яких загинули унаслідок НС, пов'язаних із аваріями на автомобільному транспорті та пожежами (вибухами).

На сьогоднішній день дуже високим є ризик для населення потрапити в НС. Так, в зонах можливого ураження хімічними й радіоактивними речовинами в Україні в даний час проживає 15 млн. осіб, у зонах підвищеної сейсмічної активності – 11 млн., у зонах можливого катастрофічного затоплення – 7,4 млн., а деякі регіони України мають території, які можуть опинитися під впливом відразу декількох природних явищ і техногенних катастроф [2].

Тому питанням підвищення рівня знань, умінь та навичок майбутніх бакалаврів та магістрів щодо безпечної життєдіяльності в побуті, в професійній сфері, при надзвичайних ситуаціях мирного та воєнного характеру на рівні держави повинно приділятися максимум уваги.

Державою, як Конституційним гарантом населення щодо захисту життя та здоров'я створено законодавчу та нормативну базу з питань забезпечення безпеки життєдіяльності населення.

У найбільш загальному вигляді ієрархічну систему НПА України державної системи безпеки життєдіяльності і цивільного захисту населення представлено рядом законів та підзаконних НПА, а саме:

1. Конституцією України [3].
2. Кодексом цивільного захисту України [4];
3. Законами України: «Про основи національної безпеки України» [5], «Про правовий режим надзвичайного стану» [6], «Про правовий режим воєнного стану» [7], «Про оборону України» [8], «Про мобілізаційну підготовку та мобілізацію» [9], «Про об'єкти підвищеної небезпеки» [10]; «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» [11], «Про перевезення небезпечних вантажів» [12], «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» [13], Гірничий Закон України [14];
4. Указами та розпорядженнями Президента України;
5. Постановами та розпорядженнями Кабінету Міністрів України;
6. Нормативними актами міністерств і відомств (у тому разі і МОН України).
7. Міжнародними договорами України, згоду на обов'язковість яких надано Верховною Радою України та іншими нормативно-правовими актами законодавства.

Слід зауважити, що в наведеній вище ієрархії НПА, Постанови Кабінету Міністрів, підпорядковані Конституції і законам, а також постановам Верховної Ради і указам Президента України, які прийняті відповідно до Конституції і законів, у свою чергу є обов'язковими до виконання, згідно частини першої ст. 117 Конституції України та частини першої ст. 52 Закону «Про Кабінет Міністрів України».

З метою здійснення заходів щодо захисту населення і територій від НС у мирний час та в особливий період в Україні створено Єдину державну систему цивільного захисту [15], (постанова Кабінету Міністрів України від 09.01.2014 №11).

Однією з головних підсистем Єдиної державної системи цивільного захисту в Україні є створення підсистеми навчання студентів (бакалаврів та магістрів) ВНЗ діям у надзвичайних ситуаціях та в особливий період.

В Україні діє «Порядок здійснення навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях», згідно якого навчання населення проводиться під час здобуття освітнього рівня у навчальних закладах системи освіти (Постанова № 444 Кабміну від 26.06.2013 р. із змінами від 26.07.2018 р. № 592) [16].

Так згідно Постанови № 444 [16], навчання населення складається з «навчання безпосередньо на підприємствах, в установах та організаціях; навчання за межами підприємств, установ та організацій керівного складу і фахівців з питань цивільного захисту та пожежної безпеки; практичної підготовки під час проведення спеціальних об'єктових навчань і тренувань з питань цивільного захисту; навчання під час здобуття відповідного освітнього рівня у навчальних закладах системи освіти; самостійного вивчення інформації про дії в умовах надзвичайних ситуацій».

Організація навчання бакалаврів та магістрів здійснюється МОН згідно із «затвердженими ним і погодженими з Державною службою з надзвичайних ситуацій (ДСНС) навчальними програмами з вивчення заходів безпеки, способів захисту від впливу небезпечних факторів, викликаних НС, надання домедичної допомоги» [16].

В свою чергу, підготовка студентів ВНЗ до дій у потенційно можливих надзвичайних ситуаціях здійснюється за нормативними навчальними дисциплінами «Безпека життєдіяльності» та «Цивільний захист», які відповідно передбачають «формування у студентів, що навчаються за освітньо-кваліфікаційним рівнем бакалавра, знань, умінь та навичок щодо забезпечення необхідного рівня безпеки у надзвичайних ситуаціях відповідно до майбутнього профілю роботи, галузевих норм і правил; формування у студентів, що навчаються за освітньо-кваліфікаційним рівнем магістра, умінь з превентивного і аварійного планування та управління заходами цивільного захисту» [16].

Тому хочемо наголосити, що незважаючи на те, що в Стандартах вищої освіти в переліку загальних та спеціальних (предметних) компетенцій бакалаврів та магістрів не приділено належної уваги вирішенню соціальних питань, дисципліни «Цивільний захист» та «Безпека життєдіяльності» обов'язкові до включення в усі бакалаврські та магістерські навчальні програми МОН у зв'язку з Постановою № 444 Кабміну від 26.06.2013 р.

Особливість обов'язкового виконання Постанов та Розпорядженнями Кабінету Міністрів України полягає у тому, що міністерства та відомства (в тому разі й Міністерство освіти та науки України) й інші органи виконавчої влади можуть видавати власні акти, які містять норми права, у випадках і в межах, передбачених законами України, актами Президента України і Кабінету Міністрів України.

Таким чином обов'язковість для виконання Конституції, законів України, указів Президента, постанов Кабінету Міністрів України означає, що акти міністерств, інших центральних органів виконавчої влади, місцевих державних адміністрацій, органів місцевого самоврядування не можуть суперечити будь-якому із названих актів вищої юридичної сили, а в разі наявності такої суперечності акти міністерств, інших центральних органів виконавчої влади, місцевих державних адміністрацій, органів місцевого самоврядування застосуванню (повністю чи у відповідній частині) не підлягають.

Вважаючи на те, що майбутні бакалаври та магістри є потенційними менеджерами та керівниками, вони будуть нести особисту відповідальність за порушення вимог охорони праці та цивільної безпеки.

Згідно Закону України про «Охорону праці» [18] керівники служб і підрозділів зобов'язані: «розробляти інструкції з охорони праці і пожежної безпеки; проводити роботу з виконання завдань і функцій управління, передбачених посадовими інструкціями; виконувати ідентифікацію, оцінку й усунення неприпустимих ризиків; вживати заходи щодо приведення діяльності працівників, устаткування, приміщень і оточуючого середовища працівників у відповідність до вимог існуючих нормативно-правових документів з охорони праці; приймати участь у розслідуванні аварій, нещасних випадків, профзахворювань і отруєнь, що сталися в структурному підрозділі і забезпечувати здійснення заходів щодо їх попередження; вживати заходи щодо зменшення соціальних, економічних і моральних втрат, пов'язаних з травматизмом і профзахворюванням; враховувати дисциплінарну, адміністративну і кримінальну відповідальність за нещасні випадки і профзахворювання; забезпечувати функціонування системи управління охороною праці й ризиком у своїх підрозділах».

Усі ці компетенції можливо якісно реалізувати при умові вивченні дисциплін «БЖД» та «Цивільний захист».

Враховуючи складність політичної ситуації, в якій зараз опинилась Україна, є також важливим і обов'язковим вивчення законодавства про цивільний захист. Так Згідно статті 21 Кодексу цивільного захисту [4] усі громадяни України зобов'язані зокрема «дотримуватися правил поведінки, безпеки та дій у надзвичайних ситуаціях; дотримуватися заходів безпеки у побуті та повсякденній трудовій діяльності, не допускати порушень виробничої і технологічної дисципліни, вимог екологічної безпеки, охорони праці, що можуть призвести до надзвичайної ситуації; вивчати способи захисту від НС та дій у разі їх виникнення, надання домедичної допомоги постраждалим, правила користування засобами захисту; дотримуватися протиепідемічного, протиепізоотичного та протиепіфітотичного режимів, режимів радіаційного захисту; виконувати правила пожежної безпеки та інш.». вищенаведені питання також передбачено для вивчення в рамках дисциплін «БЖД» та «Цивільний захист».

Для працівників та керівників правопорушників зазначених вище вимог та обов'язків передбачено покарання згідно Закону «Про охорону праці», Кодексу законів про працю України (ст. 147), Кримінального кодексу України (ст. 271-275). Крім цього, згідно Кримінального кодексу України передбачено покарання за злочини в галузі охорони праці в першу чергу для посадових осіб – майбутніх магістрів (ст. 135 «Порушення вимог законодавства про охорону праці») і карається позбавленням волі на строк до чотирьох років.

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** В умовах особливого періоду ризику виникнення надзвичайних ситуацій мирного та воєнного характеру на території України через наявність антитерористичної операції (АТО), потенційно-небезпечних об'єктів залишається дуже високими. Тому однією з найважливіших соціально-політичних, економічних та екологі-

чних проблем є забезпечення та підвищення рівня безпеки у разі виникнення НС природного, техногенного та воєнного характеру. Обов'язковим є при цьому отримання студентами ВНЗ знань, умінь та навичок щодо забезпечення необхідного рівня безпеки у НС відповідно до майбутнього профілю роботи, галузевих норм і правил та формування у студентів, умінь з превентивного і аварійного планування та управління заходами цивільного захисту тощо.

Таким чином, для якісної підготовки майбутніх бакалаврів та магістрів, виконання Постанови № 444 Кабміну від 26.06.2013 «Порядок здійснення навчання населення діям в надзвичайних ситуаціях», а також для «приведення єдиної державної системи цивільного захисту в готовність до роботи в умовах особливого періоду» необхідним є обов'язкове включення до навчальних планів, освітньо-професійних програм ВНЗ освіти України бакалаврських та магістерських програм усіх спеціальностей нормативних дисциплін «Безпека життєдіяльності та основи охорони праці» і «Цивільний захист та охорона праці в галузі» в такому обсязі:

| Дисципліна                                        | ОПП      | Загальна кількість годин/кредитів | Із них: |                 |                   |
|---------------------------------------------------|----------|-----------------------------------|---------|-----------------|-------------------|
|                                                   |          |                                   | лекції  | пр./лаб. роботи | самостійна робота |
| «Безпека життєдіяльності та основи охорони праці» | бакалавр | 90/3                              | 18      | 18              | 54                |
| «Цивільний захист та охорона праці в галузі»      | магістр  | 90/3                              | 18      | 18              | 54                |

Необхідно удосконалення щорічних об'єктових тренування з питань цивільного захисту у ВНЗ з метою відпрацювання дій у разі виникнення НС з учасниками навчально-виховного процесу.

У ході тренувань слід відпрацьовувати питання ефективного управління діями у надзвичайних ситуаціях та на випадок терористичних проявів. Враховуючи складну ситуацію у країні було б чудово в кожному ВНЗ відпрацьовувати на практиці різні ситуації з наданням першої допомоги потерпілим за допомогою манекенів, умінням використовувати вогнегасники, проти-гази тощо.

Пріоритетними напрямками в освітній галузі у вищих закладах освіти вважаємо:

реалізацію вимог щодо організації діяльності базових кафедр з питань безпеки життєдіяльності, охорони праці та цивільного захисту за відповідними напрямами і спеціальностями підготовки бакалаврів та магістрів;

створення необхідних умов для здобуття науково-педагогічними кадрами, які викладають нормативні дисципліни «Цивільний захист» та "Безпека життєдіяльності", «Основи охорони праці» додаткової спеціальної підготовки у сфері цивільного захисту;

для закріплення знань та навичок, отриманих на заняттях, відповідно до фахових напрямків підготовки студентів ВНЗ включати до випускних бакалаврських та магістерських робіт розділи з підготовки та забезпечення роботи об'єкту господарювання - з урахуванням ризику виникнення джерел небезпеки, протидії їх вражаючим чинникам, запобігання або зменшення загрози життю і здоров'ю персоналу.

### Список літератури

1. Інтернет-посилання <https://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-za-kvartal/87968.html>
2. Мендерецький В. В. Безпека життєдіяльності та цивільний захист населення як методологічна складова розвитку професійної компетентності майбутніх учителів фізико-технологічного профілю / В. В. Мендерецький, У. І. Недільська // *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка. Сер. : Педагогічна.* - 2013. - Вип. 19. - С. 304-307. (Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znepk\\_ped\\_2013\\_19\\_107](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znepk_ped_2013_19_107)).
3. Конституція України <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254к/96-вр>
4. Кодекс цивільного захисту <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>
5. Закон України «Про основи національної безпеки України» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/964-15>
6. Закон України «Про правовий режим надзвичайного стану» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-14>
7. Закон України «Про правовий режим воєнного стану» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19>
8. Закон України «Про оборону України» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1932-12>
9. Закон України «Про мобілізаційну підготовку та мобілізацію» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3543-12>
10. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2245-14>
11. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12>
12. Закон України «Про перевезення небезпечних вантажів» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1644-14>
13. Закон України «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/877-16>

14. Гірничий Закон України <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1127-14>
15. Єдину державну систему цивільного захисту (постанова Кабінету Міністрів України від 09.01.2014 №11). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-п>
16. Постанова Кабміну № 444 «Порядок здійснення навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях». <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/444-2013-п>
17. Закон України «Про вищу освіту» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>
18. Закон України «Про охорону праці» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>

Рукопис подано до редакції 02.09.2019

УДК 004.823

А.А. ХРУЦКИЙ, канд.техн.наук, доцент  
Криворожский национальный университет

## ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целью** данной работы является обоснование и разработка структуры базы знаний для наиболее эффективного хранения учебной информации образовательной дисциплины.

**Метод.** Проведён анализ лекционного материала технических дисциплин. Отмечены 4 характерных вида лекций, из которых выделены отдельные образовательные элементы, на основе которых сформированы требования к системе хранения знаний.

Проведён анализ различных форм хранения знаний в различных информационных системах и выбрана фреймовая сеть, как наиболее удовлетворяющая выдвинутым ранее требованиям. Предложена и обоснована структура базы знаний на основе фреймовой сети для хранения учебной информации по технической дисциплине. Предложены подходы к формированию и возможные варианты реализации базы знаний на основе фреймовой сети. Приведён вариант реализации структуры фреймовой сети на базе реляционной базы данных.

**Практическая значимость.** Лекционный материал образовательных дисциплин не статичен и всегда пополняется новой информацией. Многочисленные средства контроля разных видов напрямую связаны с лекционным материалом и при его изменении требуется корректировка и этих заданий. В таких условиях разрабатывать и поддерживать курс дисциплины в рабочем и актуальном состоянии довольно тяжело.

В связи с этим актуальной задачей развития образования является построение и использование комплексной образовательной информационной системы, которая сможет поддерживать образовательный курс в актуальном состоянии, обновляя лекционный и контрольный материал при дополнении и изменении образовательного материала.

**Результаты.** На основе анализ лекционного материала синтезирована структура фрейма, содержащая 17 слотов, 12 из которых содержат обучающую информацию, остальные являются техническими. Реализация структуры фреймовой сети на основе реляционной базы данных дает возможность практически в полной мере реализовать все возможности по синтезу лекционного и контрольного учебного материала.

**Выводы.** Впервые обоснована структура базы знаний на основе фреймовой сети для хранения учебной информации образовательной дисциплины для комплексной образовательной информационной системы. Положительный эффект от применения разработанной базы состоит в улучшении логичности и полноты учебного материала, оптимизации его содержания и устранении несущественных сведений.

**Ключевые слова:** представление знаний; база знаний; фреймовая сеть; слот; фрейм; структура лекции; преподавание технических дисциплин.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-58-64

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Одним из приоритетных направлений развития системы образования является применение адаптивных систем обучения с применением интеллектуального программного обеспечения. При подготовке курсов дисциплин с применением таких технологий обучения резко возрастает объем как лекционного материала, так и контрольных мероприятий, поскольку добавляются дополнительные траектории обучения, зависящие от индивидуальных особенностей обучающегося. Кроме того лекционный материал не статичен и всегда пополняется новой информацией, а сами лекции совершенствуются. Многочисленные средства контроля разных видов и уровней усвоения знаний (тесты, вопросы, билеты, задания, модульные, комплексные деканские и ректорские контрольные работы) напрямую связаны с лекционным материалом и при его изменении требуется корректировка и этих заданий.

**Анализ исследований и публикаций.** На сегодняшний день многие исследователи работают над созданием и совершенствованием систем адаптивного электронного обучения. Их исследования направлены на создание интеллектуальных обучающих систем для автоматизации процесса контроля и адаптации управления учебно-познавательной деятельностью обучающегося [1-7].

Однако в рассмотренных работах недостаточно внимания уделяется обоснованию структуры баз знаний, содержащих учебные материалы технических дисциплин. Следует отметить, что одной из наименее проработанных областей в плане использования компьютерных интеллектуальных технологий в учебном процессе является создание такого программного продукта, который бы не только позволил повысить эффективность обучения студентов, но и помог бы преподавателям в их профессиональной деятельности.

В этой связи актуальной идеей развития образования является построение и использование комплексной образовательной информационной системы, которая в большей степени расширила бы возможности индивидуального подхода к студентам, а также оказала бы помощь преподавателям в организации учебного процесса [8].

**Постановка проблемы.** Разрабатывать и поддерживать курс дисциплины в рабочем и актуальном состоянии с применением систем электронного обучения с множественными адаптивными педагогическими сценариями довольно тяжело. Причем это относится и к традиционной форме обучения.

Обоснование и разработка структуры базы знаний интеллектуальной системы обучения для эффективного хранения учебной информации образовательной технической дисциплины.

**Изложение материала и результаты.** Система синтеза обучающих материалов должна уметь сама формировать конспект лекций и материал для контроля знаний, при этом роль ведущего преподавателя сводится к поддержанию в актуальном состоянии базы знаний, внося новые и корректируя известные факты. Причем такая система может быть с успехом применена как при электронном, так и при традиционном обучении.

Основой такой системы является база знаний дисциплины, в которой в определенной форме содержится учебная информация.

Для синтеза структуры такой базы рассмотрим структуру лекционных материалов технических дисциплин и определим основные образовательные элементы.

Структура лекционного материала при изучении технического устройства, узла, машины:  
определение, область применения и назначение;  
техническая характеристика;  
достоинства и недостатки;  
схемы и иллюстрации, поясняющие работу;  
описание конструкции и принципа действия;  
особенности эксплуатации;  
формулы для проведения расчёта основных технических и эксплуатационных параметров.

Структура лекционного материала при изучении инженерного метода, технологии:  
определение, область применения и назначение;  
техническая характеристика;  
достоинства и недостатки;  
схемы и иллюстрации, поясняющие метод, технологию;  
последовательность действий, технологическая карта, алгоритм.

Структура лекционного материала при изучении инженерной методики расчёта:  
определение, область применения и назначение;  
исходные данные с уровнями варьирования всех необходимых переменных;  
схемы и иллюстрации, поясняющие расчёт;  
набор формул для проведения расчёта;

Структура лекционного материала при изучении прикладного инженерного программного обеспечения и его функций:

определение, область применения и назначение;  
схемы и иллюстрации, поясняющие работу;  
описание работы каждого инструмента программы;  
последовательность действий, алгоритм.

Выделим и обобщим необходимые образовательные элементы, а также укажем их особенности:

определение, область применения и назначение - текстовое описание произвольной длины; техническая характеристика - таблица с двумя столбцами, содержащая произвольное количество строк;

достоинства и недостатки - список, содержащий произвольное количество записей;

схемы и иллюстрации, поясняющие работу - произвольное количество иллюстраций, содержащих позиции и их пояснение;

описание конструкции и принципа действия - текстовое описание произвольной длины;

последовательность действий, технологическая карта, алгоритм - список, содержащий произвольное количество записей;

особенности эксплуатации, пример использования - текстовое описание произвольной длины;

формулы для проведения расчёта - произвольное количество формул, расположенных в определенной последовательности и дополнительно содержащие описание переменных.

Выделив основные образовательные элементы, определим наиболее эффективную форму представления знаний для интеллектуальной системы.

Существуют различные формы представления знаний в интеллектуальных системах, а именно нейронные сети, семантические и фреймовые сети, языки и нотации [5-7, 9-20] и т.д. Проанализировав достоинства и недостатки указанных выше форм представления знаний, установлено, что наиболее эффективной формой хранения информации для реализации базы знаний учебной дисциплины являются фреймовые сети.

Фреймовая модель представления знаний является достаточно универсальной, поскольку позволяет отобразить все многообразие знаний о мире. Основным преимуществом фреймовых сетей, как модели представления знаний, является то, что они отражают концептуальную основу организации памяти человека, а также гибки и наглядны [11, 13]. Во фреймовых сетях знания хранятся явно, в отличие от нейронных сетей. Значения слотов представляются в системе в единственном экземпляре, поскольку включаются только в один фрейм. Такое свойство фреймовой сети обеспечивает экономное размещение базы знаний в памяти компьютера. Еще одним достоинством фреймов является то, что значение любого слота может быть вычислено с помощью соответствующих процедур или найдено эвристическими методами. То есть фреймы позволяют манипулировать как декларативными, так и процедурными знаниями.

К недостаткам фреймовых систем относят их относительно высокую сложность, что проявляется в снижении скорости работы механизма вывода и увеличения трудоемкости внесения изменений в родовую иерархию. Поэтому при разработке фреймовых систем повышенное внимание уделяют наглядным способам отображения и эффективным средствам редактирования фреймовых структур [11, 13].

На основе выделенных образовательных элементов, синтезируем структуру фрейма.

Каждый фрейм в базе знаний называется *Факт*, который имеет следующие слоты.

*Индекс* - содержит уникальный номер факта (хеш) в Базе знаний, который используется для создания связей между фактами. Индекс формируется автоматически. Причем исключается возможность существования двух одинаковых индексов в базе знаний.

*Имя факта* - содержит краткое название термина.

*Определение* - содержит краткое описание термина, его расшифровка с пояснением сути значения.

*Уровень факта* - определяет уровень факта в дисциплине. Главный факт (например, название дисциплины) имеет уровень 1. Подчиненные непосредственно ему факты (главные темы или разделы дисциплины) имеют уровень 2. В свою очередь, подчиненные им факты имеют уровень 3 и так далее. Уровни фактов, начинающиеся с 0, обозначают, что факт не относится к текущей дисциплине, а является частью смежной дисциплины. Уровни фактов с отрицательными значениями относятся к дисциплинам общеобразовательных (школьных) программ.

*Объем факта* - является оценкой количества учебной информации содержащейся в факте и является суммой количества знаков во всех нетехнических слотах факта, которые предъявляются обучаемому для запоминания. Исходя из объема каждого факта, в дальнейшем формируются лекции.

*Связи* - содержит описание связей факта с другими, зависимыми от него, фактами.

*Компетенция* - содержит описание компетенции, т.е. того, что обучающийся будет знать в результате изучения факта.

*Навык* - содержит описание навыка, т.е. того, что обучающийся будет уметь в результате изучения факта.

*Назначение* - содержит описание области применения и назначения данного факта.

*Достоинства* - содержит перечень достоинств данного факта.

*Недостатки* - содержит перечень недостатков данного факта.

*Параметры* - содержит параметры или техническую характеристику данного факта.

*Схемы* - содержит набор иллюстраций, рисунков или схем, поясняющих факт. Подразумевается, что на схеме имеются позиции с описанием. Причём каждая позиция может иметь связь с другим фактом, т.е. быть отдельным фактом.

*Описание* - содержит описание работы устройства, метода и т.д..

*Алгоритм* - содержит описание технологической последовательности действий или алгоритма работы.

*Формулы* - содержит расчётную формулу, поясняющую факт. В базу знаний она записывается в виде изображения и в виде математического выражения с применением специальных языков математической разметки. В этом случае затем можно вести вычисления по этой формуле при формировании контрольных заданий и примеров использования. Подразумевается, что в формуле имеются переменные с описанием. Причём каждая переменная может иметь связь с другим фактом, т.е., быть отдельным фактом.

*Пример* - содержит описание примера использования, особенности эксплуатации машины, узла или метода.

Таким образом, *Факт* имеет 17 слотов. Слоты *Индекс*, *Уровень факта*, *Компетенция*, *Навык*, *Объём факта* являются техническими и не содержат учебной информации. Они предназначены для обеспечения работы базы знаний. Слоты *Достоинства*, *Недостатки*, *Параметры*, *Алгоритм*, *Связи*, *Схемы* и *Формулы* в контексте одного *Факта* может быть несколько записей, иллюстраций или формул. Так, отдельный *Факт* может иметь несколько достоинств, недостатков, поясняющих схем и расчётных формул. Важным вопросом является сохранение определенной последовательности формул для составления методики расчета.

Укажем возможные варианты реализации базы знаний на основе фреймовой сети:

на основе реляционной базы данных;

на основе динамической базы данных;

на основе объектной базы данных;

на основе XML-документов.

Каждый из указанных подходов имеет ряд достоинств и недостатков.

В качестве пробной реализации была разработана база знаний на основе реляционной базы данных со структурой, представленной на рис. 1.

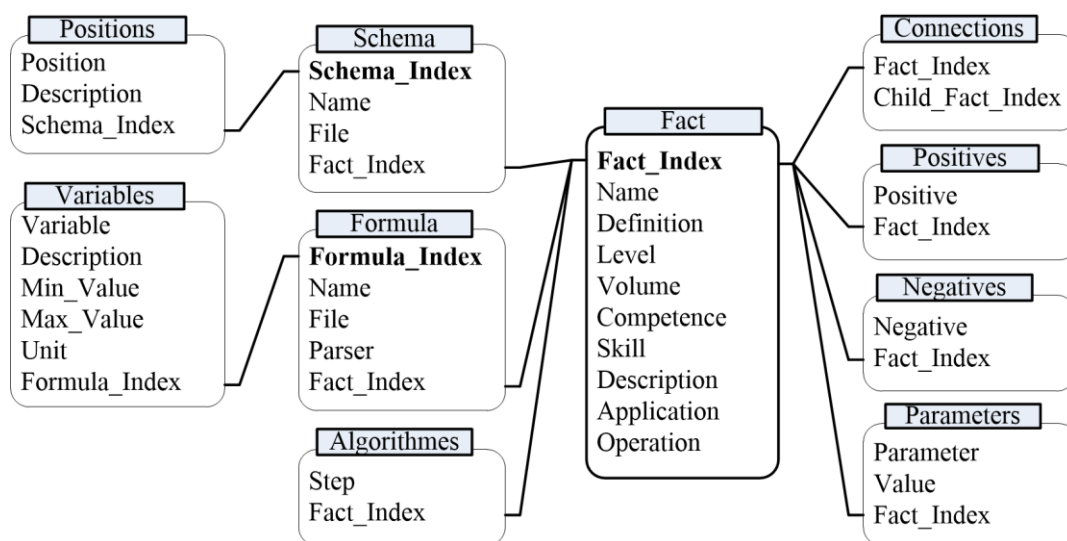


Рис. 1. Пример реализации базы знаний на основе реляционной базы данных

База состоит из 10 связанных таблиц. Основной является таблица *Fact*, в которой содержатся значения следующих слотов факта *Индекс (Fact\_Index)*, *Имя факта (Name)*, *Определение (Definition)*, *Уровень факта (Level)*, *Компетенция (Competence)*, *Навык (Skill)*, *Описание (Description)*, *Назначение (Application)*, *Пример (Operation)*, *Объем факта (Volume)*, которые во фрейме представлены в единственном числе. Остальные слоты *Схемы (Schemes)*, *Формулы (Formulas)*, *Связи (Connections)*, *Достоинства (Positives)*, *Недостатки (Negatives)*, *Параметры (Parameters)*, *Алгоритм (Algorithm)* представлены таблицами, связанными с основной.

Такая организация даёт возможность каждому *Факту* иметь неограниченное количество достоинств, недостатков, пунктов технической характеристики, шагов алгоритма, связей с другими фактами, схем и формул. Для уменьшения объёма базы данных в слотах *Схемы* и *Формулы* хранятся ссылки на иллюстрации и изображения формул. Дополнительно введены таблицы позиций в схемах и переменных в формулах. Таким образом, каждая иллюстрация и формула могут содержать неограниченное количество позиций и переменных.

Расчетные формулы в такой базе имеют такую запись, которая в дальнейшем даёт возможность проведения расчётов. В описании переменной (таблица *Formula*) содержится поле *Parser* в котором формула записана в специальной разметочной форме, а в описаниях переменных (таблица *Variables*) содержатся не только их названия и описания, но и минимальные и максимальные возможные значения, а также единицы измерения.

Экспериментальная реализация рассмотренной ранее структуры фреймовой сети на основе реляционной базы данных дала возможность подтвердить эффективность предложенного подхода к хранению информации образовательной дисциплины.

Следует отметить относительную лёгкость реализации фреймовой базы знаний вследствие стандартизированного и унифицированного подхода к разработке реляционных баз данных и обилия специализированного программного обеспечения.

Для работы с базой знаний был использован уже разработанный конспект лекций по дисциплине «Буровой инструмент». В базу знаний удалось занести в неизменном виде и затем воспроизвести в виде идентичного конспекта лекции около 90% материала. При этом около 8% оставшегося материала удалось привести к структуре фреймов базы знаний и записать в нее. Таким образом, практически 98% лекционного материала уже разработанной дисциплины удалось внести в базу данных. Оставшиеся 2% материала по тем или иным причинам не вошедшие в базу не несут существенной педагогической нагрузки. В результате была создана база знаний, содержащая 173 факта.

Размер среднего факта, со всеми заполненными слотами, содержащего по четыре достоинства и недостатка, восемь строк параметров, пять шагов алгоритма, одну иллюстрацию с четырьмя позициями, одну формулу с четырьмя переменными составил около 56 kB.

Исходя из того, что за одно занятие студент может освоить от 6 до 12 новых терминов (фактов), можно предположить, что 16 лекций (полный курс средней дисциплины) будут содержать от 96 до 192 фактов, что составит от 5,376 до 10,752 MB.

Представление фреймовой сети в виде реляционной базы данных даёт возможность богатого спектра возможностей для кросс-платформенной реализации, включая онлайн-серверные приложения для систем дистанционного обучения. Кроме того разработанная база знаний даёт возможность в дальнейшем использовать её не только в ручном режиме, но и совместно с интеллектуальным программным обеспечением.

Как показал опыт эксплуатации данной структуры, из нее очень легко получить конспект лекции.

Следует отметить положительный эффект от применения разработанной базы, который состоит в улучшении структуры учебного материала, его логичности и полноты, оптимизации содержания и устранении несущественных сведений.

Исходя из предложенной структуры фрейма, можно выделить два подхода к формированию базы знаний. При первом подходе в каждый фрейм записывается исчерпывающая информация о смысловом факте – все схемы и иллюстрации, все расчётные формулы. При другом подходе смысловой факт формируется из нескольких фреймов, каждый из которых содержит по одной схеме и формуле. Причём эти способы заполнения базы знаний могут быть использованы одновременно.

Рациональным количеством позиций в слотах-списках (достоинства, недостатки, параметры, алгоритм, позиции схемы, переменные формулы) с точки зрения возможностей запоминания обучающихся и возможности использования в тестах составляет 4–10 позиций.

В разработанной базе знаний остались нереализованными связи позиций схем и переменных формул с другими фактами (т.е. быть отдельным фактом). Однако это не повлияло на эффективность работы системы. Данная особенность может в дальнейшем повлиять на построение траекторий обучения для отстающих студентов, которым необходимо посторонние базового материала смежных или школьных дисциплин.

В дальнейшем планируется реализация базы знаний на основе других подходов, например, на основе объектных баз данных для сравнения эффективности работы системы в целом.

**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** Существенную помощь в разработке и поддержании курса технической дисциплины в актуальном состоянии может оказать комплексная образовательная интеллектуальной система, основой которой является база знаний, хранящая учебную информацию. Положительный эффект от применения такой системы состоит в улучшении логичности и полноты учебного материала и оптимизации его содержания.

Из типовых лекций по изучению устройства узлов, машин, инженерных методов, технологий, инженерных методик расчёта, прикладного инженерного программного обеспечения выделены основные образовательные элементы.

В качестве основы базы знаний использована фреймовая сеть, поскольку позволяет отобразить все многообразие знаний о мире, отражает концептуальную основу организации памяти человека, а также гибка и наглядна. На основе выделенных образовательных элементов синтезирована структура фрейма, которой содержит 17 слотов.

Экспериментальная реализация фреймовой сети на основе реляционной базы данных дала возможность подтвердить эффективность предложенного подхода к хранению информации технической образовательной дисциплины.

Перспективными направлениями дальнейших научных исследований является разработка теоретических основ применения предложенной базы знаний не только для технических дисциплин, но и для дисциплин гуманитарного направления, а также ее реализация на основе других подходов.

#### *Список литературы*

1. Зайцева О.Н. Проектирование информационно-компьютерной подготовки бакалавров технологического направления//Международный электронный журнал "Образовательные технологии и общество", т.12, №4, с. 407-416, 2009.
2. Нуриев Н.К. и др. Подготовка инженеров в дидактических системах нового поколения// Международный электронный журнал "Образовательные технологии и общество".- 2011.- т.14.- №4.- С. 386-403.
3. Нуриев Н.К., Журбенко Л.Н., Старыгина С.Д. Цифровая модель деятельности потенциального инженера//Alma mater (Вестник высшей школы).-2011.-№10.-С.49-55.
4. Нуриев Н.К. и др. Методология проектирования дидактических систем нового поколения.-Казань, РФ: Центр инновационных технологий.-2009.-122с.
5. Сарвилина, И. Ю. Модели и средства представления знаний в информационных обучающих системах. Автореф. дис. канд. техн. наук, Пензенский государственный университет.- Пенза.- 2005.-18с.
6. Семенова Н.Г., Семенов А.М., Крылов И.Б. База знаний интеллектуальной обучающей системы технической дисциплины// Вестник ОГУ.-2013.- т.9.- №158.-С. 232-239
7. Семенова Н.Г., Крылов И.Б. Структурные особенности интеллектуальных обучающих систем//Энергетика: состояние, проблемы, перспективы: материалы Всероссийской научно-технической конференции.- Оренбург, 2012, С. 465-470.
8. Хвостова И.П., Построение и использование образовательной автоматизированной информационной системы с элементами искусственного интеллекта в учебном процессе вуза, автореф. дис. канд. пед. наук., каф. педагогики и психологии высшей школы, Северо-Кавказский государственный технический университет, Ставрополь, 2003.- 22 с.
9. Бернерс-Ли Т., Хендлер Дж., Лассила О. Семантическая Сеть (пер.Евгений Золин). [Электронный ресурс]. Доступно: [http://ezolin.pisem.net/logic/semantic\\_web\\_rus.html](http://ezolin.pisem.net/logic/semantic_web_rus.html).
10. Джарратано Д., Райли Г., Экспертные системы: принципы разработки и программирование. 4-е изд.- Москва, РФ: Вильямс.- 2007.-348 с.
11. Жаботинская С.А. Концептуальный анализ: типы фреймов//Вісник Черкаського ун-та. Сер. Філолог. Науки.- 1999.-№11.-с.12-25.
12. Карась С.И. Модели представления знаний и когнитивная психология: две стороны одной медали //Вестник томского государственного университета.-2010.-т.2.-№10.- С.23-26.
13. Мински М. Фреймы для представления знаний: Пер. с англ.- Москва, РФ: Энергия.-1979.-442 с.

14. **Семенова Н.Г.** Функциональная схема базы знаний интеллектуальной обучающей системы//Энергетика: состояние, проблемы, перспективы: материалы Всероссийской научно-технической конференции.- Оренбург.-2012.- с. 482-486.
15. **Субботін С.О.** Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень: Навчальний посібник.-Запоріжжя: ЗНТУ.-2008.-325 с.
16. Х. Уэно, Т. Кояма, М. Исидзука, Т. Окамото. Представление и использование знаний. Пер. с яп. И. А. Иванова; Под ред. Н. Г. Волкова.- Москва.-Мир.- 1989ю-524 с.
17. **John F. Sowa:** Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations. Brooks/Cole: New York.-2000
18. **Hermann Helbig:** Knowledge Representation and the Semantics of Natural Language, Springer, Berlin, Heidelberg.- New York.- 2006.
19. **Michael Negnevitsky:** Artificial Intelligence, A Guide to Intelligent Systems, Pearson Education Limited.-2002.
20. **QuiUian M.R.** Semantic memory / M.R. Quillian 11 Semantic Information Processing / Ed. by M. Minsky. Cambridge. Massachusetts: MIT Press.-1968.- P. 216-270.

Рукопись поступила в редакцию 30.10.2019

УДК 338.322.01

А.М. ТУРИЛО, А.А. ТУРИЛО, доктори екон. наук, професори,  
С.М. КОРОЛЕНКО, канд.екон. наук, доцент  
Криворізький національний університет

## ФІНАНСИ ПІДПРИЄМСТВА ТА ЇХ МІСЦЕ В ЙОГО ІНВЕСТИЦІЙНО-ВИТРАТНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

**Мета.** Фінанси є невід'ємною частиною ринкової моделі господарювання, а фінанси підприємств – невід'ємною частиною господарського механізму ефективного розвитку мікросередовища. У роботі зазначено, що фінанси для будь-якого суб'єкта господарювання, у тому числі і для підприємства, дуже тісно пов'язані з інвестиційним процесом і витратною діяльністю. Мета даної роботи полягає в тому, щоб удосконалити систему і сутність окремих термінів (термінологічний апарат), пов'язаних з процесом інвестиційно-витратної діяльності на підприємстві.

**Методи дослідження.** Авторами роботи представлено науково-логічний підхід до визначення, послідовності та каузальності використання понять і термінів, пов'язаних з процесами початкового фінансування діяльності підприємства, інвестування та здійснення операційних витрат на ньому.

**Наукова новизна.** На базі аналізу літературних джерел, у тому числі Положення (стандарту) бухгалтерського обліку 16 «Витрати», в науковій статті надано комплексний ґрунтовний авторський підхід до визначення категорій «витрати» і «витрати підприємства». В ньому розкриті основні характерні риси та ознаки даних категорій, що дозволяють більш предметно і конкретно характеризувати їх фінансово-економічний зміст.

**Практична значимість.** Згідно з поставленою метою в науковій статті виконано роботу з: аналізу термінів і понять, що пов'язані з інвестиційно-витратною діяльністю підприємства; уточнення та визначення сфер використання зазначених у роботі термінів; формування необхідних оціночних критеріїв, що дозволяють установити зміст і сферу прикладання термінів та унеможливають нелогічне та необґрунтоване дублювання існуючих термінів у даній фінансово-економічній царині між собою; формування каузального підходу в процесі дослідження та управління фінансово-економічною діяльністю підприємства в аспекті творення його фінансових ресурсів та подальшого їх використання в багатогранній діяльності підприємства.

**Результати.** У цілому представлено авторами дослідження дозволить обґрунтовано використовувати терміни і поняття, що пов'язані з процесом фінансово-інвестиційно-витратної діяльності підприємства; оволодіти критеріальним апаратом стосовно термінів, що існують у даній фінансово-економічній сфері діяльності підприємства; більш поглиблено підходити до процесів планування та управління на підприємстві; удосконалити навчально-методичну базу навчальних процесів за напрямом фінанси та економіка.

**Ключові слова:** фінанси, інвестування, витрати підприємства, фінансові ресурси, застосовані ресурси, спожиті ресурси, поточні ресурси, собівартість.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-64-69

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Проблема наукова і практична полягає в тому, що неправильне використання термінів і понять, пов'язаних з фінансовою, інвестиційною та витратною діяльністю підприємства призводить до затягування та погіршення управлінських рішень, пов'язаних з тими сферами діяльності підприємства, що зазначені нами вище. Представлена в даній роботі фінансово-економічна проблематика співзвучна всім науковим і практичним завданням з цього напрямку діяльності.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Витрати є ключовою категорією економічної науки. Їх значимість абсолютно не потребує ніяких доказів, бо зрозумілим є той факт і аксіома про те, що якщо є витрати то є і підприємство, якщо немає витрат (інвестицій), то немає і самого підприємства, тобто взагалі не існує можливостей для виготовлення будь-якої продукції, отримання прибутків, розвитку економіки країни тощо.

Тому проблема витрат постійно знаходиться в полі зору науковців і практиків та розкривається в науковій літературі [1-20].

Витрати як наукова категорія та практична величина доволі добре пророблена науковцями та практиками в аспекті їх змісту і формування на різних рівнях господарювання.

Разом з тим у процесі дослідження категорії «витрати» відбувся і негативний процес, пов'язаний з великою кількістю термінів та понять, що розкривають дану категорію, а це призвело, в свою чергу, до певного дублювання та неправильного тлумачення деяких термінів із їх загальної сукупності.

Стосується це і питань, що поставлені нами в даній науковій статті, а саме процесів фінансування, інвестування та здійснення поточних витрат на підприємстві.

Тому авторами даної роботи було зроблено спробу на базі аналізу існуючих досліджень у даній галузі удосконалити питання змісту та системності окремих термінів у даній царині наукових досліджень

**Постановка задачі.** Основне призначення фінансів підприємства – пошук, формування та ефективне використання фінансових ресурсів на підприємстві. Така постановка питання і визначає актуальність та значимість одного із важливих завдань для підприємства: показати прямий і опосередкований зв'язок фінансів підприємства з його інвестиційно-витратною діяльністю через дослідження та уточнення фінансово-економічних термінів, пов'язаних з такою діяльністю.

**Викладення матеріалу та результати.** В основі ринкової моделі господарювання знаходяться фінанси і рівноправність форм власності.

Будь-яке підприємство – виробниче, комерційне чи фінансово-кредитне потребує відповідних фінансових джерел і фінансових ресурсів.

Фінанси певного суб'єкта підприємницького господарювання, як відомо, представляють собою систему економічних відносин, пов'язаних з рухом грошей. Основне призначення фінансів підприємства – пошук, формування та ефективне використання фінансових ресурсів, що забезпечить у кінцевому підсумку високу конкурентність підприємства.

Пошук, формування та ефективне використання фінансових ресурсів – це ключові стадії фінансово-економічної діяльності підприємства.

Разом з тим при дослідженні даних стадій фінансово-економічної діяльності підприємства в науковій і навчальній літературі для їх характеристики й оцінки використовуються різні терміни і поняття.

При цьому відсутність чітких трактувань та критеріїв стосовно термінів і понять, призводить до того, що вони в одних випадках дублюють (підміняють) одне одного, в інших випадках, не мають відповідних сутнісних відмінностей та певної логічної послідовності чи ієрархії у відображенні процесів каузальності при аналізі того чи іншого виду діяльності підприємства.

У даній роботі ми представимо наше бачення стосовно даної проблеми на прикладі розкриття сукупності термінів, пов'язаних з категорією «витрати» з позиції фінансів і економіки підприємства. Ми вважаємо, що в принципі важливо по будь-якому напрямку діяльності підприємства в науково-практичному аспекті провести систематизовану і глибоку роботу по:

перегляду та аналізу всіх термінів і понять;

дослідженню і визначенню сфер використання даних термінів;

формуванню необхідних оціночних критеріїв, що дозволять визначити зміст і сферу прикладення термінів та унеможливають існування нелогічного дублювання між ними;

визначенню сукупності необхідних категорій, термінів і понять, що призвані об'єктивно розкрити фінансовий та економічний зміст досліджуваного процесу чи явища;

формуванню каузального підходу в процесі дослідження та управління фінансово-економічною діяльністю в аспекті творення фінансових ресурсів та різноманітних витрат на підприємстві.

Будь-яке підприємство при його утворенні потребує відповідного фінансування, а фінансування потребує в свою чергу наявність певних фінансових джерел. Не має фінансових джерел – значить не має фінансування і можливостей почати процес утворення підприємства. Таким чином, система фінансових відносин на підприємстві, вся його складна фінансово-економічна діяльність починається з процесу фінансування: на стадіях попереднього і кінцевого фінансового та техніко-економічного обґрунтування можливості появи нового підприємства відповідної галузі національної економіки.

У загальному вимірі існує два основних джерела фінансування підприємства – це власні та позикові кошти (власний та позиковий капітал).

Далі фінансові джерела (джерела фінансування) приймають свою предметну форму в терміні «фінансові ресурси». Фінансові ресурси в хронології часу та з фінансово-економічної логіки характеризують з одного боку послідовність і момент їх появи як реального ресурсу за терміном «фінансові ресурси», а з іншого боку – переводять і конкретизують абстрактне поняття «фінансові джерела» (джерела фінансування) в конкретну математичну величину через поняття і показник «фінансові ресурси».

Таким чином, змістовним критерієм поняття «фінансове джерело» є визначення того – звідкіля, за яким джерелом буде відбуватися (чи вже відбувається) фінансування діяльності підприємства (суб'єкта господарювання).

Конкретний розмір запланованих, а потім і отриманих підприємством фінансових ресурсів (із різних джерел) для його утворення, а потім і для поточного свого функціонування перетворюється в поняття «інвестиції» в момент їх виходу на певний (певні) вид ринку з метою придбання необхідних для підприємства економічних ресурсів.

Далі перейдемо безпосередньо до категорії «витрати» в діяльності підприємства, яка має декілька різновидів (в залежності від певних ознак) необхідних для оцінки та ефективного управління підприємством.

Почнемо з того, що як не дивно, ми не знайшли в науково-методично-практичній літературі однозначного або певного чіткого чи загальновизнаного трактування (змістовного визначення) категорії «витрати підприємства» (або просто «витрати»).

Навіть у П(С)БО 16 «Витрати» не надається розкриття терміну «витрати». У даному П(С)БО представлено зміст окремих другорядних термінів, що характеризують окремі аспекти загальної категорії «Витрати» і не надають загального уявлення про її економічний зміст. З позиції П(С)БО 16 «Витрати» – наголос у ньому робиться, по-перше, на тому, що визнається витратами, а, по-друге, на витратах – як собівартості.

Підсумовуючі дану проблему хочемо відмітити, що категорія «витрати» є фундаментальною в економічній науці та практиці, без них взагалі неможлива будь-яка діяльність будь-якого суб'єкта господарювання. Витрати є виключним чинником і абсолютно необхідною умовою створення та функціонування підприємства, організації чи іншої структури в системі суспільного соціально-економічного розвитку.

«Витрати» є складною і комплексною економічною категорією. Сутність і комплексність витрат, на наш погляд, повинна розкриватись на основі дослідження: їх об'єктивної закономірності; умов і чинників їх появи та формування; визначення структури, видів та класифікації витрат (з урахуванням специфіки виробничо-господарської діяльності суб'єкта господарювання та комплексних умов зовнішнього впливу і регулювання даного процесу в межах певної галузі та економіки в цілому); аналізу місця, ролі та стану виникнення витрат у процесі функціонування підприємства; забезпечення їх раціонального використання тощо.

На рис. 1 представлено основні постулати щодо дослідження, пошуку сутності та трактування категорії «витрати» («витрати підприємства»).

Виходячи з аналізу та розуміння об'єктивних закономірних процесів ринкової економіки та економічних механізмів утворення і функціонування підприємства нами запропоновано наступне визначення терміну «витрати» («витрати підприємства»).

Витрати – це комплексна категорія, що, по-перше, визначає чільне місце витрат у загальному об'єктивному процесі ринкового і суспільного розвитку, по-друге, відображає початковість утворення та фундаментальну й виключну основу існування та перманентного функціонування будь-якого суб'єкта господарювання, по-третє, має доволі складну структуру й класифікацію видів витрат, що визначається на практиці під впливом зовнішніх чинників та умов

галузевого й державного регулювання, по-четверте, вимірюється кількісно – як абсолютна величина, по-п'яте, відображається в розрахунках та обліку у вартісних, а при необхідності і у натурально-речових показниках.



Рис.1. Парадигма і основні постулати дослідження категорії «витрати»

Моментом появи безпосередньо і конкретно в практичній площині терміну «витрати», а точніше його першого конкретного різновиду «одноразові витрати» по відношенню до діяльності підприємства є момент здійснення акту купівлі всіх необхідних для нього ресурсів на відповідних ринках. Цей момент – виступає критерієм трансформації інвестицій в одноразові витрати для підприємства.

Момент фіксації придбаних на різних ринках ресурсів на балансі підприємства на засадах бухгалтерського обліку визначає появу наступного різновиду витрат, а саме витрати підприємства у вигляді застосованих ресурсів. «Одноразові витрати» і «застосовані ресурси» з математичної точки зору відображають однакові вартісні величини, а з точки зору економічного змісту даних видів витрат дещо різняться (за хронологією появи, предметом прикладання, характеристикою операції та призначення).

У бухгалтерському обліку застосовані ресурси, як економічні ресурси підприємства, відображаються терміном «активи».

Момент початку використання застосованих ресурсів у виробничо-господарській діяльності підприємства характеризує умови появи нового різновиду витрат: «спожиті ресурси». Процес використання застосованих ресурсів у діяльності підприємства це фактично процес їх споживання, і саме цей аспект визначає такий термін витрат як «спожиті ресурси».

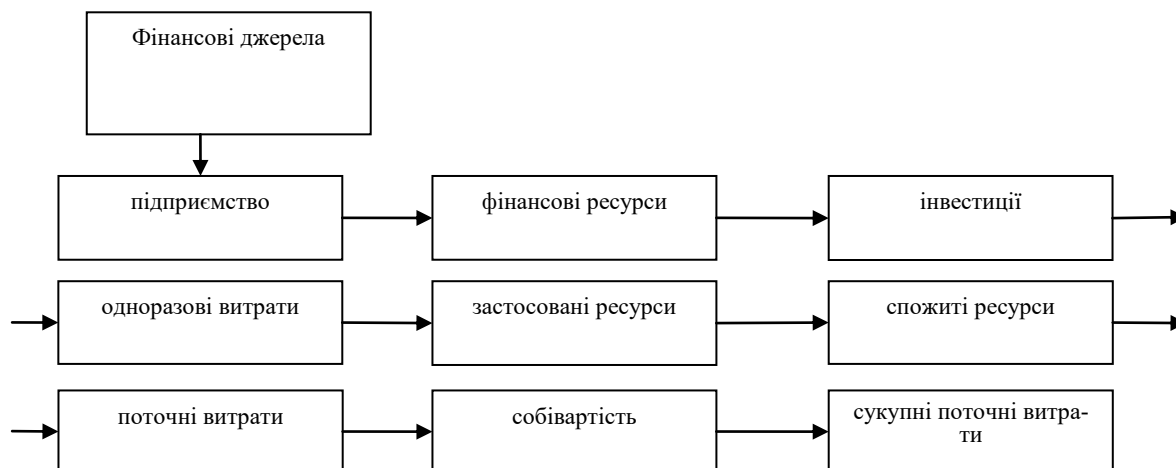
У свою чергу спожиті ресурси в поточній економічній діяльності підприємства, із-за постійного поточного споживання застосованих ресурсів, характеризуються як поточні витрати. Термін «поточні витрати» вже несе в собі безпосередньо назву витрати і конкретизує той різновид витрат підприємства, що пов'язаний з його повсякденною (поточною) діяльністю.

На рис. 2 представлено науково-логічний підхід щодо певного систематизування і визначення підґрунтя по використанню існуючої сукупності термінів та понять, пов'язаних з процесом фінансування і здійснення витрат у виробничо-господарській діяльності підприємства.

Далі за системою бухгалтерського обліку поточні витрати підприємства відображаються в різних показниках собівартості (як в цілому, так і по окремим її складовим).

Але не будь-яку собівартість на підприємстві можна визначити як витрати. Тільки та собівартість відображає сутність витрат, яка розраховується як абсолютна величина (згідно з нашим баченням у даній роботі визначення категорії «витрати»). Так, собівартість, що розрахова-

на на одиницю продукції не підпадає під категорію «поточні витрати», бо є відносною величиною і має інший економічний зміст, ніж витрати.



**Рис.2.** Науково-логічний підхід до визначення та каузальності важливих понять і термінів, пов'язаних з процесом фінансування, інвестування та здійснення витрат на підприємстві

З позиції підприємницької діяльності та управлінського обліку важливо також досліджувати і такий показник витрат, як сукупні поточні витрати підприємства.

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** У даній роботі представлено авторське бачення і розуміння сутності, взаємозв'язку та підпорядкованості основних категорій, що пов'язані з процесом здійснення витрат на підприємстві.

Розглянуте нами рішення важливої наукової проблематики дозволяє теоретично і методично, більш досконало, в межах певної обґрунтованості, підійти до використання сукупності термінів витратного спрямування в системі управління, планування та аналізу витрат на підприємстві, а також у навчальних процесах та науково-практичних дискусіях даного питання.

### Список літератури

1. Азьмук Л. Моделювання комбінаційних взаємозв'язків у системі «Витрати – Випуск»: проблеми та шляхи їх розв'язання. Стратегія економічного розвитку України. 2006. № 6. С. 231–234.
2. Бедринцев М.Д. Ефективність діяльності суб'єктів підприємництва в сучасних умовах господарювання. Бізнес Інформ. 2013. № 4. С. 183–190.
3. Волонцевич С.О. Розробка економічного механізму оптимізації структури граничних витрат на промислових підприємствах. Вісник Харківського національного університету ім. Каразіна. 2005. № 668. С. 77-79.
4. Гриньова В.М., Коюда В.О., Лепейко Т.І., Коюда О.П. Інвестування: підручник. К.:Знання, 2008. 452 с.
5. Іщенко Н.А. Факторний аналіз формування прибутку підприємства. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.kntu.kr.ua/doc/zb\\_17\\_ekon/stat\\_17/33.pdf](http://www.kntu.kr.ua/doc/zb_17_ekon/stat_17/33.pdf).
6. Козак В.Г. Визначення поняття «витрати» та їх оцінка. Реформування економіки України: стан та перспективи : зб. матеріалів ІV Міжнар. наук.-практ. конф. (26–27 листопада 2009 р., м. Київ). К., 2009. С. 129–131.
7. Коблянська О.І. Фінансовий облік : навчальний посібник. К. : Знання, 2007. 471 с.
8. Кулішов В.В. Економіка підприємства: теорія і практика : навчальний посібник. К. : Ніка-Центр, Ельга, 2004. 216 с.
9. Поддєрьогін А.М. Фінанси підприємств : підручник. К. : КНЕУ, 2013. – 460 с.
10. Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 16 «Витрати» : затверджено Наказом Міністерства фінансів України від 31 грудня 1999 р. № 318, зі змінами та доповненнями [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0027-00>.
11. Прохар Н.В., Ночовна Ю.О. Облік доходів, витрат і фінансових результатів: проблеми теорії та практики : монографія. Полтава : РВВ ПУЕТ, 2011. 257 с.
12. Сорока С. Сутність витрат: історичний аспект. Економічний аналіз. 2010. Вип. 6. С. 152–154.
13. Турило А.М., Кравчук Ю.Б., Турило А.А. Управління витратами підприємства : навчальний посібник. К. : Центр навчальної літератури, 2006. 120 с.
14. Турило А.А., Турило А.М. Оцінка результативності, ефективності, продуктивності, збитковості підприємства : монографія. Кривий Ріг: Етюд-Сервіс, 2009. 196 с.
15. Трухан О.Л. Розвиток теорії витрат: еволюція і сучасні тенденції. Вісник ЖДТУ. 2003. № 4. С. 380–388.
16. Цал-Цалко Ю.С. Витрати підприємства : навчальний посібник. К. : ЦУЛ, 2002. 656 с.
17. Циган Р.М., Савченко О.С. Проблеми формування прибутку підприємства в бухгалтерському обліку. Облік і фінанси АПК. 2011. № 2. С. 36–39.

18. Чернишова Л.І., Дженкова А.С. Особливості формування системи управління витратами вітчизняних підприємств. *Інноваційна економіка*. 2014. № 3 (52). С. 61–68.
19. Шаповалова Т.Ю., Фесенко Н.В. Аналіз сутності деяких категорій інвестиційної діяльності. *Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»*: зб. наук. праць Харків: НТУ «ХПІ». 2011. № 26. С. 156-164.
20. Шарко В.В. Шляхи, основні напрямки та інструменти механізму інтенсифікації виробництва промислового підприємства. *Економіка і управління*. 2012. № 4. С. 64–69.

Рукопис подано до редакції 26.09.2019

УДК 624.153.524

Р.О. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук, проф., Д.А. КРІШКО, канд. техн. наук, ст. викл.,  
І.В. ХОРУЖЕНКО, аспірант  
Криворізький національний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОСНОВИ ПІД СТРУКТУРНИМИ ФУНДАМЕНТАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

**Мета.** Проектування оптимальних конструктивних рішень з урахуванням конкретних умов експлуатації одна з головних інженерних задач. З розвитком технологій та зі стрімкими темпами використання програмного забезпечення при проектуванні, розрахунках та конструюванні інженерних систем актуальним є впровадження в роботу програмних комплексів на основі МКЕ при моделюванні ґрунтової основи, її взаємодії з фундаментною конструкцією, аналізу роботи системи в цілому. Одним із ускладнень при математичному моделюванні складчастих фундаментів під опори ЛЕП є моделювання сумісної роботи фундаментної конструкції складної форми та ґрунтової основи, де необхідно підібрати модель ґрунтової основи, врахувати всі вихідні параметри, зімітувати роботу фундаменту до моменту повного залучення ґрунтової основи у роботу.

**Методи дослідження.** При вирішенні контактних задач застосовується метод кінцевих елементів, що активно використовується в сучасних програмних комплексах для моделюванні інженерних конструкцій, взаємодій та явищ. Вони відрізняються способами завдання моделі ґрунтової основи, та мають свої певні інструменти для зміни та коригування вихідних параметрів та аналізу. В той же час, при використанні будь-яких із програмних комплексів актуальним є також моделювання фундаментних конструкцій різних форм та видів.

**Наукова новизна.** Актуальність даної роботи пов'язана із розв'язанням поставленої задачі. Її результатом є встановлення залежності між зовнішнім навантаженням та осіданням фундаментної конструкції двох типів.

**Практична значимість.** Дослідження дають змогу оцінити роботу структурних фундаментів різного конструктивного рішення, математичне моделювання дозволяє всебічно проаналізувати результати та врахувати недоліки системи при подальших дослідженнях.

**Результати.** Встановлено, що при моделюванні особливу увагу слід звертати на призначення початкових параметрів системи, на вибір типу кінцевих елементів і оптимальної моделі ґрунтової основи. Були встановлені основні залежності між зовнішнім навантаженням та осіданням фундаментної конструкції. Аналізуючи графіки осідань обох фундаментних конструкцій було встановлено, що модель фундаменту-прототипу має більше нерівномірний характер осідань у кожній контрольній точці, в той час як криві осідань за показниками трьох різних точок оптимальної фундаментної конструкції мають практично аналогічні значення.

**Ключові слова:** складчастий фундамент, метод кінцевих елементів, напружено-деформований стан, контактна взаємодія, ґрунт, моделювання.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-69-75

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Побудова математичної моделі – це центральний етап дослідження або проектування будь-якої системи. Математичне моделювання за допомогою програмних комплексів на основі методу кінцевих елементів (МКЕ) дозволяє в повному обсязі вирішувати складні інженерні задачі, досліджувати процеси та явища, аналізувати і прогнозувати роботу досліджуваної системи, мати змогу адекватно порівнювати роботу моделі та натурального процесу, явища тощо. На сьогоднішній день існують різноманітні програмні комплекси на основі методу кінцевих елементів, наприклад: Feadam, Sage-Crisp, Plaxis, Ansys, LiraSap, Nastran, ABAQUS та інші. Вони відрізняються способами завдання моделі ґрунтової основи, та мають свої певні інструменти для зміни та коригування вихідних параметрів та аналізу. В той же час, при використанні будь-яких із програмних комплексів актуальним є також моделювання фундаментних конструкцій нестандартних форм та

видів [1]. На сьогоднішній день досвід використання програмних комплексів для моделювання складних фундаментних систем або складних фундаментів у поєднанні з ґрунтовою основою має не достатню вивченість.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Вітчизняні та закордонні вчені галузі активно використовують математичне моделювання за допомогою програмних комплексів для дослідження напружено-деформованого стану основи [2-7]. З розвитком технологій та зі стрімкими темпами використання програмного забезпечення при проектуванні, розрахунках та конструюванні інженерних систем актуальним є впровадження в роботу програмних комплексів на основі МКЕ при моделюванні ґрунтової основи, її взаємодії з фундаментною конструкцією, аналізу роботи системи в цілому.

Першочергово при аналізі наукових досліджень приділяється увага дослідженню використання програмних комплексів при математичному моделюванні фундаментів-оболонки різного типу при взаємодії з ґрунтовою основою. Mahmoud Samir El-kady та Essam Farouk Badrawi провели експериментальні та числові дослідження із використанням п'яти квадратних фундаментів, з яких один фундамент плоскої форми в якості еталонного зразка та чотири фундаменти складеної форми оболонкового типу [8]. При математичному моделюванні використовувався програмний комплекс ABAQUS. Nisha P. Naik та Sabna Thilakan [9] досліджували роботу фундаменту-оболонки стовпчастого типу, аналізуючи різні кути нахилу бічних поверхонь. Моделі фундаментної деформації та властивості ґрунту були численно змодельовані за допомогою програмного забезпечення OptumG2 із застосуванням кінцевих елементів. Вчені Китаю Dongxue Hao, Rong Chen та Guangsen Fan займалися дослідженням граничної несучої здатності фундаментів опор ліній електропередач на структурно нестійких ґрунтах [10]. Математичне моделювання основи та фундаменту були здійснені у програмному комплексі ABAQUS.

Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Хоруженко І.В. дослідили напружено-деформований стан структурних фундаментів та основи при їх контактній взаємодії при різних умовах їх взаємодії [11]. Було виконано порівняння двох умов взаємодії фундаментної конструкції та ґрунтової основи. В першому випадку моделювалася ситуація, коли призматична складка контактує з основою тільки у межах горизонтальних опорних полиць. В другому випадку ґрунт основи повністю включався у роботу шляхом заповнення ним порожнини складки. У якості еталонного зразка ґрунту було обрано пісок пилюватий з характеристиками  $c = 2$  кПа,  $e = 0,75$ ,  $E = 11$  МПа,  $\varphi = 26^\circ$ . Для визначення головних та еквівалентних напружень було обрано теорію Кулона-Мора (модель ґрунтової основи) у якості теорії міцності при оцінці несучої здатності ґрунтової основи. В результаті було зроблено висновки, що кращі результати продемонструвала робота фундаменту сумісно з ґрунтом, що можна пояснити тим фактом, що ґрунт та фундамент в такому випадку діють як єдине ціле. У випадку, коли призматична складка спирається на ґрунт лише через опорні горизонтальні полиці і саме через них передає навантаження на ґрунт, зі збільшенням жорсткості складки еквівалентні напруження зменшуються. Це пояснюється тим, що при збільшенні жорсткості складки вона перестає працювати як тонкостінна конструкція, втрачаючи властивості оболонки, і її робота при збільшенні жорсткості більше схожа на роботу звичайної фундаментної плити.

Аналогічно було проведені дослідження впливу геометричних параметрів складчастого фундаменту-оболонки на величину несучої здатності [12]. Для математичного моделювання взаємодії фундаментної конструкції та ґрунтової основи було застосовано програмний комплекс LiraSap-2013. Було виконано моделювання однієї призматичної складки фундаменту з відомими геометричними параметрами та фізичними характеристиками [13, 14], надалі досліджувалася робота одного типового призматичного штампі при зміні умов роботи та взаємодії з ґрунтовою основою. Для дослідження напружено-деформованого стану основи при різних типах взаємодії системи «фундамент-основа» розв'язання задачі відбувалося у плоскій постановці. В якості змінного параметру на даному етапі дослідження було обрано ширину опорної частини складки. В процесі математичного моделювання необхідно було дослідити як впливає цей параметр на несучу здатність основи. В процесі аналізу біло встановлено, що при математичному моделюванні фундаментної складки в плоскій задачі зміна ширина опорної частини суттєво не впливає на несучу здатність основи. Проте це може бути наслідком того, що аналіз виконувався в плоскій постановці. Тому дані результати є основою для подальшого аналізу та досліджень при моделюванні об'ємної задачі.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є вивчення контактної взаємодії фундаментної конструкції та ґрунту основи за допомогою математичного моделювання; аналіз значення напружено-деформованого стану основи.

**Викладення матеріалу та результати.** Одним із ускладнень при математичному моделюванні складчастих фундаментів під опори ЛЕП є моделювання сумісної роботи фундаментної конструкції складної форми та ґрунтової основи, де необхідно вдало підібрати модель ґрунтової основи, врахувати всі вихідні параметри, зімітувати роботу фундаменту до моменту повного залучення ґрунтової основи у роботу.

Моделювання контактної задачі структурного фундаменту двох типів з основою здійснювалося в програмному комплексі «Ліра-САПР», що призначений для проектування і розрахунку машинобудівних та будівельних конструкцій різного призначення. Розрахунки в програмі виконуються як на статичні, так і на динамічні навантаження. Основою розрахунків є метод кінцевих елементів (МКЕ). Різні модулі, що підключаються (процесори) дозволяють робити підбір і перевірку перерізів сталевих і залізобетонних конструкцій, моделювати ґрунт, розраховувати мости і поведінку будівель в період монтажу тощо [15].

Для оптимізації процесу розрахунку математичної моделі було прийнято рішення брати за розрахункову довжину смугу в 1 м і проводити розрахунок в об'ємній постановці задачі. Також було змодельована тільки  $\frac{1}{4}$  частина фундаментної системи в місці розташуванні однієї з баз опори ЛЕП, припускаючи, що інші частини фундаментної системи будуть працювати аналогічно. Такі дії можливі за умови рівномірного розподілення навантаження від опори ЛЕП на фундаментні балки, тобто була змодельована сумісна робота вертикально навантаженого фундаменту із основою.

Для моделювання призматичної складки використовувався кінцевий елемент (КЕ) типу 41. Даний кінцевий елемент призначений для міцнісного розрахунку тонких пологих оболонок (плит, балок-стінок). В кожному вузлі в такому кінцевому елементі є по 6 ступенів свободи:  $U$  – горизонтальне переміщення, додатній напрям якого співпадає із напрямком вісі  $X_1$ ;  $V$  – горизонтальне переміщення, додатній напрям якого співпадає із напрямком вісі  $Y_1$ ;  $W$  ( $Z$ ) – вертикальне переміщення (прогин), додатній напрям якого співпадає із напрямком вісі  $Z_1$ ;  $U_x$  – кут повороту відносно вісі  $X_1$ ;  $U_y$  – кут повороту відносно вісі  $Y_1$ ;  $U_z$  – кут повороту відносно вісі  $Z$  загальної системи координат. Ступені свободи  $U$ ,  $V$  відповідають мембранним, а  $W$ ,  $U_x$ ,  $U_y$  – згинальними деформаціям. Кут повороту  $U_z$  не входить до переліку вузлових параметрів, що визначають деформації елемента та в місцевій системі координат він дорівнює нулю. Ця ступінь свободи з'являється при стикуванні елементів, що не лежать в одній площині, і необхідна для врахування просторової роботи конструкції.

Для моделювання ґрунтової основи було використано універсальний просторовий восьми-вузловий ізопараметричний КЕ 36. Даний тип КЕ призначений для міцнісного розрахунку континуальних об'єктів та масивних просторових конструкцій. В кожному вузлі даного КЕ є 3 ступені свободи  $U$ ,  $V$ ,  $W$ , що визначені відносно вісей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  загальної системи координат. Вони представляють собою лінійні переміщення вздовж відповідних вісей, додатні напрямки яких співпадають із напрямком вісей координат.

Для моделювання балок було використано універсальний просторовий стрижневий КЕ 10. Такий стрижень має місцеву праву декартову систему координат  $X_1$ ,  $Y_1$ ,  $Z_1$ , відносно якої визначаються зусилля та задається місцеве навантаження. Для поєднання такого стрижня до вузлів схеми передбачені різні можливості: за допомогою абсолютно жорстких вставок вздовж місцевих осей; за допомогою зняття зв'язку по будь-якому із напрямків (зняття лінійного зв'язку забезпечує прослизання, зняття кутового зв'язку – вільний поворот, тобто циліндричний шарнір). Матриця жорсткості будується для гнучкої частини стрижня. Даний кінцевий елемент може бути використаний при всіх признаках схеми, що використовуються при розрахунку стрижневих конструкцій.

В результаті побудови кінцево-елементної моделі було отримано модель із 202673 кінцевих елементів різного типу, та 209674 вузлів.

Шарнірну взаємодію між балками та складкою змодельовано об'єднанням відповідних вертикальних переміщень (за допомогою створення груп об'єднання переміщень).

Попередня глибина гуртової товщі, що стискається, визначалася із умови рівності середньому тиску (тиск від дії зовнішнього навантаження) під подошвою фундаменту 20 відсоткам

від природного тиску, при подальшому розрахунку відбувалося коригування глибини ґрунтової товщі, що стискається. При цьому нижня частина 3/4 ґрунтової товщі була змодельована кінцевими елементами більшого розміру для оптимізації процесу розрахунку.

Як відомо, конструкції за обрисом близьким до арочного, передають на опорні частини горизонтальні зусилля, які, в свою чергу, призводять до появи розтягуючих напружень в основі складки. З метою зменшення негативного впливу розпору, який передається на ґрунт, в складці влаштовуються ребра жорсткості (діафрагми).

Основним критерієм граничної несучої здатності основи було виникнення пластичних деформацій основи. Для визначення головних та еквівалентних напружень при розширеному аналізі можна обирати одну із запропонованих теорій міцності: найбільших дотичних напруг; енергетична Губера-Хенкі-Мізеса; теорія Мора ( $R_t$ ,  $R_c$ ); теорія Друкера-Прагера ( $R_t$ ,  $R_c$ ); теорія Писаренко-Лебедева ( $R_t$ ,  $R_c$ ); теорія Генієва ( $R_t$ ,  $R_c$ ); теорія Кулона-Мора ( $c$ ,  $\varphi$ ); теорія Боткіна ( $c$ ,  $\varphi$ ). Для визначення головних та еквівалентних напружень було обрано теорію Кулона-Мора (модель ґрунтової основи) у якості теорії міцності при оцінці несучої здатності ґрунтової основи. В даному випадку значення еквівалентних напружень при розширеному аналізі порівнюються з граничними значеннями  $R_c$  та  $R_t$ , що є граничними значеннями стиску та розтягу, що розраховуються попередньо за формулами 1 та 2

$$R_c = \frac{2 \cdot C \cdot \cos(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)}, \quad (1)$$

$$R_t = \frac{2 \cdot C \cdot \cos(\varphi)}{1 + \sin(\varphi)}, \quad (2)$$

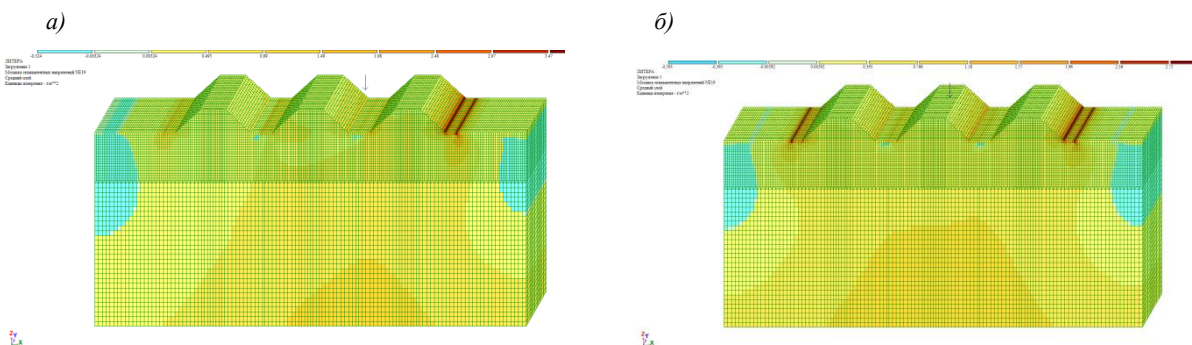
де  $C$  – коефіцієнт зчеплення,  $\varphi$  – кут внутрішнього тертя.

При цьому еквівалентні напруження  $\sigma_e$  за теорією міцності Кулона-Мора для ґрунтів розраховується за формулою

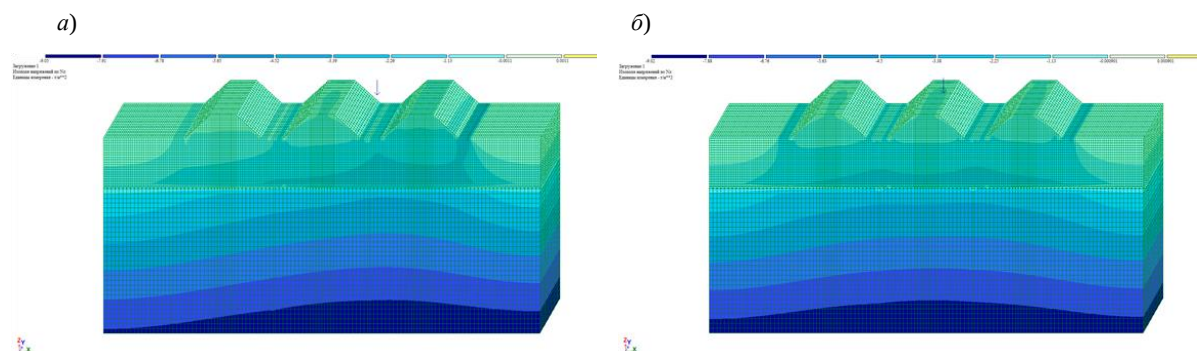
$$\sigma_e = (1 - \chi) \cdot \left( \sigma_0 - \frac{\sigma_i}{3} \cdot \sin(\psi) \right) + (1 + \chi) \cdot \frac{\sigma_i \cdot \cos(\psi)}{\sqrt{3}}, \quad (3)$$

тут  $\chi = \left| \frac{R_t}{R_c} \right|$ ,  $\psi = \frac{1}{3} \cdot \arcsin \left( \frac{27 \cdot J_3}{2 \cdot \sigma_i^3} \right)$ ,  $J_3 = (\sigma_1 - \sigma_0) \cdot (\sigma_2 - \sigma_0) \cdot (\sigma_3 - \sigma_0)$ , де  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  – головні напруження;  $\sigma_0$  – середнє напруження, що дорівнює  $\sigma_0 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 / 3$ .

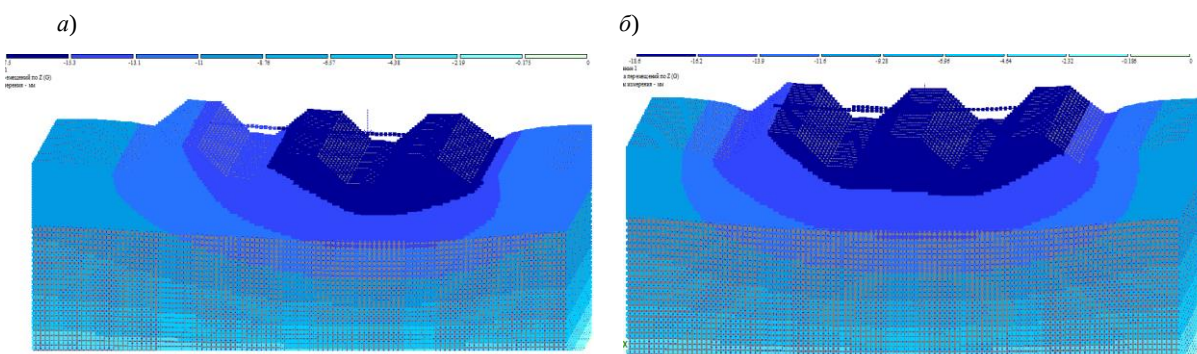
Навантаження прикладалося поступово з кроком 1 т у вигляді зосередженої сили, місцерозташування якої визначалося за місцем встановлення бази опори ЛЕП. До моменту виникнення під підшовою фундаменту еквівалентних напружень, що перевищують гранично допустимі, фіксувалися значення вертикальних переміщень (осідання) при кожному етапі навантаження. Мозаїка еквівалентних напружень зображена на рис. 1. Значення вертикальних переміщень фіксувалися під верхньою полицею складки, на кожній із трьох складок. На рис. 2 зображено мозаїку напружень  $N_z$  для обох типів фундаментів, на рис. 3 зображені фінальні значення вертикальних переміщень.



**Рис. 1.** Мозаїка еквівалентних напружень: а – для фундаменту-прототипу при граничному навантаженні в 10 т; б – для нового типу фундаменту при граничному навантаженні в 14 т



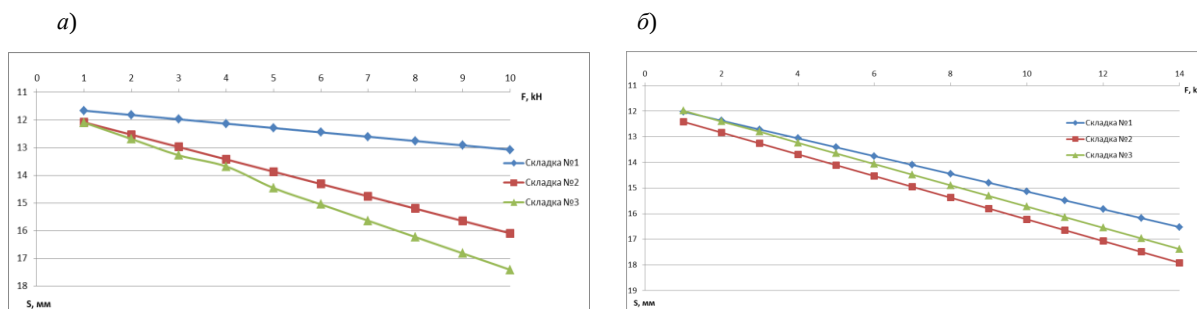
**Рис. 2.** Мозаїка напружень  $N_z$ : *a* – фундаменту-прототипу при граничному навантаженні в 10 т; *б* – нового типу фундаменту при граничному навантаженні в 14 т



**Рис. 3.** Мозаїка вертикальних переміщень: *a* – фундаменту-прототипу при граничному навантаженні в 10т; *б* – нового типу фундаменту при граничному навантаженні в 14 т

В процесі поступового нарощення навантаження фіксувалися значення осідання фундаментної конструкції. В результаті було отримано графік залежності осідань від навантаження (рис. 4). На графіку видно, що залежність осідань від навантаження діє приблизно по лінійному закону і є прямопропорційною.

Аналізуючи графік осідань моделі фундаменту-прототипу (рис. 4 *a*) можна побачити розбіжність значень осідань у кожній точці на складках. Це свідчить про нерівномірність розподілу навантаження в даній системі. Тип передачі навантаження через суцільну опорну балку не забезпечує повноцінну та рівномірну роботу всього ґрунтового масиву під кожною складкою одночасно. Напруження  $N_z$ , що виникли в ґрунтовому масиві (рис. 2 *a*), аналогічно мають нерівномірних характер показників.



**Рис. 4.** Графік залежності осідань від зовнішнього навантаження: *a* – протитипної моделі складчастого фундаменту; *б* – оптимальної моделі складчастого фундаменту

В той же час на графіку осідань оптимальної моделі фундаменту (рис. 4 *б*) видно, що криві осідань за показаннями трьох різних точок системи мають практично аналогічні значення. Це свідчить про те, що дана модель фундаменту реалізується за рахунок особливості сумісної роботи конструктивних елементів складчастого фундаменту. Завдяки застосуванню шарнірного з'єднання призматичних складок з опорними балками досягається більш рівномір-

рне розподілення зовнішнього навантаження на елементи фундаментної системи. Напруження  $N_z$ , що виникли в ґрунтовому масиві (рис. 2 б), мають аналогічний рівномірний характер значень показників.

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Наукова новизна дослідження полягає у встановленні залежності між зовнішнім навантаженням та осіданням фундаментної конструкції двох типів. Аналізуючи графіки осідань обох фундаментних конструкцій було встановлено, що модель фундаменту-прототипу має більше нерівномірний характер осідань у кожній контрольній точці, в той час як криві осідань за показниками трьох різних точок оптимальної фундаментної конструкції мають практично аналогічні значення. Додатково, більше значення гранично допустимого навантаження в 14 тонн було отримано для оптимальної конструкції фундаменту. Проте для більш досконалого вивчення сумісної роботи фундаментної конструкції та основи при їх контактній взаємодії наступний етап математичного моделювання буде виконуватися для повно розмірної фундаментної моделі.

#### Список літератури

1. **Тимченко Р.А.** Совершенствование фундаментов-оболочек для высотных сооружений / **Р.А.Тимченко, В.В. Васильченко** // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг: КТУ, 2003. – Вип. 1. – С. 104-107.
2. **Тимченко Р.А.** Осадки фундаментных конструкций на нелинейно-деформируемых основаниях / **Р.А. Тимченко, Д.А. Кришко** / Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг: КТУ, 2012. – Вип. 29. – С. 110-114.
3. **Пронозин Я.А.** Экспериментальные исследования взаимодействия мембранного фундамента с грунтовым основанием / **Я.А. Пронозин, Л.Р. Епифанцева** // Всероссийская науч.-практ. конф. Молодых ученых и специалистов, посвященная XX-летию создания ООО НПО «Фундаментстройаркос»: Стратегия инновационного развития, строительства и освоения севера. – Тюмень, 2011г.- С.131-134.
4. **Kurian N.P.** Behaviour of shell foundations under subsidence of core soil / **N.P. Kurian** // Proc. 13 Int. Conf. Soil Mechanics and Foundation Engrg., New Delhi, India, 1994.- №2,- pp.591-594.
5. **Huat B. K. B.** Finite Element Study Using FE Code (PLAXIS) on the Geotechnical Behavior of Shell Footings / **B. K. B. Huat , A.T. Mohammed** // Journal of Computer Science, 2 (1), 2006. - pp.104-108.
6. **Тетиор А.Н.** Фундаменты-оболочки / **А.Н. Тетиор, А.Г. Литвиненко**. - Москва: Стройиздат, 1975. -136 с.
7. **Mohammed Y. Fattah.** The Behavior of Conical Shell Foundation under Dynamic Loads / **Mohammed Y. Fattah, Waleed A. Waryos, Mohammed A. E. Al-Hamdani** // The 2nd International Conference of Buildings, Construction and Environmental Engineering (BCEE2-2015), Volume:1 – At Beirut, Lebanon, 2015.
8. **Mahmoud Samir El-kadya.** Performance of isolated and folded footings / **Mahmoud SamirEl-kadya, Essam Farouk Badrawi** // Journal of Computational Design and Engineering 4 - 2017. - pp.150-157. (doi.org/10.1016/j.jcde.2016.09.001)
9. **Nisha P. Naik.** Geotechnical behavior of shell foundations / **Nisha P. Naik, Sabna Thilakan** // 50th Indian geotechnical conference. – Pune (India), 2015. – pp. 205-216.
10. **Dongxue Hao.** Ultimate Uplift Capacity of Transmission Tower Foundation in Undisturbed Excavated Soil / **Dongxue Hao, Rong Chen, Guangsen Fan** // Energy Procedia 17, 2012. – pp. 1209 – 1216 (doi: 10.1016/j.egypro.2012.02.228)
11. **Timchenko R.A.** Mathematical modeling of the folded foundation interaction with the base by varying the structure stiffness / **R.A. Timchenko, D.A., Krishko, I.V. Khoruzhenko** // Academic Journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Issue 2 (51), 2018. – pp. 145-150.
12. **Тімченко Р.О.** Дослідження впливу геометричних параметрів складчас-того фундаменту-оболонки на величину несучої здатності основи / **Р.О.Тімченко, Д.А. Крішко, І.В. Хоруженко** // Гірничий Вісник – Вип.104 – Кривий Ріг: КНУ, 2019 – с.65-69.
13. **Timchenko R.A.** Construction solution of folded-plate shell foundation for power transmission towers / **R.A. Timchenko, D.A., Krishko, I.V. Khoruzhenko** // Academic Journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering. – 2 (49), 2017. – pp. 207-214.
14. Пат. 130294 Україна, МПК (2018.01) E02D 27/00. Фундамент під опори ліній електропередач / **Р.О. Тімченко, Д.А. Крішко, І.В. Хоруженко**; заявник і патентовласник – Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет». – u201802105, заявл. 28.02.2018; опубл. 10.12.2018, Бюл. №23.
15. **Гензерский Ю.В.** ЛИРА – САПР 2011. Учебное пособие / **Ю.В., Гензерский, Д.В. Медведев, О.И. Палиенко, В.П. Титок** – Киев: Электронное издание, 2011, – 396 с.

Рукопис подано до редакції 27.09.2019

УДК 629.113

В.И. ПАХОМОВ<sup>\*</sup>, канд. техн. наук, доц., И.В. ГИРИН, ст.преподаватель  
Криворожский национальный университет

## СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЕЖЕДНЕВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

**Цель.** Основной целью работы является обеспечение эксплуатационной надежности подвижного состава авто-транспортных предприятий повышением эффективности процессов технического сервиса с использованием разработанной системы моделирования условий обслуживания автомобилей с учетом изменений в процессе эксплуатации их технического состояния.

**Методы исследования.** В работе выполнены анализ и обобщение опубликованных теоретических разработок, аналитические расчеты, статистический анализ, экономико-математическое моделирование, программно-целевой метод. Методология теоретических исследований основана на применении логических и математических методов. Также применяется ряд частных методов: аксиоматический и гипотетический методы, анализ и синтез, метод интерпретации, корреляционно-регрессионный анализ, имитационное моделирование.

**Научная новизна.** Научную ценность представляет предложенная математическая модель влияния величины значений технико-эксплуатационных характеристик автотранспортных средств в зависимости от эффективности технического обслуживания автопарка, что дает возможность определить порядок комплексного анализа параметров обслуживания для каждой транспортной единицы.

**Практическая значимость работы.** Разработанная методика влияния величины значений эксплуатационных характеристик подвижного состава АТП, учитывающая законы распределения ЕО и распределения времени поступления автомобилей в зону ЕО, дает возможность повысить техническую готовность транспортных средств за счет корректировки периодов их технического обслуживания. Практическую ценность представляет также разработка методики выбора рациональных параметров системы ежедневного технического обслуживания автотранспорта, применение которой позволит обоснованно распределять нагрузку на подвижный состав в АТП с учетом заданных условий эксплуатации и определять приоритеты при постановке машин на ремонтные работы.

### Результаты:

разработанные математическая модель и методика оптимизации объемов ежедневного обслуживания позволяют выполнять функциональный анализ закономерностей, действующих при реализации процессов технического сервиса с использованием диагностической системы условий эксплуатации и изменения технического состояния подвижного состава;

предлагаемая расчетная методика позволяют реализовать принципы индивидуального подхода к оценке условий эксплуатации и изменения технического состояния подвижного состава и использовать выявленные ранее закономерности для повышения эффективности системы технического сервиса в АТП

**Ключевые слова:** ежедневное обслуживание автомобилей, организация системы обслуживания.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-75-80

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Рентабельная работа транспортного комплекса является важнейшим условием социальной и экономической стабильности государства. Повышение уровня развития, организации и обеспечения успешного функционирования автотранспортной системы во многом может достигаться благодаря поддержанию в работоспособном состоянии подвижного состава не только за счет сбалансированного развития, плодотворного использования и рационального распределения ресурсов производственно-технической базы, но и за счет эффективной организации технологического процесса технического обслуживания автотранспорта. В связи с этим в современных условиях возникает необходимость решения задач, связанных с формированием оптимальных режимов проведения технического обслуживания с учетом конкретных условий эксплуатации подвижного состава АТП, в том числе продуктивной системы ежедневного обслуживания автомобилей

**Анализ исследований и публикаций.** Повышение эффективности использования парка автотранспортных средств неразрывно связано с необходимостью учета его фактической готовности при планировании периодов и объема технического обслуживания. Учету условий эксплуатации при планировании ремонта и обслуживания автотранспорта посвящены работы Ю.А. Монастырского, Е.С. Кузнецова, Р.Х. Хасанова, Н.Я. Говорущенко, Г.М. Напольского, Л.Г. Резника, А.Г. Сергеева, В.А. Бондаренко, А.П. Болдина, Н.С. Захарова И.Н. Аринина, М.М. Болбас, А.П. Дунаева, Ф.Н. Авдоськина, И.Н. Аринина, Б.Д. Прудовского, В.П. Воронова, И.Б. Гурвича, И.Е. Дюмина, Б. С. Клейнера. Значительный вклад в разработку технологии ТО

внесли Хабардин В.Н., Бойко Ю.Ф., Зеленин В.А., Озорнин С.П., Плаксин А.М., Хмелевой Н.М., Сегал Л.В.

Агеев Л.Е., Бахриев С.Х., Федоров С.П., Болоев П.А., Торских Г.Д., Бережнов Н.Г., Дидманидзе О.Н., Пухов Е.В. Черепанов С.С., Барам Х.Г., Гальперин А.С. посвятили свои работы совершенствованию ТО, материально-техническому обеспечению обслуживания и ремонта машин. Дальнейшая работа по созданию системы ТО «по состоянию» ведется в направлении развития новых технологий контроля и диагностирования в связи со все более широким применением интеллектуальных средств измерения и обработки диагностической информации на базе ПК. Но в вышеперечисленных работах вопросы научно-обоснованной методологии на проведения работ ТО в условиях современных автохозяйств не получили полноценного отражения. В связи с этим, поиск путей совершенствования функционирования системы технического обслуживания с учетом условий эксплуатации и изменения значений технико-эксплуатационных характеристик подвижного состава предприятий является актуальным.

**Постановка задачи.** Для повышения эффективности выполнения процессов технического обслуживания необходимо:

разработать научно-обоснованные методологические принципы и подходы к формированию системы технического обслуживания автомобилей в условиях принятия оперативных решений в АТП с изменяющейся численностью подвижного состава;

установить закономерности возникновения и формирования потоков отказов автомобилей при пассажирских и грузовых перевозках;

разработать методику, позволяющую обоснованно определять систему проведения ЕО и периодичность технического обслуживания автомобилей с учетом специфики их эксплуатационных показателей,

разработать практические рекомендации для АТП, позволяющие сократить затраты в эксплуатации за счет оптимизации технического обслуживания.

**Изложение материала и результаты.** Ежедневное обслуживание автомобилей проводится один раз в сутки между рабочими сменами и в зависимости от режима работы автомобилей и организации выполнения этих работ (единичным методом или поточным).

Для грузового АТП, которое осуществляет перевозки только в первую смену ЕО выполняется после работы автомобилей на линии во вторую (вечернюю) смену. Когда перевозки осуществляются в первую и вторую смену ЕО проводится в ночную смену.

Для автобусного АТП ежедневное обслуживание проводится после работы автобусов на линии в вечернюю или ночную смену. Для автотранспортных средств, которые осуществляют междугородные перевозки, ЕО может проводиться в любую из трех смен. Для технологического карьерного автотранспорта, который осуществляет перевозки горной массы в течение суток, ЕО также проводится в любое время между смен.

К входным параметрам системы ежедневного технического обслуживания относится количество требований на ЕО, которое составляет суточную программу системы обслуживания. Характеристикой этого параметра является закон распределения поступлений требований на ЕО. Количество требований на ЕО, которое определяется суточной программой технической службы АТП, рассчитывается от списочного количества автомобилей

$$N_{eo}^c = (0,8 - 0,85) \cdot A_{cn}, \quad (1)$$

Под это максимальное количество ЕО должна быть рассчитана пропускная способность зоны ЕО. Однако на практике по различным причинам в зону ЕО заезжает всегда значительно меньшее количество автомобилей. Для достоверности количество требований на ЕО определяют по статистическим наблюдениям при проведении натурного эксперимента (рис. 1). Для чего проводится сборка информации о количестве проведенных ЕО за сутки на протяжении длительного периода от одного до нескольких месяцев. Обработка полученной информации позволяет определить показатели, приведенные ниже.

1. Математическое ожидание количества требований на ЕО для автомобилей заданного АТП

$$\overline{N}_{eo}^c = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^D N_{eoi}^c, \quad (2)$$

где  $D$  – количество дней наблюдения за работой зоны ЕО;  $N_{eoi}^c$  – количество ЕО, проведенных за  $i$ -ый день наблюдения.

2. Дисперсия количества ЕО (вероятная степень отклонения)

$$D_{eo} = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^D (N_{eoi}^c - \overline{N_{eo}^c})^2. \quad (3)$$

3. Среднее квадратичное отклонение количества ЕО

$$\delta_{eo} = \sqrt{D_{eo}}. \quad (4)$$

4. Коэффициент вариации

$$V = \frac{\delta_{eo}}{N_{eo}^c} \leq 0,25. \quad (5)$$

5. Интенсивность потока требований на ЕО (ЕО/час)

$$\lambda_{eo} = \frac{1}{N_{eo}^c}. \quad (6)$$

6. По многочисленным натурным экспериментам установлено, что количество требований на ЕО хорошо согласуется с нормальным законом распределения. Плотность распределения

$$f(t) = \frac{1}{\delta\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t-a)^2}{2\delta^2}}, \quad (7)$$

где  $a$  – математическое ожидание,  $\delta$  – среднее квадратичное отклонение,  $a > 0$ ,  $\delta > 0$ ,  $\delta/a < 0,25$ .

**Рис. 1.** Закон распределения количества требований на ЕО автомобилей

Для решения вопросов по организации ЕО автомобилей необходимо знать не только количество требований на ЕО и закон распределения количества ЕО, но и закон распределения времени поступления автомобилей в зону ЕО. Данные натурных экспериментов и теоретические кривые распределения отрезков времени между последовательными поступлениями автомобилей на ЕО свидетельствуют о хорошем согласовании с экспоненциальным законом распределения.

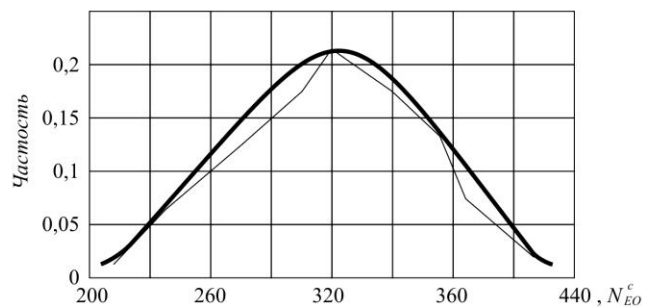
Во времени интенсивность потока может не оставаться постоянной. Например, интенсивность потока требований на обслуживание автомобилей днем меньшая, чем вечером. Естественно, что и организация обслуживания, которая есть оптимальной при дневной интенсивности потока требований, не будет оптимальной вечером. Поэтому для правильной организации обслуживания необходимо выделять периоды с приблизительно одинаковой интенсивностью потока и решать задания, которые возникают, для каждой группы периодов.

В условиях ОАО (ЗАО) АТП, СТО часто случаются потоки требований с ограниченным последствием. Это означает, что момент появления очередного требования зависит только от того, когда поступило предыдущее, и не зависит от того, как чередовались требования раньше, то есть влияние всего потока на момент появления очередного требования ограничено только последним требованием.

Промежутки времени между последовательными поступлениями требований – величины случайные. Для полного их описания нужно указать не только среднюю длительность промежутков, а и распределение их, то есть определить, как часто они приобретают те или иные числовые значения.

В качестве натурального эксперимента произведено моделирование для одного из ОАО, где в АТП в вечернее время на ЕО поступило 40 автомобилей. Промежутки времени между поступлениями автомобилей, были такие, мин.: 2, 17, 1, 10, 2, 3, 1, 1, 13, 4, 2, 1, 3, 8, 1, 2, 5, 10, 5, 14, 10, 5, 1, 6, 7, 1, 31, 5, 27, 17, 4, 5, 5, 1, 2, 1, 8, 1, 7, 8.

Выбираем трехминутный интервал времени и обозначаем через  $x_j$  и  $x_{j+1}$  начало и конец  $j$ -го интервала ( $j=1,2,\dots$ ). Определяем количество требований, которые припадают на каждый интервал, то есть частоту поступления требований в  $j$ -ом интервале ( $v_j$ ).



Если частоту  $v_j$  разделить на длительность интервала времени  $(x_{j+1} - x_j)$  и на общее количество заездов, которое равняется 40, то тогда получим относительную случайность в заданном интервале

$$f_j = v_j / [40(x_{j+1} - x_j)]. \quad (8)$$

Результаты расчетов:

|                                       |      |       |      |       |       |       |       |
|---------------------------------------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| Номер интервала                       | 1    | 2     | 3    | 4     | 5     | 6     | 7     |
| Границы интервала,<br>$x_{j+1} - x_j$ | 0-3  | 3-6   | 6-9  | 9-12  | 12-15 | 15-18 | 18-33 |
| Частота $v_j$                         | 16   | 9     | 6    | 2     | 2     | 2     | 2     |
| $f_j$                                 | 0,13 | 0,075 | 0,05 | 0,025 | 0,017 | 0,017 | 0,003 |

Используя эти значения, отложим на оси абсцисс границы интервалов, а на оси ординат – относительные частоты. Построим в этих координатах гистограмму  $f^*(x)$  по формуле  $f^*(x) = f_j$ ;  $x_j < x < x_{j+1}$  (рис. 2).

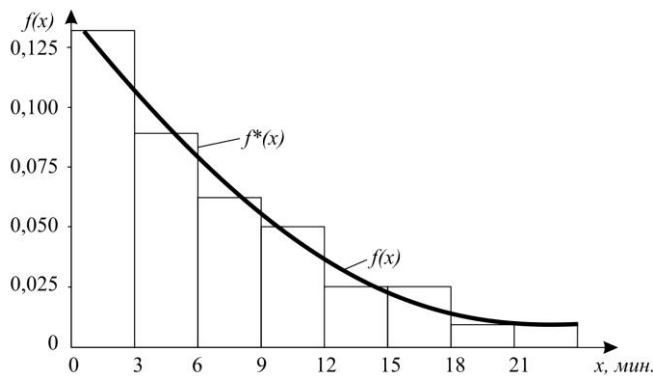


Рис. 2. Гистограмма  $f^*(x)$  и плотность распределения  $f(x)$  промежутков времени между поступлениями требований на ЕО автомобилей

Построенная гистограмма дает наглядное представление о распределении промежутков времени между поступлениями требований на ЕО. Ступенчатую кривую  $f^*(x)$  сгладим непрерывной кривой  $f(x)$ . При достаточно малом значении  $\Delta x$  площадь  $f(x)\Delta x$  равна вероятности того, что время между поступлениями требований лежит в интервале от  $x$  до  $(x + \Delta x)$ .

Функцию  $f(x)$  называют плотностью распределения рассматриваемой случайной величины. Она определяет закон распределения, поскольку показывает, с какой вероятностью эта величина принимает те или иные значения. В нашем примере гистограмма  $f^*(x)$  хорошо сглаживается экспоненциальной кривой. Это приводит к выводу, что промежутки времени между поступлениями автомобилей (требований) на ЕО имеет экспоненциальное распределение:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad (9)$$

где  $\lambda$  — параметр распределения, который равен среднему количеству требований, которые поступают на обслуживание за единицу времени.

В приведенном примере среднее время между поступлениями автомобилей на ЕО равно 6 минутам. Тогда интенсивность потока требований за единицу времени (одну минуту) составит:

$$\lambda = 1 / 6 \quad \text{и} \quad f(x) = 1 \cdot e^{-1/6} / 6. \quad (10)$$

Состояние системы ЕО автомобилей имеет такие характеристики: среднюю длительность обслуживания автомобиля; закон распределения времени обслуживания автомобиля; время ожидания обслуживания; приведенные затраты на техническое обслуживание/

Средняя длительность обслуживания автомобиля представляет собой отношение суммарного времени обслуживания к количеству автомобилей прошедших ЕО

$$\bar{t}_{eo}^c = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k t_{eoi}^c, \quad (11)$$

где  $k$  – количество автомобилей прошедших ЕО;  $t_{eoi}^c$  – время обслуживания ЕО  $i$ -го автомобиля.

Закон распределения времени обслуживания автомобилей определяют по данным статистических наблюдений. Этот закон достаточно полно отражает особенности организации системы обслуживания ЕО автомобилей на конкретном АТП. Часто время обслуживания (ЕО) автомобилей имеет нормальное распределение.

Среднее время ожидания обслуживания дает представление об организации системы обслуживания. Оно определяется по данным статистических наблюдений. Так как ежедневное обслуживание автомобилей является плановым видом обслуживания (не имеет случайного характера событий), то среднее время ожидания на практике приближается к минимальной величине от одной до пяти минут и зависит от метода организации проведения ЕО.

Приведенные затраты на ЕО. При выполнении ЕО приведенные затраты на одно обслуживание зависят от числа постов обслуживания, количества требований на обслуживание и определяются по формуле

$$PC(i) = \frac{C \cdot X_{eo} + m}{1 - P_o}, \quad (12)$$

где  $C = 50$  грн. – величина коэффициента затрат на ЕО;  $m$  – число заявок, нуждающихся в обслуживании;  $X_{eo}$  – число постов ЕО;  $P_o$  – вероятность простоя канала.

Величина коэффициента затрат определяется по формуле

$$C = \frac{C_{ПК} + E_H \cdot S_K / T_\Gamma}{C_{ПТ} + E_H \cdot S_T / T_\Gamma}, \quad (13)$$

где  $C_{ПК}$  – средние затраты при простое канала обслуживания в течение часа из-за несвоевременного поступления требования на обслуживание, грн.;  $C_{ПТ}$  – средние затраты содержания требования в течение часа, грн.;  $S_K, S_T$  – капитальные вложения соответственно на канал обслуживания и требование, грн.;  $T_\Gamma$  – годовой режим работы системы, ч.

В средние затраты на выполнение требования включены стоимость материалов и стоимость трудозатрат.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** С использованием разработанной методики моделирования объемов технического обслуживания, учитывающих условия эксплуатации и изменение технического состояния подвижного состава, определены оптимальные трудозатраты на ЕО, позволяющие повысить эксплуатационную надежность автомобилей.

#### Список литературы

1. **Баженов Ю.В.** Прогнозирование остаточного ресурса конструктивных элементов автомобилей в условиях эксплуатации / Ю.В. Баженов, М.Ю. Баженов // *Фундаментальные исследования*. – Пенза, 2015. – № 4 – С. 16-
2. **Бердников И.Е.** Особенности организации процесса мониторинга технического состояния технологических и транспортных машин / И.Е. Бердников, С.П. Озорнин // *Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: XIV Международная научно-практическая конференция: сб. ст. [в 3ч.] Часть III/ Забайкал. гос. ун-т.* – Чита, 2014. – 317 с. С 125-131.
3. **Булгаков Н.Ф.** Управление качеством профилактики АТС. Моделирование и оптимизация / Н.Ф. Булгаков, Ц.Ц. Бурхивев. // – Красноярск : КГТУ, 2002. – 164 с.
4. **Ершов Д. Ю.** Техническое диагностирование и методы контроля механических узлов в машиностроении / Д. Ю. Ершов // *Молодой ученый*. – 2013. – №4. – С. 62-64.
5. **Зорин В.А.** Основы работоспособности технических систем : Учебник / В.А. Зорин. // – М. : Магистр-Пресс, 2005. – 536 с.
6. **Кравченко В.А.** Обслуживание и ремонт автотранспортных средств / В.А. Кравченко, Р.И. Бутков. // – Зерноград : Азово-Черномор. инж. ин-т, 2015. – 339 с.
7. **Кузнецов Е.С.** Управление техническими системами Учеб. пособие / Е.С. Кузнецов. // – М.: МАДИ (ГТУ), 2003. – 247 с.
8. **Кутузов В.В.** Повышение эффективности эксплуатации строительных и дорожных машин с учетом изменения их технического состояния : дис. кандидата технич. наук / В.В. Кутузов // – Могилев, 2012. – 225 с.
9. **Макарова А.Н.** Методика оперативного корректирования нормативов периодичности технического обслуживания с учетом фактических условий эксплуатации автомобилей : дис. канд. техн. наук / А.Н. Макарова. // – Тюмень, 2015. – 208 с
10. **Озорнин С.П.** Основы работоспособности технических систем: Учеб. пособие / С.П. Озорнин. // – Чита : ЗабГУ, 2012. – 133 с.
11. **Федоськина Л.А.** Предприятия фирменного автосервиса: Назначения и функции сервисной поддержки автомобиля / А.Л. Федоськина, Е.Г. Щербакова, С.И. Ирышков // *Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева*. – Тольятти, 2011. – № 22. – С. 76-82
12. **Чебоксаров А. Н.** Совершенствование технических средств диагностирования двигателей силовых установок и гидроагрегатов дорожно-строительных машин: Дис. канд. техн. наук: от 05.05.04 / А.Н. Чебоксаров. // – Омск, 2011. – 173 с.
13. **Яшура А.И.** Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования : Справочник / А.И. Яшура. // – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 360 с.
14. **Latino M.A.** BehavioralBasedReliability [Электронный ресурс] / М.А. Latino // 2000 MachineryReliabilityConference. – Электронные текстовые данные. – 2000. – April. – Режим доступа: <http://reliability.com/industry/articles/article36.pdf>
15. **Бусыгин, Е.Н.** Использование сетевых графиков при планировании, подготовке и организации проведения ремонтов / Е.Н. Бусыгин, А.В. Напольских, А.Л. Блеч, А.Н. Рыбаков, Ю.Ю. Ушаков // *Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник докладов X междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека»/УГТУ.–Екатеринбург, 2012.–С. 358-362.*

16. Андреева Л. И. Оценка факторов, влияющих на эксплуатационные показатели карьерного автотранспорта / Л. И. Андреева, Ю.Ю. Ушаков // Мир дорог. Спецвыпуск. – 2016. – С. 62-64.
17. Фролова Л.В. Формирование бизнес-модели предприятия [Электронный ресурс]: учебник / Л.В. Фролова, Е.С. Кравченко. Электронные текстовые данные. – Киев: ЦУЛ, 2012. – 384 с. – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/5429943/>
18. Озорнин С.П. Технический сервис мобильных машин: Стратегия ситуационно-комбинированного обслуживания: монография / С.П. Озорнин. – Чита: ЧитГУ, 2004. – 250 с.
19. Озорнин С.П. Совершенствование организации мониторинга изменений технического состояния машин в эксплуатации: сб. научн. тр. / С.П. Озорнин, И.Е. Бердников // Вестник ЗабГУ – Чита, 2014. – Вып. 111. – С. 64-69
20. Макарова А.Н. Методика оперативного корректирования нормативов периодичности технического обслуживания с учетом фактических условий эксплуатации автомобилей: дис. канд. техн. наук / А.Н. Макарова. – Тюмень, 2015. – 208 с.
21. Ушаков Ю.Ю. Повышение эффективности системы технической эксплуатации карьерных автосамосвалов на горнодобывающих предприятиях // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XIII междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека»/УГГУ.–Екатеринбург, 2015. – С. 380-383.

Рукопись поступила в редакцию 21.08.2019

УДК 004.67

Д.І. КУЗНЕЦОВ, канд. техн. наук, доц., Л.С. РЯБЧИНА, асист.  
Криворізький національний університет

## ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА СИСТЕМ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

**Мета.** Метою роботи є аналіз існуючих методів та засобів передачі інформації у системах Інтернету речей та їх подальше удосконалення та стандартизація з точки зору безпеки. Зокрема використання гетерогенних пристроїв не дає можливості коректно протистояти кіберзагрозам, так як це пов'язано із тим, що архітектура Інтернету речей має складну будову, не є універсальною та потребує вивчення і удосконалення. Аналіз безпеки в IoT є важливим, так як кінцеві суб'єкти мають довіряти технології. Унікальність полягає в тому, що повинні відбуватися автентифікація, авторизація кінцевого обладнання, зберігання та обробка інформації, в тому числі і конфіденційної та критично важливою.

**Методи досліджень.** Під час вирішення наукової задачі було використано методи теоретичного дослідження, аналізу та синтезу.

**Наукова новизна.** Науковою новизною роботи є систематизація існуючих моделей та алгоритмів взаємодії вузлів мережі Інтернету речей та розробка концепції централізованого доступу до мережі Інтернет з підвищеними вимогами безпеки, що дозволяє вдосконалити процес автентифікації, авторизації та аудиту вузлів IoT.

**Практична значимість.** Використання отриманих результатів дає більш точну оцінку щодо існуючих методів та засобів у мережах типу Інтернет речей та дозволяє підвищити криптостійкість процесу обміну даними у вищезазначених системах. Досліджено основні ризики, яким може піддаватися мережа і сплановано засоби забезпечення безпеки, починаючи з проектування та закінчуючи інтеграцією всієї системи.

**Результати.** У статті розглянуто основні проблеми безпеки систем Інтернет речей та запропоновано рекомендації для зниження ризиків втрати і компрометування інформації, що обробляються вищезазначеними системами. Додатково було розглянуто основні поняття технології Інтернету речей, досліджено архітектуру та основні компоненти IoT. Приведено характеристики складових елементів. Також наведено рекомендації щодо управління цілісністю системи та шифрування конфіденційних даних з метою протидії їх компрометування.

**Ключові слова:** інтернет речей, інформаційна безпека, кібербезпека, автентифікація, авторизація, криптостійкість.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-80-84

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** На сьогоднішній день системи інтелектуального керування отримали достатньо широке розповсюдження у всіх сферах людського життя, від побуту до промисловості. Зважаючи на це збільшується й об'єм інформації у мережах передачі даних. Поряд із цим такі системи керування розвиваються доволі хаотично й не мають загальної стандартизації та їх розробники ще не приділяють багато уваги методам та способам захисту. Інформаційні системи типу IoT все ще мають

велику кількість недоліків, незважаючи на високу популярність і використання сучасних технологій при розробці.

Оскільки Інтернет речей включає в себе такі пристрої, що постійно збирають і обробляють інформацію про оточуюче середовище, то вони є потенційно небезпечними для кінцевого користувача. Зважаючи на зростання рівня кіберзлочинності особливу увагу слід приділяти саме таким пристроям, адже не тільки втрата даних є основною проблемою. Можливе також використання обчислювальних ресурсів систем у проектуванні різноманітних кібератак.

Недоліками даних систем є потреба у сучасних датчиках, контролерах, методах та способах передачі інформації тощо. Тому впровадження пристроїв IoT та вирішення найбільш поширених задач і проблем пов'язаних із ними є досить актуальним напрямом досліджень.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Інтернет речей або (IoT) - це система взаємопов'язаних обчислювальних пристроїв, механічних і цифрових машин, предметів, тварин або людей, яким надаються унікальні ідентифікатори та можливість передавати дані по мережі, не вимагаючи від людини взаємодії з людиною або людини з комп'ютером. Складовою частиною Інтернету речей є Індустріальний інтернет речей (IIoT). Також можна зазначити відносно новий термін: «Інтернет всього» (IoE), який потенційно може прийти на зміну Інтернету речей [1].

Через розширення областей застосування таких приладів як у повсякденному житті, так і у промисловості збільшується кількість загроз, що стосуються галузі кібербезпеки, та, відповідно з'являється все більше прецедентів несанкціонованого доступу. Такі проблеми існують в галузі через те, що ідея мережевих приладів та інших об'єктів є відносно новою, безпека не завжди вважалася першочерговим завданням на етапі проектування продукту.

Спираючись на дослідження «Uncovering IoT Threats in the Cybercrime Underground» від компанії Trend Micro можна сказати, що основною проблематикою безпеки приладів, що є підключеними до мережі Інтернет, є відсутність базового забезпечення безпеки [2]. Із вільним розповсюдженням розумних пристроїв збільшується кількість користувачів, що є звичайними користувачами і не мають досвіду роботи з безпекою Інтернет-пристроїв. Таким чином більшість паролів не змінюються власниками, а залишаються стандартними, що дає можливість отримати несанкціонований доступ та використовувати пристроїв у власних цілях, наприклад, для створення ботнетів чи здирництва.

**Постановка завдання.** Науковою задачею даних досліджень є забезпечення безпечного обміну інформацією між пристроями систем Інтернету речей та мережею Інтернет.

Задача є актуальною, оскільки процеси, за допомогою яких на сьогоднішній день передаються дані, у тому числі і критично важливі, є недостатньо захищеними. Таким чином, дослідження має за мету вивчення способів передачі, обробки і зберігання інформації, що використовується для керування системами управління й їх удосконалення з точки зору підвищених вимог безпеки.

**Викладення матеріалу та результати.** Важливими характеристиками для IoT є наступні: споживання енергії - багато пристроїв IoT не підключені до постійного джерела живлення. чим більше енергії використовується, тим вище ймовірність того, що пристрій перейде в режим офлайн;

швидкість - це обсяг даних, який можна передавати протягом певного періоду часу. збільшена пропускна здатність зменшує суперечки та дозволяє мережі додавати більше пристроїв;

затримка - це кількість часу, яке потрібно для надсилання та отримання повідомлень. для додатків у режимі реального часу це більше фактор;

безпека - якщо є чутливі з'єднання або передача чутливих даних - вони повинні бути захищені [3].

Загалом, число атак на пристрої IoT з кожним роком збільшується для використання у кіберзлочинних цілях. На рис.1 можна побачити динаміку змін числа атак на такі пристрої [4]. Згідно з розрахунками фахівців, в 2018 році кількість хакерських атак на інтернет речей потроїлася і досягла 32,7 млн. Очікується, що до 2020 року в світі буде налічуватися більш 31 млрд IoT-пристроїв, тому проблема їх безпеки стане ще більш важливою [5].

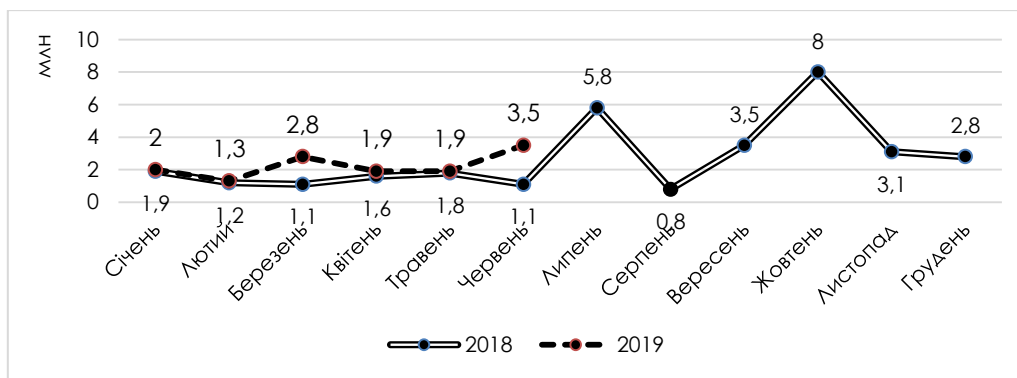


Рис.1. Динаміка числа атак на пристрої IoT

Якщо звернутися до рис. 2, то можна побачити, що зв'язок сенсорів/виконуючих пристроїв і керуючого центру відбувається за допомогою мережі Інтернет. Це дозволяє перенести обчислення і взаємодію складових до хмарних центрів. Але саме на цьому рівні дані і можуть бути компрометовані і сторонні особи можуть отримати інформацію про кінцеві пристрої. Саме через такі «діри» у безпеці можливе використання пристроїв IoT для організації DDoS-атак і у якості вузлів виходу VPN. Також цілями, у яких використовуються зламані пристрої IoT є побудова ботнетів і криптомайнерів на їх базі [2].

Варіантом обходу загроз такого виду є приведення систем до вигляду, представленого на рис. 3. Суміщення керуючого контролера із мережевим пристроєм, типу маршрутизатора, дозволяє не виводити кожен із пристроїв мережі за її межі. Також можливе використання програмного захисту від хакерських атак. Таким чином дані, що використовуються у системі можуть не передаватися у зовнішню мережу без необхідності, а при її наявності можуть бути зашифровані безпосередньо керуючим центром і передані ним же.

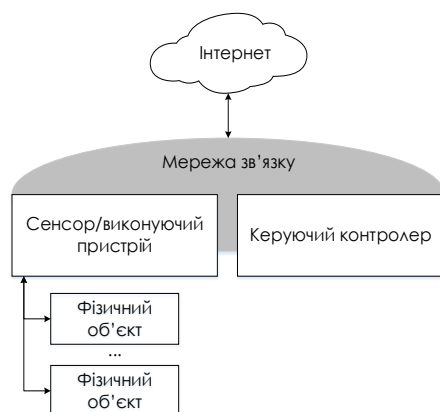


Рис.2. Стандартна модель взаємодії пристроїв IoT і мережі Інтернет



Рис.3. Суміщення керуючого центру і мережевого кордону

Такий спосіб має свої недоліки у тому, що дана архітектура може бути реалізована на базі одної локалізації системи. У випадку більшого географічного охоплення можна розширити запропоновану схему. Створення віртуальних приватних мереж допомагає вирішити такі питання. Таким чином географічно розкидані пристрої можна віртуально об'єднати в одну мережу і забезпечити виконання вищенаведеної схеми.

Слід звернути увагу на способи зберігання інформації. Дані, що збираються можуть бути конфіденційними, мати стратегічно важливий характер і їх втрата або компрометування нанесуть шкоду користувачам. Кожна складова системи IoT має збирати і використовувати лише ту інформацію, що є важливою саме для оброблюваного пристроєм аспекту.

Доцільним у системах Інтернету речей є наскрізне шифрування. При використанні такого методу ключі шифрування є відомими тільки пристроям-учасникам однієї системи [6]. У такому випадку, інформація може бути розшифрована тільки кінцевими пристроями і не буде доступна у відкритому вигляді третім сторонам (сторонні сервери, постачальник Інте-

рнет-послуг тощо). Є й недоліки такого методу захисту. Мережеві атаки із підміною чи перехоплення даних можуть видати третіх осіб за учасників інформаційного обміну.

Задля захисту від несанкціонованого втручання сторонніх осіб у IoT використовується така функція, як AAA(автентифікація, авторизація та аудит). AAA - це архітектурна база для налаштування набору з трьох незалежних функцій безпеки:

автентифікація - користувачі та адміністратори повинні довести, що вони є саме тими, якими вони повідомляють. Автентифікацію можна встановити, використовуючи комбінації імен користувача та пароля, питання виклику та відповіді, картки жетонів та інші методи. Автентифікація AAA забезпечує централізований спосіб контролю доступу до мережі;

авторизація – після автентифікації користувача служби авторизації визначають, до яких ресурсів користувач може отримати доступ та які операції користувачеві дозволено виконувати;

аудит – записує дії користувача, включаючи доступ до нього, кількість часу доступу до ресурсу та будь-які внесені зміни [7].

Такий метод використовується також у вищезазначених віртуальних приватних мережах, що можна застосовувати для «зближення» географічно віддалених пристроїв і централізованої обробки даних.

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Проведено аналіз та оцінку ризиків при використанні систем інтернету речей. Дані системи знаходяться на тісному стику системної інженерії та комп'ютерних мереж. Тому для подібних досліджень необхідним є як вивчення принципів роботи IoT-пристроїв, так і способів мережевого обміну даними.

Оскільки такі системи мають застосування у всіх сферах життя, безпека обміну даними має бути одним із найголовніших аспектів даної галузі. Використання IoT зумовлене розвитком автоматизації і є наступним кроком еволюції інформаційних технологій. Тому галузь все ще є недостатньо стандартизованою і потребує подальших досліджень.

Також можна зазначити, що централізовані пристрої, що суміщують у собі IoT-контролер та мережевий шлюз можуть мати широке застосування особливо у побутовому сегменті застосування Інтернету речей.

На основі отриманих результатів доцільно проводити дослідження в напрямку забезпечення інформаційної безпеки у мережах Інтернету речей, розвивати методи обміну інформацією та практично застосовувати такі способи.

#### Список літератури

1. **Rosencrance L.** Internet of things (IoT) [Електронний ресурс] / **L. Rosencrance, S. Sharon, I. Wigmore** – Режим доступу до ресурсу: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>.
2. The Internet of Things in the Cybercrime Underground / [**H. Stephen, K. Vladimir, M. Fernando** та ін.]. 2019. – 47с.
3. IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things, 2017. – 576 с.
4. 2019 SonicWall Cyber Threat Report, 2019.
5. Інтернет вещей стандартизуется. Блог Мачека Кранца (Maciej Kranz), вице-президента и генерального менеджера отдела корпоративных технологий компании Cisco [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.cisco.com/c/ru\\_ru/about/press/press-releases/2015/07-30a.html](https://www.cisco.com/c/ru_ru/about/press/press-releases/2015/07-30a.html).
6. **Васильев Г.** Интернет вещей и информационная безопасность / **Г. Васильев**. // Первая миля. – 2016. – №6. – С. 50–55.
7. CCNA Cybersecurity Operations Companion Guide, 2018. – 1010 с.
8. **Грингард С.** Интернет вещей: Будущее уже здесь / **Сэмюэл Грингард**. – Москва: Альпина Пабlishер, 2016. – 188 с.
9. **Полегенько А. М.** "Особенности защиты информации в Интернете вещей" International Journal of Open Information Technologies, том. 6, номер. 10, 2018, С. 41-45.
10. **McEwen A.** Designing the Internet of Things / **A. McEwen, H. Cassimally**. – Chichester: Wiley, 2014. – 338 с.
11. **Кузнецов Д. И.** Информационная система интеллектуального регулирования микроклимата жилых помещений / **Д. И. Кузнецов, А. И. Купин**. // Проблемы физики, математики и техники. – 2016. – №2. – С. 84–89.
12. **Апостолук В. О.** Интеллектуальные системы керування: конспект лекцій / **В. О. Апостолук, О. С. Апостолук**. – Київ: НТУУ «КПІ», 2008. – 88 с.
13. Структура мобильного робота для людей с ограниченными возможностями как части системы «Розумний дім» / **Л. С. Рябчина, Д. І. Кузнецов, Н. А. Моцун, О. В. Градовий**. // Гірничий вісник. – 2017. – №102. – С. 96–100.
14. **Evans D.** The Internet of things: How the next evolution of the Internet is changing everything / **D.Evans**. – San Jose: Cisco Press, 2011.
15. **Лоднева О. Н.** Анализ трафика устройств Интернета вещей / **О. Н. Лоднева, Е. П. Ромасевич**. // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2018. – №1. – С. 149–169.
16. Архитектура безопасности "Интернета вещей" [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/azure/iot-suite/iot-security-architecture>.

Рукопис подано до редакції 24.09.2019

УДК 004.451.25: [622.788: 621.867]

О. В. МИТРОФАНОВ, аспірант  
Криворізький національний університет

## КОМПЛЕКСНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ОБКОТИШІВ НА КОНВЕЄРНІЙ ВИПАЛЮВАЛЬНІЙ МАШИНІ

**Мета.** Розробка комплексної математичної моделі і вдосконалення методів, які спрямовані на підвищення ефективності дослідження процесу термічної обробки обкотишів на конвеєрній обпалювальній машині фабрики огрудування гірничо-збагачувального комбінату за рахунок керування газоповітряної потоками конвеєрної обпалювальної машини, що збільшує її продуктивність і скорочує енергетичні витрати.

**Методи досліджень.** Для визначення параметрів потоку газоповітряних потоків по технологічним зонам і по довжині КВМ, необхідних для термічного оброблення обкотишів, використовуючи систему рівнянь тепло - і масообміну в шарі обкотишів, теплообміну між теплоносієм газоповітряного потоку і конвеєрним візком із шаром обкотишів на ньому та газодинаміки, розроблена математична модель. Отримана модель дозволить виконати дослідження газоповітряних потоків технологічної установки.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає у розробці комплексної математичної моделі для дослідження термічного оброблення обкотишів у конвеєрній випалювальній машині при керуванні газоповітряними потоками

**Практична значимість.** Запропонована комплексна математична модель для дослідження термічного оброблення обкотишів у конвеєрній випалювальній машині, що дозволить підвищити енергоефективність роботи машини, за рахунок раціонального використання відпрацьованих газоповітряних потоків.

**Результати.** Представлена розроблена комплексна математична модель для дослідження термічного оброблення обкотишів у конвеєрній випалювальній машині, яка враховує одночасну роботу усіх технологічних зон. У моделі вхідними параметрами для кожної технологічної зони є виходи попередньої. Це дає можливість досліджувати термічне оброблення обкотишів при керуванні газоповітряними потоками у кожній технологічній зоні, виявити вплив їх на сусідні та по усій довжині машини. Комплексна математична модель термічного оброблення обкотишів включає рівняння тепло - і масообміну в шарі, теплообміну між теплоносієм газоповітряного потоку і конвеєрним візком із шаром обкотишів на ньому та газодинаміки.

**Ключові слова:** конвеєрна випалювальна машина, газоповітряні потоки, комплексна модель, математичний опис.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-84-89

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Сучасний етап розвитку конкурентоспроможного промислового виробництва залізорудних обкотишів характеризується використанням високоефективних технологій з необхідністю звести до мінімуму будь-які енергетичні втрати. Все це можливо тільки за умови істотного підвищення якості управління термічним обробленням обкотишів на конвеєрній випалювальній машині (КВМ). Зростаючі вимоги до управління технологічними режимами КВМ, що мають складний характер, обмежують застосування методів робастного і адаптивного управління так, як рішення має бути отримано в умовах неповноти інформації про динаміку термічного оброблення обкотишів і діючих на них збурень. Одним з напрямків вирішення завдання при обмеженій інформації про фізико-хімічні властивості обкотишів та характеристики газоповітряних потоків, що протікають по технологічним зонам і впливають на термічне оброблення обкотишів на КВМ, може стати застосування методів інтелектуального управління. Однак застосування методів інтелектуального управління, які використовують різні підходи штучного інтелекту, такі як штучні нейронні мережі, нечітка логіка, машинне навчання, еволюційні обчислення або генетичні алгоритми, для систем управління термічним обробленням обкотишів практично не досліджено.

Підвищення економічної ефективності роботи КВМ може досягатися шляхом зниження собівартості випалюваних обкотишів за рахунок зниження енерговитрат. Основним енергетичними витратами при обробленні обкотишів на КВМ є використання газового палива і електричної енергії. Одним із можливих шляхів зниження витрат газового палива може бути раціональне використання відпрацьованих газоповітряних потоків і перерозподіл їх у продовж технологічних зон КВМ, а також раціональне управління димотягами. Враховуючи, що в процесі термічного оброблення обкотишів на КВМ важливу роль відводиться спалюванню газу і розподілу газоповітряного потоку по технологічним зонам, то механізм рішення даної задачі знаходиться на цій технологічній стадії. Тому розробка високоефективних методів дослідження термічного оброблення обкотишів у КВМ із керуванням газоповітряних потоків, здатних забезпечити ви-

рішення перерахованих завдань, компенсувати наслідки впливу нестаціонарних і / або невизначених факторів і збурень, є досить актуальною проблемою, яка має наукове і практичне значення.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Вітчизняними та зарубіжними вченими присвячена значна кількість робіт, у яких представлені експериментальні та теоретичні дослідження процесів термічного оброблення обкотишів на КВМ [1-9]. Головним недоліком існуючих методів, розробок та технологічних рішень, є не можливість досліджувати розподіл і вплив газоповітряних потоків на термічне оброблення обкотишів, особливо по всій довжині КВМ.

Для дослідження процесів термічного оброблення обкотишів у наукових роботах авторами запропоновані різні математичні моделі, які описують тепло- та масообмінні процеси при термічній обробці обкотишів, визначені головні залежності між параметрами процесу, показниками роботи КВМ та фізико-хімічного складу сирих обкотишів [10-18]. Проте відомі моделі не дозволяють досліджувати у повній мірі протікання у КВМ технологічних процесів. Математичні моделі дослідники використовують для дослідження окремих технологічних зон КВМ. У більшості надаються матеріали, в яких досліджуються зони сушіння, випалювання або охолодження. Комплексного підходу для побудови загальної математичної моделі для усіх одночасно працюючих технологічних зон автори в наукових роботах не розглядають. Удосконалення технологічного процесу випалювання обкотишів можливе за допомогою визначення в режимі on-line кількості хімічних мікроелементів, що входять у склад сирих обкотишів і впливають на температурні поля шару обкотишів та газоповітряні потоки, змінюючи їх вологість у технологічних зонах КВМ [19]. Задача вирішується за рахунок того, що спосіб управління включає використання керуючих впливів математичної моделі процесу, алгоритмів адаптації математичної моделі на поточний процес і алгоритмів оптимізації процесу термічного оброблення обкотишів, і в якому контролюють гранулометричний склад, насипну масу, хімічний склад і витрати сирих обкотишів і оперативно компенсують їх коливання. Згідно з дослідженням, під час виконання випалювання обкотишів у режимі реального часу авторами запропоновано проводити експрес-аналіз якості обкотишів шляхом здійснювати одночасно інфрачервону термографію, за допомогою якої визначають температурне поле шару та вологість обкотишів у кожній технологічній зоні КВМ, і атомно-емісійну спектроскопію, за допомогою якої визначають кількість в обкотишах хімічних мікроелементів Fe, Ca, O, Si, S, C, H тощо та їх співвідношення. У функції від кількості мікроелементів мінімізують енергоспоживання на виготовлення обкотишів. Практична реалізація цього способу потребує значних фінансових затрат і вимагає спеціальних умов для установки такого обладнання. В іншій роботі [20] запропоновано використання математичної моделі, яка включає повний опис кінетики, що протікають у шарі обкотишів при виконанні технологічних процесів сушіння, нагрівання, зміни фізико-хімічних процесів і зміцнення, забезпечуючи тим самим оптимальне управління процесом виготовлення обкотишів різного призначення. Ідея способу полягає у додатковому безперервному введенні в математичну модель інформації про вагу конвеєрного візка з обкотишами. Для цього у кожній технологічній зоні КВМ використовуються з'єднані тензорезистори і термокомпенсатори за мостовою схемою на балці під колією підкладки. Модель дозволяє визначати газоповітряний динамічний режим, що впливає на шар обкотишів, мінімізувати енергетичні витрати на термічне оброблення обкотишів та забезпечити потрібну їх якість і максимальну продуктивність роботи КВМ. Запропонована модель не враховує вплив газоповітряного потоку на процес випалювання обкотишів, як у кожній технологічній зоні, так і в цілому по КВМ. Як показано у роботах [21-24], використання математичних моделей дозволяє досліджувати падіння тиску потоку в щільному шарі за висотою та зміною радіусу обкотишів. У наведених моделях не враховуються вплив і перерозподіл параметрів газоповітряних потоків за технологічними зонами і вздовж усієї КВМ. Не визначення цих параметрів погіршує якість термічного процесу виготовлення обкотишів. Представлені результати досліджень математичних моделей у цих наукових працях не дозволяють розробити технічні рішення, що покликані забезпечити поліпшення газодинамічних характеристик у шарі. У найбільш сучасних дослідженнях використовують прогнозуючі ANFIS-моделі [25-28] для керування температурним режимом процесу випалювання обкотишів. Проте, відомі моделі не дають повного математичного опису про розподіл газоповітряного потоку по зонам КВМ.

Таким чином, як показали наукові дослідження і виконаний аналіз наукової і патентної літератури, математичне моделювання теплових, газоповітряних потоків і фізико-хімічних

процесів у технології термічного виготовлення обкотишів складуть наукову базу для створення інноваційної комплексної математичної моделі для дослідження термічного оброблення обкотишів на КВМ. Реалізація теплових режимів на новій моделі керування КВМ і її тривала експлуатація в часі зі збереженням високих техніко-економічних і екологічних показників виробництва буде характеризувати нову технологію, як передову на сучасному етапі розвитку виробництва випалених обкотишів.

**Постановка завдання.** Науковою задачею виконуваних досліджень є розроблення математичної моделі та вдосконалення методів, спрямованих на підвищення ефективності дослідження процесу термічного оброблення обкотишів у КВМ на фабриках обґрунтування гірничо-збагачувальних комбінатах за рахунок керування газоповітряними потоками КВМ, що збільшує її продуктивність й скорочує енергетичні витрати. Використовуючи досвід експлуатації сучасних КВМ і систему рівнянь тепло - і масообміну в шарі обкотишів, теплообміну між теплоносієм газоповітряного потоку і конвеєрним візком із шаром обкотишів на ньому та газодинаміки, розробити комплексну математичну модель, яка дозволить виконувати дослідження впливу газоповітряних мас на термічне оброблення обкотишів на КВМ з урахуванням одночасної дії газоповітряних потоків, як по окремим технологічним зонам і впродовж усієї довжини машини.

**Викладення матеріалу та результати.** У даний час відомо безліч математичних моделей термічного оброблення обкотишів, які дозволяють досліджувати і оптимізувати як різні режими процесу термічної обробки обкотишів, так і роботу його електроприводів вентиляторів і димотягів, а також окремих вузлів і агрегатів. При цьому більшість досліджень виконується на моделях, які містять одну технологічну зону або електропривод і описуються системами звичайних нелінійних диференціальних рівнянь, що дозволяють з достатньою точністю описати теплові та газоповітряні потоки, що впливають на випалювання обкотишів, або визначити електромагнітні процеси в двигунах. Проте склад вхідних впливів представляється обмежений. В останньому випадку є можливість досліджувати теплові процеси, що діють у технологічних зонах, а також коливальні процеси, які можуть впливати на роботу цієї зони і приводити як до додаткових витрат енергоносіїв при виготовленні обкотишів, так і до можливих порушень протікання технологічного процесу. Однак в процесі руху конвеєрних візків обкотиші відчують більш складні коливальні рухи, які обумовлені зміною параметрів температур їх нагріву, нерівностями висоти і пористістю шару обкотишів, їх фізико-хімічними властивостями. При цьому, у ділянки КВМ, що працюють під розрідженням, надходять підсосі атмосферного повітря, а ділянки, що знаходяться під тиском втрачають частину теплоносія. Наявні в шарах обкотишів температурні коливання від зони до зони, зменшують вплив динамічних зусиль і не забезпечують більш якісне виробництво обкотишів. Проте врахування дії цих збурень все одно призводить до того, що не враховується температурний режим попередніх зон і приходять до значних коливань температур, як над шаром обкотишів, так і середині нього під час руху конвеєрних візків. При цьому, кожен вид коливань може проявлятися окремо або спільно з іншими видами коливань. У зв'язку з цим, комплексна математична модель повинна, поряд із зонними коливаннями, враховувати і інші види коливань, що впливають при виготовленні обкотишів. Крім того, комплексна математична модель повинна включати в себе змінні, які характеризують і окремі параметри технологічних зон, а також параметри фізико-хімічного складу самих обкотишів і висоти та прозорість шару обкотишів, його складових частин і, особливо параметри газоповітряних потоків, що змінюються при взаємодії з шаром обкотишів у процесі руху конвеєрних візків. Це, в свою чергу, дасть можливість на комплексній математичній моделі паралельно досліджувати вплив температури газоповітряного потоку що діють на шар обкотишів, встановити причини появи коливань, їх характер і взаємний вплив, а також вплив коливань на термічні процеси в кожній технологічній зоні, визначати закони оптимального управління, для вирішення завдань оптимізації витрат енергоносіїв, а також визначати умови стійкого і якісного виробництва обкотишів при максимальній продуктивності роботи КВМ. Крім цього, комплексна математична модель дозволить проводити описані вище дослідження не тільки на різних швидкостях руху конвеєрних візків, які прийняті для кожного типу КВМ. але і на швидкостях властивих при їх збільшенні, що можливо забезпечить збільшення продуктивності КВМ. Це дозволить уточнити, для підвищених швидкостей руху конвеєрних візків, результати досліджень послідовної роботи технологічних зон, процесів термічної обробки, а також коливань

параметрів обкотишів. Останнє, є особливо актуальним, у зв'язку з тим, що коливання параметрів обкотишів безпосередньо залежать, з одного боку, від їх фізико-хімічного складу, тому що зі збільшенням швидкостей руху конвеєрних візків потрібно збільшувати амплітуду і частота коливань параметрів газоповітряного потоку, а з іншого боку, від збільшення швидкостей руху конвеєрних візків суттєво залежить якість випалюваних обкотишів і продуктивність КВМ.

Враховуючи досвід експлуатації КВМ розроблена комплексна математична модель для дослідження термічного оброблення обкотишів на КВМ, яка представлена на рис.1. Модель дає можливість визначити газоповітряних потоків у кожній технологічній зоні та виявити вплив їх на сусідні.

Математична модель є з розподіленими параметрами і розроблена для КВМ з урахуванням наступних технологічних зон: сушіння 1 і 2, попереднього нагрівання, випалювання 1 і 2, рекуперації та сушіння 1 і 2. Вхідними параметрами для кожної технологічної зони є виходи попередньої. Проте для першої зони сушіння 1 вхідними сигналами є волога і висота шару сирих обкотишів, тиск газоповітряного потоку із зони охолодження 2, швидкість конвеєрних візків і основність обкотишів. Вихідними сигналами для цієї зони є температура газоповітряного потоку над шаром обкотишів, волога і висота шару обкотишів. Для зони сушіння 2 і попереднього нагрівання додатковим вхідним сигналом є тиск газоповітряного потоку із зони випалювання 2, а вихідні сигнали такі, як у зони сушіння 1. Зони попереднього нагрівання, випалювання 1 і 2 мають вихідні сигнали, які визначають температуру газоповітряного потоку над шаром обкотишів, питомі витрати палива і масу шару обкотишів. Додатковим вихідним сигналом зони випалювання 2 є температура газоповітряного потоку на виході шару обкотишів. Для зон випалювання 1 і 2, рекуперації, сушіння 1 і 2 вихідними сигналами є температура газоповітряного потоку над шаром обкотишів і маса шару обкотишів. Окрім цього з виходу зони сушіння 1 під тиском газоповітряний потік подається на води зон випалювання 1 і 2 та рекуперації. У зони сушіння 1 і 2 вентиляторами 1 і 2 відповідно подається атмосферне повітря, тиск якого є вхідними сигналами для цих зон.

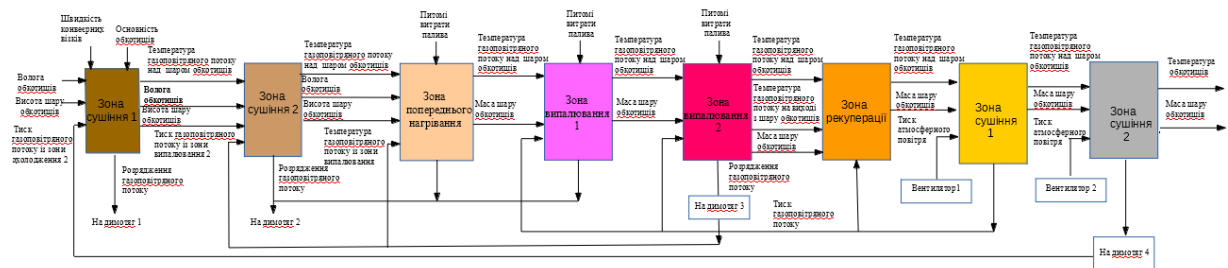


Рис. 1. Комплексна математична модель для дослідження термічного оброблення обкотишів на КВМ

Математична модель термічного оброблення обкотишів включає рівняння тепло - і масообміну в шарі, теплообміну між теплоносієм газоповітряного потоку і конвеєрним візком із шаром обкотишів на ньому та газодинаміки. Система диференціальних рівнянь теплообміну в шарі обкотишів має вид

$$\begin{cases} -G_{sg} \left[ (C_{sg} + C_{H_2O}) \frac{dt_g}{dy} + C_{H_2O} (t_g - t_M) \frac{dV_g}{dy} \right] = \frac{a_v}{m} (t_g - t_M); \\ \rho_{sch} (1 - \varepsilon) \left[ C_{sch} + V_{ok} C_{vl} - r_n \left( \frac{dV_{ok}}{s_{t_M}} \right) \right] \left( \frac{dt_M}{d\tau} \right) = \left( \frac{a_v}{m} \right) (t_g - t_M); \\ G_{sg} \left( \frac{dV_g}{dy} \right) = -(\rho_{sch}) \left( \frac{db}{d\tau} \right), \end{cases}$$

де  $G_{sg}$  і  $C_{sg}$  – відповідно питомі витрати і теплоємність сухого газу;  $C_{H_2O}$  – питома теплоємність водяних парів;  $V_g$  – волога газу;  $V_{ok}$  – волога обкотишів;  $V_{ok} = f(t_M)$ ;  $a_v$  – об'ємний коефіцієнт,  $a_v = NU\lambda_g/d[6(1 - \varepsilon)/d]$ ;  $\tau$  – тривалість випалювання;  $r_n$  – теплота випаровування води,  $r_n = 595 - 0,55t_{ns}$ ;  $t_{ns}$  – температура насичення;  $m$  – коефіцієнт масивності,  $m = 1 - \frac{1}{5} \left( \frac{a_f d}{2\lambda_M} \right)$ .

При теплообміні між газоповітряним потоком і конвеєрним візком із шаром обкотишів на ньому температура газоповітряного потоку на виході технологічної зони визначається наступним чином

$$t_g^{ex} = t_g^{ex} - \left[ \frac{C_m(t_m - t_n)}{w_g C_{sg} \rho \Delta \tau} \right],$$

де  $t_g^{ex}$  і  $t_g^{вх}$  – відповідно вхідна і вихідна температури газоповітряного потоку;  $t_n$  – початкова температури конвеєрного візка;  $C_{sg} \rho$  – теплоємність газоповітряного потоку, що проходить через шар обкотишів і конвеєрний візок.

Рівняння газодинаміки визначає падіння тиску по довжені технологічної зони  $\Delta p_i$ , що визначається сумою падінь тисків на елементарних дільницях по висоті шару обкотишів і падінням тиску на колосниках конвеєрного візка

$$\Delta p_s(z) = \int_0^y \Delta p(z) + \Delta p_k(z).$$

**Висновки.** Представлені у статті матеріали є результатом розроблення комплексної математичної моделі та вдосконалення методів, спрямованих на підвищення ефективності дослідження процесу термічного оброблення обкотишів у КВМ на фабриках обґрунтування гірничо-збагачувальних комбінатах. Модель дозволяє досліджувати термічне оброблення обкотишів з урахуванням одночасної дії газоповітряних потоків, як по окремим технологічним зонам і впродовж усієї довжини машини. Керування газоповітряними потоками КВМ збільшує її продуктивність й скорочує енергетичні витрати. Представлена система рівнянь тепло- і масообміну в шарі обкотишів, теплообміну між теплоносієм газоповітряного потоку і конвеєрним візком із шаром обкотишів на ньому та газодинаміки складає математичне забезпечення для комплексної моделі. Запропонована комплексна математична модель можуть бути використані при комп'ютерному моделюванні, розробці та експлуатації КВМ на промислових підприємствах, що дозволить підвищити енергоефективність її роботи.

#### Список літератури

1. Оптимизация работы тракта эксгаустера обжиговой машины ОК-108 АО ССГПО для увеличения производства окатышей [Текст] / А. А. Буткарев [и др.] // Сталь. - 2015. - № 3. - С. 12-15 : - (Доменное производство).
2. Отработка технологических режимов термообработки окатышей на модернизированной обжиговой машине ОК-124 [Текст] / А. А. Буткарев [и др.] // Сталь. - 2010. - N 3. - С. 16-19 : - ISSN 0038-920X.
3. **Лобов В.Й.** Синтез модального регулятора для процесу випалу обкотишів у конвеєрній печі фабрики огрудування / **Лобов В.Й., Нескоромна М. В.** // Вісник Криворізького національного університету. - 2016. вип. 42, - С.222-226. Режим доступу до журн.: <http://visnykknpu.com.ua/wp-content/uploads/file/Visnyk42.pdf>
4. Особенности практического использования методологии ВНИИМТ для оптимизации теплотехнических схем обжиговых конвейерных машин [Текст] / Буткарев А. А. // Металлург. - 2011. - N 4. - С. 38-43. ISSN 0026-0827.
5. О роли зоны тепловой инерции при термообработке окатышей на обжиговых конвейерных машинах [Текст] / **Б.А. Боковиков, В. В. Брагин, В. С. Швыдкий** // Сталь. - 2014. - № 8. - С. 43-48.
6. Теплофизические закономерности в основе инновационной теплотехнической схемы обжиговой машины МОК-1-592 [Текст] / А. А. Лавриненко [и др.] // Сталь. - 2017. - № 12. - С. 6-12.
7. **Lobov V.I.** The research of the process of iron ore pellets layer heat treatment in the combustion chamber of a belt kiln / **Lobov V.I., Kotliar M.A.** // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. - 2015. - No 3, p. 131-136. Режим доступу до журн.: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/component/jdownloads/finish/54-03/8329-2015-03-lobov/0>
8. **Лобов В.Й., Лобова К.В.** Нечітке управління режимом термічної обробки залізрудних котунів на конвеєрній машині / Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. праць. Вип. 34. – Маріуполь: ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», 2017. – С. 182-191 – (Технічні науки). Режим доступу до журн.: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/13818>
9. **Lobov V.** Investigation of temperature distribution along the height of the layer of pellets on conveyor roasting machine. **Lobov V., Lobova K., Koltiar** // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – No 4, p. 34-38. Режим доступу до журн.: [http://www.metaljournal.com.ua/assets/MMI\\_2014\\_6/MMI\\_2015\\_4/005-Lobova.pdf](http://www.metaljournal.com.ua/assets/MMI_2014_6/MMI_2015_4/005-Lobova.pdf)
10. Математическая модель обжиговой конвейерной машины как инструмент для оптимизации тепловой схемы агрегата / **Боковиков Б. А., Брагин В. В., Малкин В. М. и др.** // Сталь. 2010. № 9. С. 84–87.
11. **Спирин Н. А., Лавров В. В., Рыболовлев В. Ю.** Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2014. 558 с.
12. **Пирматов Д. С.** Математическая модель тепловой обработки окатышей в обжиговой машине // Сборник трудов всероссийской конференции: Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве НТ – 2010. Воронеж, 2010. С. 88–89.
13. **Мных А. С.** Исследование сегрегации гранул по высоте слоя обеспечивающей исключение неравномерной тепловой обработки окатышей // Збірник наукових праць ДДТУ. 2015. № 2 (27). С. 148–153

14. **Lobov V.I.** Temperature distribution model of the iron ore pellets layer inside the combustion chamber of the belt kiln burning zone / **Lobov V.I., Kotliar M.O.** // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. - 2015. - No 2, p. p. 109-117. Режим доступу до журн.: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/component/jdownloads/finish/53-02/8301-2015-02-lobov/0>
15. Математическая модель процесса обжига рудугольных окатышей на конвейерной машине / **Швыдкий В. С., Ярошенко Ю. Г., Спирин Н. А., Лавров В. В.** // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2017. Т. 60, № 4. С. 329–335. doi: <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2017-4-329-335>
16. **Barati M.** Dynamic simulation of pellet induration process in straight-grate system // *International Journal of Mineral Processing*. 2008. Vol. 89, Issue 1-4. P. 30–39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2008.09.008>
17. **Кривонос В. А., Пирматов Д. С.** Математическая модель процесса обжига окатышей по зонам обжиговой машины для оптимизации режима // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2010. № 5. С. 128–132.
18. **Panic B., Janiszewski K.** Model investigations 3D of gas-powder two phase flow in descending packed bed in metallurgical shaft furnaces // *Metalurgija*. 2014. Vol. 53, Issue 3. P. 331–334.
19. Патент № 109810 Україна. МПК C22B 1/02 (2006.01), G01N 21/00. Спосіб керування процесом випалювання котунів на конвеєрній машині / **Лобов В.Й., Лобова К.В., Кривенко Т.А.**; заявник і патентовласник ДВНЗ «Криворізький національний університет». - № u201601988; заявл. 29.02.2016; 12.09.2016, Бюл. №17.
20. Патент № 118787 Україна. МПК C22B F27 B G01G19/22 (2006/01). Спосіб керування процесом випалювання котунів на конвеєрній машині / **Лобов В.Й., Лобова К.В., Кривенко Т.А.**; заявник і патентовласник ДВНЗ «Криворізький національний університет». - № a201610043; заявл. 03.10.2018; 11.03.2019, Бюл. № 5.
21. **Абзалов, В. М.** Газодинамика слоя сырых окатышей на обжиговой машине/ **В.М. Абзалов, В.И. Клейн, В.Н. Леушин, С.В. Шаврин** // *Сталь*. - 2003. - №1. - С. 17-20
22. **Кривонос В. А.** Контроль температуры окатышей по зонам обжиговой машины. // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2011. - №8. С. 189-194
23. **Буткарев А. А.** Исследование и совершенствование процесса управления термообработкой окатышей на обжиговых конвейерных машинах / **А. А. Буткарев** // *Сталь*. - 2011 - № 5. - С. 4-8.
24. **Мізерний В.М.** Аналіз стаціонарних режимів теплообмінних процесів у дисперсному шарі / **В.М. Мізерний, Т.А. Модебадзе** // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. - 2006. - № 4. - С. 82–102.
25. **Neskoromna M.V.** Modeling of iron-ore pellet firing in a conveyor-type kiln at pelletizing plant / **M.V. Neskoromna** // *Widening our horizons*. - 2016. - P. 42. 7
26. **Zade L. A.** “The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning”, *Information Sciences*, part 1, 2, 3, n. 8 pp.199-249, pp.301-357, n. 9 pp. 43-80.
27. Прикладні нечіткі системи: Переклад з япон./**К. Асаї, Д. Ватада, С. Іваї та ін;** під ред. **Т. Тера, К. Асаї, М. Сугено**. - М.: Світ, 1993.
28. **Рубан С.А., Лобов В.Й.** Розробка принципів керування температурним режимом процесу випалювання котунів з використанням прогноуючих ANFIS-моделей [Текст] // *Радіоелектроніка. Інформатика. Управління*. - 2008. - С. 69-74.

Рукопис подано до редакції 25.09.2019

УДК [658.562:622.7.016]: 66.085.3

Д. В. ШВЕЦ, ст. преподаватель  
Криворожский национальный университет

## КОНТРОЛЬ ХИМИКО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ ПРИ ПОМОЩИ УЧЕТА ИНТЕНСИВНОСТИ ПОГЛОЩЕННОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

**Цель.** Усовершенствование существующего ядернофизического метода контроля содержания общего железа в железной руде и продуктах переработки для повышения его точности в области высоких содержаний полезного компонента. Проведение экспериментальных исследований для определения зависимостей интенсивности рассеянного, поглощенного и интегрального гамма-излучения от содержания полезного компонента в железной руде.

**Метод.** Предложена модификация существующего ядернофизического метода, основанного на регистрации интенсивности рассеянного гамма-излучения (комптоновского рассеяния).

**Научная новизна.** Впервые предложено при анализе качества железорудных проб гамма-методом контролировать как интенсивность комптоновского рассеяния, так и учитывать количество поглощенных гамма-квантов (фотоэффект) в процессе облучения горной массы источником гамма-квантов.

**Практическая значимость.** Традиционный метод контроля с учетом интенсивности комптоновского рассеяния демонстрирует недостаточную точность при анализе качества богатых железных руд и продуктов переработки. Разработанный метод позволяет повысить точность измерения содержания общего железа в рудных пробах в облас-

ти высоких содержаний железа, что обусловлено высокой вероятностью возникновения фотоэффекта при повышении эффективного атомного номера исследуемой среды. Применение полученных результатов даст возможность повысить точность контроля качества железорудного сырья и продуктов переработки в условиях рудообогатительных фабрик, позволит стабилизировать качество концентрата, а также увеличит производительность металлургического производства.

**Результаты.** Разработан метод ядернофизического контроля качества минерального сырья, позволяющий уменьшить погрешность при определении содержания полезного компонента в железной руде с высоким содержанием металла. Предложена функциональная схема и реализована установка для определения содержания общего железа в железорудных пробах с использованием модифицированного ядернофизического метода, основанного на учете интенсивности поглощенного пробой гамма-излучения. Разработана методика проведения эксперимента для сравнения ядернофизических методов, основанных на регистрации комптоновского рассеяния и учета фотоэффекта. Осуществлены экспериментальные исследования, определены зависимости интенсивности рассеянного, поглощенного и интегрального гамма-излучения от содержания полезного компонента в железной руде, получены соответствующие аналитические выражения.

**Ключевые слова:** железная руда, комптоновское рассеяние, фотоэффект, гамма-излучение, оперативный контроль.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-89-96

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

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

Стабилизация параметров качества железорудного сырья является одной из наиболее актуальных задач.

Содержание железа в концентрате является одним из наиболее важных параметров для металлургического производства. Согласно данным [2], повышение содержания железа в руде на 1% увеличивает производительность доменного производства на 4-5% и снижает расход кокса на 1-3%.

**Анализ исследований и публикаций.** Контроль качества железорудного сырья традиционно осуществляется при помощи ядернофизических [3-8], магнитометрических [9-12] и ультразвуковых методов [13-15].

Следует отметить, что магнитометрический метод позволяет определять содержание только магнитного железа в исследуемой горной массе. Ультразвуковые методы контроля, основанные на измерениях процессов распространения ультразвуковых объемных и поверхностных волн, а также высокоэнергетического ультразвука, широко применяются в горном производстве. Однако, ультразвуковой контроль затруднительно использовать для контроля содержания железа в твердых средах.

Для контроля содержания общего железа традиционно применяется ядернофизический метод, основанный на регистрации рассеянных гамма-квантов (т.н. комптоновское рассеяние) [16,17]. Однако данный метод показывает хорошие результаты в зоне низких содержаний железа в рудном материале, в то время как точность измерений проб с высоким содержанием полезного компонента значительно уменьшается. В связи с этим представляется целесообразным модифицировать существующий метод для учета показателей интенсивности поглощенного исследуемой пробой гамма-излучения, дающего большую информативность в зоне высоких содержаний железа.

**Постановка задания.** Ядернофизический метод контроля содержания железа в рудном материале, основанный на регистрации рассеянных гамма-квантов, является одним из наиболее перспективных, однако обладает недостаточной точностью. Целью экспериментальных исследований является усовершенствование данного ядернофизического метода для уменьшения погрешности измерений.

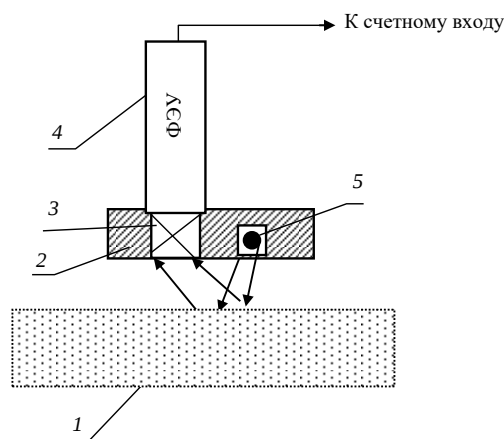
Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

определить зависимость интенсивности рассеянного, поглощенного и интегрального гамма-излучения от содержания полезного компонента в железной руде;

разработать метод ядернофизического контроля, позволяющий уменьшить погрешность при определении содержания полезного компонента в железной руде.

**Изложение материала и результаты.** При использовании ядернофизического метода, основанного на комптоновском рассеянии, гамма-кванты с начальной энергией  $E_0$  испускаются источником гамма-излучения 5 и попадают на горную массу 1 (рис.1). Часть гамма-квантов отражается от поверхности горной массы и рассеивается под определенным углом, зависящим от используемого источника гамма-излучения. При взаимодействии гамма-кванта с веществом часть его энергии поглощается, и данный квант выходит из поглотителя с энергией, меньшей на величину поглощенной энергии ( $E_{\text{погл}}$ ). Рассеянные гамма-кванты регистрируются монокристаллом NaI 3, превращаясь в световую энергию. Яркость и длительность вспышки зависит от энергии гамма-кванта. При помощи детектора 4 вспышки превращаются в электрические импульсы, количество которых определяется счетным устройством. По предварительно установленным зависимостям на основе количества зарегистрированных импульсов определяется содержание железа в горной массе.

**Рис. 1.** Геометрия взаимодействия гамма-излучения с горными породами: 1 – горная порода; 2 – свинцовая защита от источника излучения; 3 – монокристалл NaI; 4 – детектор (фотоэлектронный умножитель); 5 – источник излучения ( $\text{Am} - 241$ )



Однако поскольку размер монокристалла датчика намного меньше облучаемой площади материала, то количество рассеянных гамма-квантов, зарегистрированных датчиком, составляет примерно 10-15 % от потока рассеянного гамма-излучения. Это обуславливает значительное число неучтенных рассеянных частиц, что приводит к погрешностям определения содержания полезного компонента в облучаемом материале. Увеличение площади монокристалла экономически нецелесообразно, а также делает установку более громоздкой и усложняет ее эксплуатацию.

В связи с этим, для повышения точности описанного метода принимается гипотеза о целесообразности учета не только комптоновского рассеяния гамма-квантов ( $E_{\text{расс}}$ ), но также и поглощенных веществом частиц (фотоэффект,  $E_{\text{погл}}$ ) и прошедших сквозь слой вещества гамма-квантов ( $E_{\text{прош}}$ ).

Согласно закону сохранения энергии, энергию рассеянного гамма-кванта можно определить, как

$$N_0 = N_{\text{расс}} + N_{\text{погл}} + N_{\text{прош}}, \quad (1)$$

где  $N_0$  – количество излученных источником гамма-квантов;  $N_{\text{расс}}$  – количество рассеянных веществом гамма-квантов;  $N_{\text{погл}}$  – количество поглощенных веществом гамма-квантов;  $N_{\text{прош}}$  – количество прошедших сквозь слой вещества гамма-квантов.

Значение энергии первичных гамма-квантов  $E_0$ , испускаемых источником, определяется экспериментально: источник частиц устанавливают напротив детектора и регистрируют мощность излучения за единицу времени.

В свою очередь, мощность зарегистрированного рассеянного гамма-излучения зависит от коэффициента поглощения  $\mu$ , который меняется в зависимости от содержания полезного компонента в руде ( $Fe$ ), а также от охвата монокристаллом угла рассеяния частиц  $\xi$

$$E_{\text{расс}} = f(E_{\text{погл}} * \mu * \xi), \quad (2)$$

$$\mu = f(Fe). \quad (3)$$

Интенсивность зарегистрированных детектором гамма-квантов подчиняется закону Лямберта-Бугера-Бэра и описывается уравнением (4)

$$N = N_0 \times e^{-\mu_m * \rho * x}, \quad (4)$$

где  $N_0$  – первичное количество  $\gamma$ -квантов, падающих на пробу,  $\mu_m$  – массовый коэффициент ослабления. Величина  $1/\mu_m$  – характеризует глубину проникновения  $\gamma$ -кванта,  $\rho$  – поверхностная плотность –  $\text{г/см}^3$ ,  $x$  – толщина поглотителя, см.

В связи с тем, что при использовании низкоэнергетических источников гамма-квантов и значительной толщины насыпного слоя железной руды, количество прошедших сквозь горную массу гамма-частиц достаточно невелико, и им можно пренебречь, интенсивность поглощенного гамма-излучения можно вычислить по формуле:

$$N_{\text{отр}} = \frac{N_0 - N_{\text{погл}}}{K}, \quad (5)$$

где  $K$  представляет собой коэффициент  $K \geq 1$ , характеризующий отношение количества испущенных источником гамма-квантов к количеству зарегистрированных сцинтилляционным детектором гамма-квантов

$$K = \frac{N_0}{N_{\text{рег}}}. \quad (6)$$

С другой стороны, коэффициент  $K$  можно рассматривать как отношение телесного угла рассеяния гамма-квантов (полусфера,  $2\pi$ ) к телесному углу зоны регистрации гамма-квантов:

$$K = \frac{2\pi}{\mathcal{U}}, \quad (7)$$

где  $\mathcal{U}$  - телесный угол зоны регистрации гамма-квантов, рассчитываемый как

$$\mathcal{U} = \frac{S}{R^2}, \quad (8)$$

где  $S$  - площадь части сферы с центром в вершине угла, которая вырезается этим телесным углом;  $R$  - радиус сферы.

Количество зарегистрированных гамма-частиц при повышении содержания общего железа в облучаемой руде уменьшается в связи с тем, что при значительном поглощении энергии гамма-кванта угол его отклонения относительно начальной траектории увеличивается, в результате чего частицы рассеиваются за пределами зоны регистрации детектора.

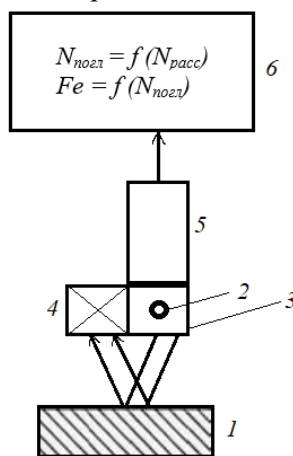
Таким образом, суть предложенного ядернофизического метода состоит в следующем:

горная масса облучается источником гамма-квантов;

регистрируются рассеянные породой частицы и определяется количество поглощенных веществом гамма-квантов;

вычисляется содержание полезного компонента на основе мощности гамма-квантов, зарегистрированных в результате комптоновского рассеяния и фотоэффекта.

Функциональная схема экспериментальной установки изображена на рис. 2. Она состоит из источника гамма-излучения 2 на основе изотопа Am-241 с энергией излучения 60кэВ, которая обеспечивает необходимую чувствительность к изменению массовой доли полезного компонента в горной массе; детекторов рассеянного 4 гамма-излучения; вычислительного блока 5, определяющего количество поглощенных гамма-квантов. Содержание железа в руде вычисляется в зависимости от соотношения интенсивности рассеянного и поглощенного гамма-излучения. Результаты измерений выводятся на цифровой индикатор устройства.



**Рис.2.** Общая функциональная схема взаимодействия гамма-излучения с веществом: 1 – горная порода; 2 – источник гамма-излучения; 3 – защитный контейнер; 4 – датчик регистрации рассеянного гамма-излучения; 5 – фотоэлектронный умножитель; 6 – блок вычисления содержания железа в руде

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем:

для проведения экспериментов были предварительно подготовлены пробы железной руды с содержанием общего железа в диапазоне 40-60% и железорудный концентрат содержанием общего железа в диапазоне 61-68%. Содержание железа в пробах предварительно было определено при помощи метода химического анализа. Для исследований в диапазоне 10-40% содержания железа использовались соответствующие ГСО;

экспериментальная проба подготавливалась путем заполнения рудным материалом цилиндрической кюветы высотой 5см и диаметром 10см. Поверхность пробы после заполнения разравнивалась, далее проба прижималась металлическим грузом для минимизации воздушных зазоров между гранулами, после чего производилась досыпка рудного материала в кювету и повторное разравнивание поверхности;

на кювету устанавливалось измерительное устройство и проводился замер общего железа в рудном материале методом реги-

страции комптоновского рассеяния. Время экспозиции составляло 60 секунд;

проводилось три измерения, после чего осуществлялась пересыпка (проба подготавливалась согласно пунктам б и в из другого рудного материала соответствующего содержания железа);

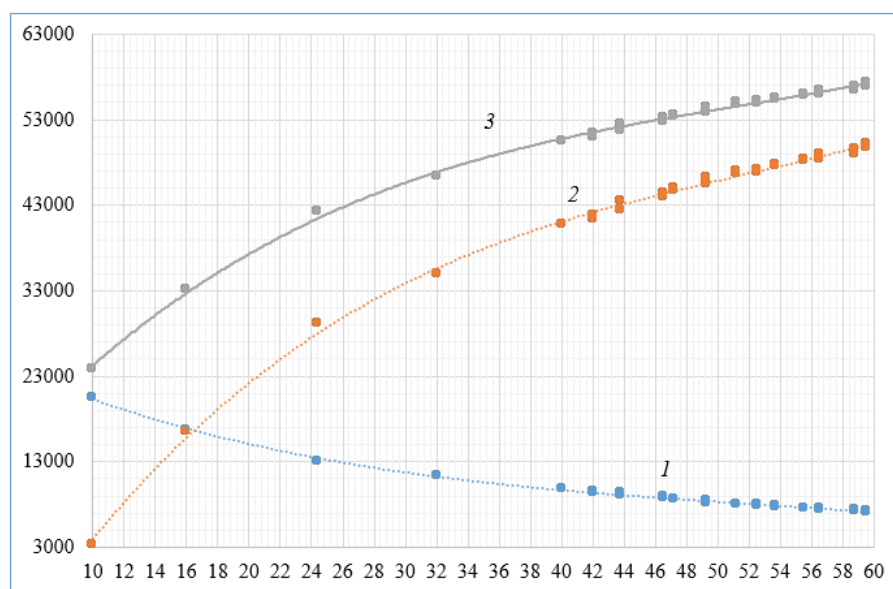
проводилось три пересыпки с тремя измерениями содержания железа в пробе по каждой;

результаты измерений фиксировались в таблице;

пункты б..е повторялись для каждой пробы (с разным содержанием общего железа);

эксперименты с ГСО проводились путем установки на их поверхности измерительного устройства и трехкратного замера со временем экспозиции 60 сек.

Экспериментальные исследования проводились путем настройки измерительной аппаратуры на регистрацию рассеянных гамма-квантов. Предварительно, согласно установленной методике проведения эксперимента, были произведены замеры на ГСО (диапазон 10-40% содержания железа), и пробах железной руды с содержанием 40-60%, подтвержденным методом химического анализа. На основе проведенных измерений была осуществлена калибровка измерительного устройства, проведена аппроксимация и получена функциональная зависимость, характеризующая взаимосвязь интенсивности рассеянного гамма-излучения и процентного содержания железа в руде. Базируясь на полученных данных, была установлена зависимость между количеством поглощенных гамма-частиц и содержанием полезного компонента в руде. Результаты исследований представлены на рис. 3.

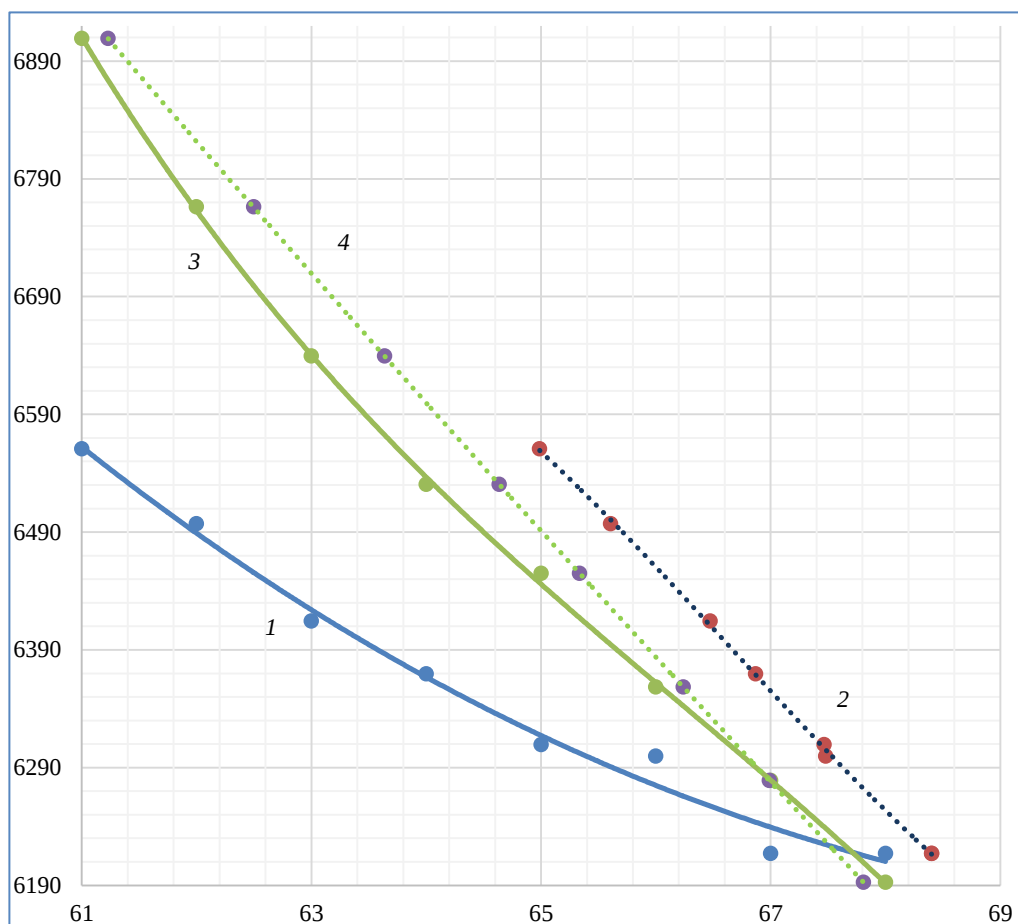


**Рис.3.** Зависимость интенсивности рассеянного, поглощенного и интегрального гамма-излучения от содержания полезного компонента: 1 – рассеянное, 2 – поглощенное, 3 – интегральное гамма-излучение

Как видно из графика, чувствительность ядернофизического метода контроля, основанного на регистрации интенсивности поглощенного гамма-излучения, в области высоких содержаний железа значительно выше, чем метода регистрации рассеянных частиц.

Далее согласно установленной методике был проанализирован диапазон содержания железа 61-68% на образцах железорудного концентрата. Были установлены расчетные значения содержания полезного компонента согласно методу регистрации рассеянного и поглощенного излучения.

Экспериментально полученные зависимости интенсивности рассеянного и поглощенного гамма-излучения от содержания полезного компонента приведены на рис. 4. Для удобства сравнения и увеличения масштаба корреляционного поля, показатели интенсивности поглощенного излучения конвертированы в количество рассеянных частиц (кривые 3 и 4). Как видно из графика, поглощенное излучение обеспечивает большую чувствительность к колебаниям полезного компонента в области высоких содержаний железа, в то время как использование рассеянного излучения приводит к значительным погрешностям в данном диапазоне.



**Рис. 4.** Зависимости: 1 – содержания железа, определенного методом химического анализа, от интенсивности рассеянного излучения; 2 – расчетного содержания железа от интенсивности рассеянного излучения; 3 – содержания железа, определенного методом химического анализа, от интенсивности поглощенного излучения; 4 – расчетное содержание железа от интенсивности поглощенного излучения

Получены аналитические выражения по показанному семейству кривых:

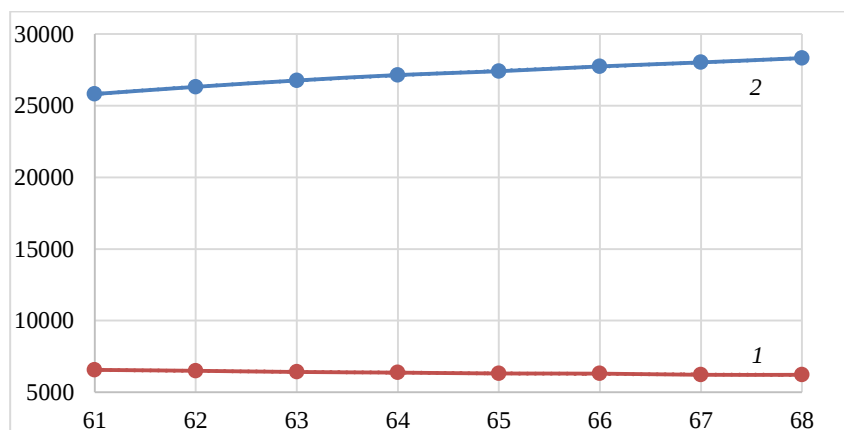
1.  $y = -0,0581x^3 + 14,926x^2 - 1250,1x + 40464$ , надежность аппроксимации  $R^2 = 0.98$ .

2.  $y = 1.9451x^3 - 388.95x^2 + 25819x - 56255$ , надежность аппроксимации  $R^2 = 0.99$ .

3.  $y = -0.9798x^3 + 194.57x^2 - 12961x + 295944$ , надежность аппроксимации  $R^2 = 0.99$ .

4.  $y = -0.0338x^3 + 7.2498x^2 - 622.1x + 25576$ , надежность аппроксимации  $R^2 = 0.99$ .

График, демонстрирующий чувствительность двух ядернофизических методов в областях высокого содержания полезного компонента в исследуемом материале, изображен на рис. 5.



**Рис. 5.** Зависимость интенсивности рассеянного и поглощенного гамма-излучения от содержания полезного компонента в области высокого содержания железа (61-68%): 1 – рассеянное; 2 – поглощенное

Зависимость для интенсивности поглощенного гамма-излучения имеет следующий вид  
 $y = 3,4293x^3 - 680,98x^2 + 45363x - 985806$ , надежность аппроксимации  $R^2 = 0.99$ .

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Проведенные исследования доказывают, что для контроля качества железорудного сырья и продуктов переработки с высоким содержанием общего железа целесообразно применять ядернофизический метод контроля, основанный на учете интенсивности поглощенного исследуемой пробой гамма-излучения, так как методы, основанные на регистрации комптоновского рассеяния предопределяют значительную погрешность в области высокого содержания полезного компонента. Дальнейшее направление исследований будет заключаться в установлении граничных значений коэффициента, характеризующего процент зарегистрированных гамма-квантов при измерении, а также в изучении его влияния на точность измерений.

### Список литературы

1. Азарян А. А., Зубкевич В. Ю., Швец Д. В. Разработка комплексной системы для повышения качественных показателей железной руды // Вестник Криворожского национального университета: сб. науч. работ – 2018. – Вип. 47. – С. 68-76.
2. Азарян А. А., Колосов В. А., Ломовцев Л. А., Учитель А. Д. Качество минерального сырья. – Кривой Рог: Минерал, 2001 – 201 с
3. Azaryan A., Pikilnyak A., Shvets D. Complex automation system of iron ore preparation for beneficiation / Metallurgical and mining industry. No.8. 2015. p.p. 64 66. [https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI\\_2015\\_8/011Azaryan.pdf](https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_8/011Azaryan.pdf)
4. Kiran, K. (2015). Experimental and simulated study of detector collimation for a portable 3" \* 3" NaI(Tl) detector system for in-situ measurements. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 8(4), 597-605. DOI: 10.1016/j.jrras.2015.07.006
5. Díaz-H, K., Cristancho, F. (2016) Effect of sample thickness on 511 keV single Compton-scattered gamma rays. AIP Conference Proceedings 1753, 080001. DOI: 10.1063/1.4955371
6. Awad A. Ibraheem, Algahatani, F. (2018) Analysis of alpha particles scattered from  $^{32}\text{S}$  at 386 MeV. AIP Conference Proceedings 1976, 020022. <https://doi.org/10.1063/1.5042389>
7. Azaryan, A., Gritsenko, A., Trachuk A., Shvets D. (2018). Development of a method for operational control over quality of the iron ore raw materials during open and underground extraction. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5
8. Development of a method for operational control over quality of the iron ore raw materials during open and underground extraction / A. Azaryan, A. Gritsenko, A. Trachuk, D. Shvets // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Issue 5 (95). P. 13-19. doi: 10.15587/1729-4061.2018.144003
9. Швец Д. В. Автоматическое управление процессом измельчения магнетитовых руд на основе определения их прочности. / Сборник научных трудов "Качество минерального сырья", том 2. Кривой Рог. 2018.
10. Азарян А. А., Дрыга В. В., Цыбулевский Ю. Е. Исследование автогенераторного метода контроля содержания железа магнитного в продуктах обогащения // Качество минерального сырья: сб. науч. трудов. Академия горных наук Украины, КТУ, Укррудпром; гл. ред. В. Ф. Бызов. Кривой Рог. 2005. С. 117-123.
11. Марюта А.Н. Контроль качества минерального сырья / А.Н. Марюта, П.К. Младецкий, П.А. Новицкий. – К.: Техніка, 1976. – 220 с.
12. Ніколасенко К.В. Магнітні та електричні методи збагачення корисних копалин / К.В. Ніколасенко, Т.А. Олійник, В.Д. Прилипенко – К.:Фенікс, 2011. – 368с.
13. Morkun, V., Morkun, N., Pikilnyak, A. The study of volume ultrasonic waves propagation in the gas-containing iron ore pulp // Ultrasonics. Volume 56. 2015. p.p.340-343. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0041624X14002443>
14. Поркуян О. В., Сотникова Т. Г. Комбинированный метод определения относительного содержания магнетита в твердой фазе железорудной пульпы / Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ". № 12. Харьков. НТУ "ХПИ". 2010. С. 29-36.
15. Morkun, V., Morkun, N., Tron V., Hryshchenko S. (2017). Investigation of the effect of characteristics of gas-containing suspensions on the parameters of the process of ultrasonic wave propagation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(5-90), 49–58.
16. Azaryan, A. Use of Bourger Lambert Bera law for the operative control and quality management of mineral raw materials // A. Azaryan, V. Azaryan. Metallurgical and Mining Industry. 2015. No. 1. P. 4-9.
17. Azaryan, A. Research of influence single crystal thickness NaJ (TL) on the intensity of the integrated flux of scattered gamma radiation // Metallurgical and Mining Industry. 2015. №2. P. 43–46.

Рукопись поступила в редакцию 04.11.2019

Л.І. ЄФІМЕНКО, М.П. ТИХАНСЬКИЙ, кандидати техн. наук, доценти,  
А.М.ТИХАНСЬКА, асистент  
Криворізький національний університет

## СТРУКТУРА БЛОКУ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РОЛИКІВ СТІЧКОВОГО КОНВЕЄРА ОСНАЩЕНОГО АВТОМАТИЧНОЮ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ

**Мета.** Метою цієї роботи є підвищення ефективності роботи автоматизованого конвеєра за рахунок визначення технічного стану роликів по температурних і вібраційних параметрах та використання результатів досліджень у системах діагностики.

**Методи дослідження.** Для вирішення цього завдання використано: аналіз літературних і патентних джерел, наукове узагальнення раніше виконаних досліджень; методи розроблені в механіці, теорії пружності; методи обробки випадкових процесів і математичної статистики; а також методи теорії автоматичного управління.

**Наукова новизна.** Технічний стан роликів у системі визначається по температурних і вібраційних параметрах, результати діагностики доповнюють один одного, що особливо важливо для довгих конвеєрів.

При діагностуванні по температурному режимі отримані значення температури поверхні стрічки у контролері порівнюють із температурою закриваючої поверхні, величину неузгодженості корегують з урахуванням охолодження матеріалу конвеєрної стрічки та поточного часу з початку діагностичного запуску конвеєра.

При діагностуванні по вібросигналу визначають амплітуду коливань даної частоти, знаходять збільшення амплітуди інформативної частоти ділянки фіксованої роликкоопори над амплітудою тієї ж частоти при холостому ході, отримане збільшення приймають за еталон, порівнюють амплітуди інформативних частот наступних роликкоопор з амплітудами тієї ж частоти на холостому ході, величину отриманої неузгодженості порівнюють із припустимим значенням, й в випадку перевищення по модулю, роблять висновок про поламки, причому номер роликкоопори з дефектними роликами відповідає номеру аналізованої стрічкової ділянки.

**Практична значимість.** Застосування способу й пристрою дозволяє оцінити кількість дефектних роликів без участі людини. Свочасне виявлення дефектних роликів дозволяє виконувати їхню заміну під час профілактичних ремонтів, що скорочує кількість аварійних зупинок, що запобігають можливості загоряння стрічки (у вугільних шахтах), зменшує споживання електроенергії, тому що при наявності несправних роликів збільшується коефіцієнт опору руху.

**Результати.** При визначенні навантажень на ролики враховується динаміка перехідних процесів і динамічні навантаження від вантажу при транспортуванні, що відзначається на визначенні технічного стану роликів стрічково-го конвеєра оснащеного автоматичною системою керування.

**Ключові слова:** стрічковий конвеєр, діагностика, методи діагностування, роликкоопори, ролики, динамічне навантаження, автоматична система керування.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-96-101

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Працездатність стрічково-го конвеєра багато в чому залежить від справності роликів, що підтримують тяговий орган. Відомо, що ролики є найбільш численним елементом конвеєра, вихід з ладу 10-15% їх від загальної кількості значно підвищує енергоємність транспортування матеріалу, збільшує зношування обкладок стрічки за рахунок тертя о ролики, що не обертаються, погіршує умови експлуатації конструкцій підтримуючих стрічку конвеєра. Існуючі методи виявлення пошкоджених роликів мають досить суттєві недоліки, а саме: велика трудомісткість, недостатня точність визначення місця знаходження, дороге обладнання, тому потребують удосконалення.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Питаннями визначення технічного стану роликів стрічково-го конвеєра займався ряд вітчизняних вчених [1 – 4, 10, 12, 13]. Які пропонують деякі [1, 5-9] методи діагностики роликів стрічкових конвеєрів, а саме: аналіз коливань, що створюються підшипниковими вузлами роликів, діагностики роликів по рівню шуму, що утворюється підшипником та спосіб діагностики технічного стану роликів по сукупності ознак за допомогою термовідеоз'ємки, що включає використання тепловізора для виміру температури роликів. Основними недоліками цих методів є велика трудомісткість процесу діагностики, а також вони не дозволяють виявляти усі несправні ролики, оскільки деградація підшипникового вузла не завжди спричиняє за собою підвищене утворення шуму.

В роботі [2] вказаний технічний результат, а саме, автоматизація процесу діагностики роликів стрічкових конвеєрів, який досягається тим, що в способі виявлення роликів стрічкових конвеєрів з підвищеним опором обертання роблять послідовні виміри температури роликів за допомогою датчика прийому інфрачервоного випромінювання і визначають ролики з підвищеним опором обертання по збільшеній відносно інших роликів температурі. Автори показують,

що на їх думку найбільш надійним методом діагностики технічного стану роликів стрічкових конвеєрів є контроль температури їх обичайки.

Загальним недоліком розглянутих методів є те, що при визначенні навантажень на ролики, не враховується динаміка перехідних процесів і динамічні навантаження від вантажу при транспортуванні, що відзначається на визначенні технічного стану роликів стрічкового конвеєра оснащеного автоматичною системою керування.

**Постановка завдання.** Застосування постійної або періодичної діагностики технічного стану обладнання є нагальною потребою, тому що це може ще більше підвищити ефективність його роботи, зокрема, поліпшити показники надійності, такі як: коефіцієнт готовності й коефіцієнт технічного використання.

Існуючі методи діагностування технічного стану конвеєра в цілому та зокрема роликів й прогнозування працездатності конвеєрної установки недостатньо ефективні.

У цьому зв'язку, нарізла необхідність повніше досліджувати стрічковий конвеєр як об'єкт діагностування, розробити прогресивні й технічно реалізовані способи й пристрої, на базі яких сформувати принципи автоматизованої системи діагностування й прогнозування. Нові можливості в роботі й застосуванні системи діагностування з'являються при експлуатації стрічкового конвеєра, постаченого регульованим приводом й автоматичною системою керування режимами транспортування.

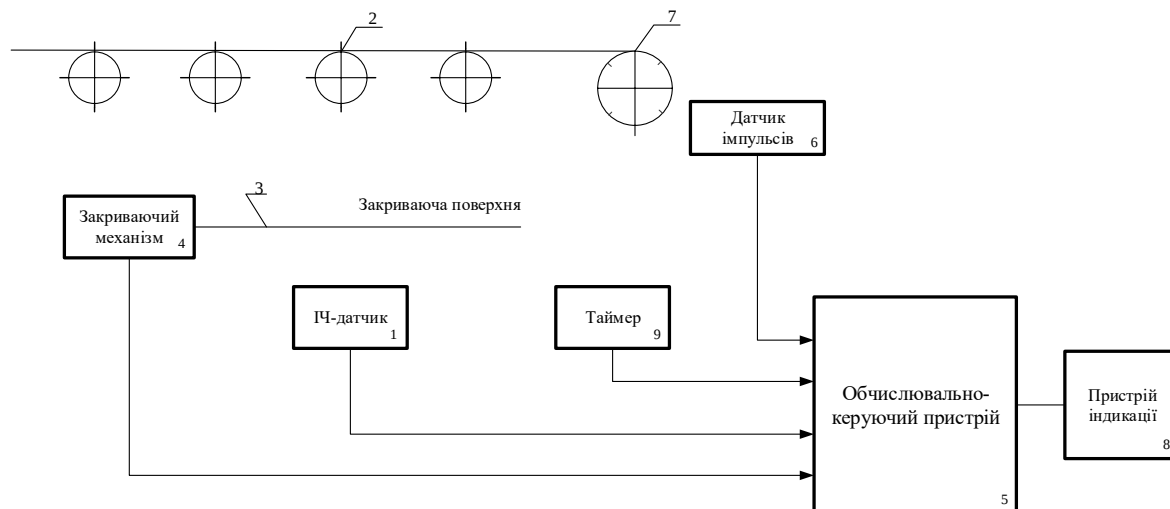
**Викладення матеріалу та результати.** Під відмовою ролика в загальному випадку розуміють вихід з ладу осі, підшипників, ущільнень і корпусу, при якому номінальний момент ролика збільшується у два й більше разів.

Несправний ролик видає підвищений шум у вигляді постукування, різких періодичних звуків підвищеної частоти. Коли сили тертя в підшипникових вузлах досягають значної величини, обичайки роликів перестають обертатися й дуже швидко зношуються обертовою стрічкою. Якщо такий ролик не замінити, на його корпусі утворяться гострі ріжучі точки, які глибоко й навіть наскрізь ріжуть стрічку.

Технічний стан роликів у системі визначається по температурних і вібраційних параметрах, результати діагностики доповнюють один одного, що особливо важливо для довгих конвеєрів [17, 18].

Для цієї мети авторами розроблено способи та пристрої визначення дефектних роликів стрічкового конвеєра [15, 16] і пристрій для визначення технічного стану роликів стрічкового конвеєра [14].

Пристрій діагностування по температурному режимі (рис. 1) включає датчик 1 інфрачервоного випромінювання (ІЧ-датчик), встановлений поблизу конвеєрної стрічки 2, закриваючий механізм 3 зі закриваючою поверхнею 4, обчислювально-керуючий пристрій 5, датчик імпульсів 6, барабан з мітками 7, пристрій індикації 8, таймер 9. При цьому датчик інфрачервоного випромінювання 1, датчик імпульсів 6, пристрій індикації 8, таймер 9 є відомими. Обчислювально-керуючий пристрій 5 виконаний на базі мікроконтролера із пристроями зв'язку з об'єктом.



**Рис. 1.** Спрощена схема пристрою для визначення дефектних роликів стрічкового конвеєра по температурному режиму

Закриваючий механізм 3 із закриваючою поверхнею 4 відомий із прототипу. Барабан з мітками 7 виконано на базі приводного або відхиляючого барабана конвеєра шляхом прикріплення металевих міток, розташованих кратно кроку між роликоопорами.

Пристрій працює в такий спосіб: під час зупинки конвеєра для проведення діагностики технічного стану роликів об'єктив датчика Іч - випромінювання 1 віддалено від стрічки 2 закриваючою поверхнею 3 закриваючого механізму 4. У цей час вимірюється Іч - випромінювання закриваючої поверхні 3. По Іч - випромінюванню визначається температура поверхні 3, яка дорівнює температурі навколишнього середовища й заноситься в пам'ять контролера 5.

Після повторного запуску конвеєра відкривається об'єктив датчика Іч - випромінювання 1 і відбувається вимір Іч - випромінюванням поверхні стрічки 2, по величині випромінювання у контролері 5 відбувається визначення температури стрічки. Одночасно з моменту повторного запуску конвеєра датчик імпульсів 6, встановлений біля барабана 7 з мітками, що відповідають кроку розміщення роликоопор, формує імпульси (при проходженні біля нього міток). Ці імпульси надходять у контролер 5 і дозволяють визначити номер роликоопори, що нагріла ділянку стрічки, яка проходить у цей момент через Іч - датчик 1.

Отримані значення температури поверхні стрічки у контролері 5 порівнюють із температурою закриваючої поверхні 3, величину неузгодженості корегують у контролері 5, домножуючи на величину  $e^{\alpha\tau}$ , де  $\alpha$  - коефіцієнт, що характеризує швидкість охолодження матеріалу конвеєрної стрічки (гуми),  $\tau$  - поточний час із початку повторного запуску. Скорегована величина неузгодженості порівнюється із заданою величиною перевищення температури, що характеризує поламку (дефект) ролика. У випадку якщо скорегована величина неузгодженості дорівнює або більше заданої, у контролері 5 обчислюється номер роликоопори з дефектним роликом і видається на індикатор 8. Таймер 9 відраховує час із початку діагностичного пуску конвеєра, що використовується контролером 5.

Застосування способу й пристрою дозволяє оцінити кількість дефектних роликів без участі людини. Своєчасне виявлення дефектних роликів дозволяє виконувати їхню заміну під час профілактичних ремонтів, що скорочує кількість аварійних зупинок, що запобігають можливість загоряння стрічки (у вугільних шахтах), зменшує споживання електроенергії, тому що при наявності несправних роликів збільшується коефіцієнт опору руху.

Крім визначення працездатності роликів для стрічкового конвеєра і його технічного стану велике значення має виявлення нерухомих роликів, тобто вже несправних. У Криворізькому національному університеті розроблено спосіб виявлення нерухомих роликів і пристрій для його реалізації [16].

Спосіб полягає в тому, що реєструють зміни сигналу, випромінюваного еталонною ділянкою ставу конвеєра в порівнянні із тим що перевіряють, вимірюють вібрацію конвеєрного ставу на холостому ходу конвеєра й при транспортуванні контрольної порції вантажу, реєстрацію сигналів починають у момент переходу вантажем еталонної роликоопори, стробують вібросигнал [9], виділяючи ділянки, що відповідають за час переходу вантажу через кожен наступний роликоопору, роблять спектральний аналіз вібросигналу, зі спектра частот виділяють інформативні частоти, що характеризують перехід контрольного вантажу через роликоопору, визначають амплітуду коливань даної частоти, що буде характеризувати сигнал фіксованої роликоопори, знаходять збільшення амплітуди інформативної частоти ділянки фіксованої роликоопори над амплітудою тієї ж частоти при холостому ходу, отримане збільшення приймають за еталон, порівнюють амплітуди інформативних частот наступних роликоопор з амплітудами тієї ж частоти на холостому ході, величину збільшення збільшують пропорційно його зменшенню при загасанні залежно від віддалення від фіксованої роликоопори й порівнюють із еталоном, величину отриманої неузгодженості порівнюють із припустимим значенням, й в випадку перевищення по модулю, роблять висновок про поламку, причому номер поламки роликоопори відповідає номеру аналізованої стробованої ділянки.

Визначають амплітуду коливань даної частоти таким способом

$$A(\ell) = A_0 \cdot e^{-\gamma \ell},$$

де  $A_0$  - амплітуда коливань еталонної балки від впливу контрольної порції вантажу

$$A_0 = 2X_{CT} \sin \pi \alpha = \mu_d X_{CT},$$

де  $\mu_d$  - динамічний коефіцієнт;  $X_{CT}$  - статичний прогин позовжньої балки або вертикальний зсув стійки роликоопори при проходженні контрольної порції вантажу;  $\gamma$  - коефіцієнт поглинання коливань у металі;  $l$  - відстань від точки виникнення коливань до контрольної роликоопори.

Порівнюють стробовані ділянки вібросигналу при транспортуванні контрольної порції вантажу із сигналом інформативної частоти при холостому ході, отриману різницю порівнюють із еталонною різницею, тобто між сигналом від фіксованої роликоопори й холостим ходом, враховують загасання сигналу залежно від віддалення від еталонної роликоопори швидкості стрічки конвеєра, швидкості поширення хвилі в ставі конвеєра [9]

$$C_1 = (G \cdot p^{-1})^{1/2},$$

де  $G$  - модуль зрушення;  $p$  - щільність матеріалу (сталі);  $G = 0,5E(1+\mu)^{-1}$ , де  $E$  - модуль Юнга;  $\mu$  - коефіцієнт Пуассона.

Облік зміни швидкості транспортування виконують шляхом стробування віброграми через рівні проміжки часу, рівні часу проходження вантажу від однієї роликоопори до іншої. Контроль за зміною швидкості транспортування забезпечує точне визначення розташування сигналу від взаємодії вантажу з роликоопорою щодо місця установки датчика, а отже, і визначення номера роликоопори з ушкодженими роликами, тому що навіть зміна швидкості з технічних причин (зміна напруги мережі, характеристики двигуна й т.п.) через 15-20 роликоопор приводить до зсуву характерного сигналу на одну роликоопору. Це дозволяє підвищити надійність діагностування несправних роликів.

Застосування запропонованого способу дозволить підвищити надійність і довговічність механічного устаткування конвеєра, опорних конструкцій, а саме роликів і стрічки, тому що при своєчасній заміні, ремонті несправних роликів не перевантажуються сусідні роликоопори, не виникають додаткові вібрації, тобто поліпшуються умови експлуатації. За рахунок своєчасного виявлення несправних роликів скорочується час простоїв на ремонт.

Пристрій для визначення технічного стану роликоопор стрічкового конвеєра реалізує спосіб діагностики, заснований на обробці й аналізі сигналів вібродатчика й тензодатчика. На рис. 2 наведена структурна схема пристрою. Пристрій складається з датчика вібрації 1 і тензодатчика 2, встановлених на фіксованій роликоопорі, компаратора 3, датчика швидкості стрічки 4, блоку узгодження з об'єктом ПЗО 5, що призначено для узгодження вихідних сигналів датчиків із входом аналого-цифрового перетворювача (АЦП) 6 і складається з узгоджувачів підсилювачів з ланцюгами гальванічної розв'язки й комутатора сигналів, АЦП підключене до контролера 7, з'єднаної із блоком індикації 8.

Пристрій, що реалізує спосіб визначення технічного стану роликоопор стрічкового конвеєра, працює в такий спосіб: для проведення діагностики стану підтримуючих стрічку роликоопор конвеєр звільняється від вантажу й працює на холостому ході. З датчика вібрації 1, вібрація, перетворена в електричний сигнал надходить в ПЗО 5, у якому по сигналу з контролера 7 відбувається посилення сигналу й підключення його до входу АЦП 6. У той же час по сигналу з контролера 7 АЦП 6 перетворює цей сигнал у цифрову форму, що сприймається контролера 7. Контролер виконує спектральний аналіз сигналу вібрації холостого ходу конвеєра й виділяє інформативні частоти холос-

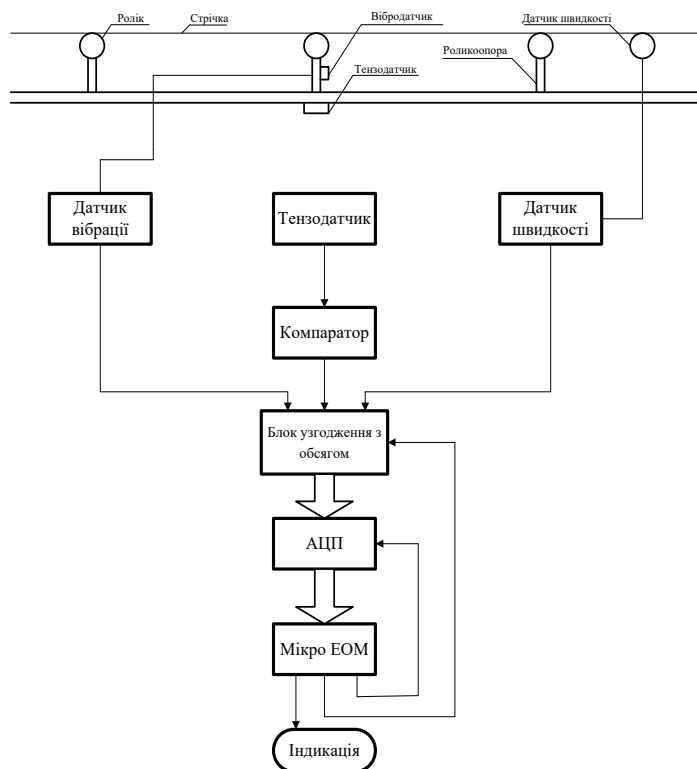


Рис. 2. Структурна схема пристрою визначення технічного стану роликоопори

того ходу конвеєра, амплітуди яких запам'ятовуються.

Потім на порожню стрічку завантажують контрольну порцію вантажу рівну погонній масі. При проходженні вантажу над фіксованою роликоопорою тензодатчик 2 сприймає навантаження, величина якого перетворюється в електричний сигнал, і надходить на компаратор 3, що спрацьовує при надходженні цього сигналу, і видає в ПЗО 5 логічну одиницю (що відповідає проходженню порції вантажу). По сигналу з контролера 7 в ПЗО 5 відбувається підключення його до АЦП 6, де цей сигнал по сигналу з контролера 7 перетвориться в цифрову форму й вводиться в контролер 7.

З датчика швидкості ДШ 4 величина швидкості стрічки, перетворена в електричний сигнал, надходить в ПЗО 5. У якому по сигналу з контролера 7 відбувається посилення сигналу й підключення його до АЦП 6, де він перетвориться в цифрову форму, що сприймається контролером.

Поява сигналу з тензодатчика ТД 2 є для контролера 7 початковою точкою відліку, необхідною для організації стробування. Сигнал швидкості необхідний для визначення інтервалів стробування. Визначення інтервалів стробування дозволяє робити підключення датчика 1 вібрації за допомогою ПЗО 5 через тимчасові інтервали стробування, що дозволяє вводити сигнал у мікро - ЕОМ 7 у момент знаходження вантажу над наступною діагностуючою роликоопорою.

З появою сигналу з тензодатчика 2 з'являється перший стробуючий імпульс, що є керуючим сигналом ПЗО 5-й АЦП 6 для уведення в контролер 7 сигналу з датчика вібрації 1, що буде відповідати фіксованій роликоопорі.

При цьому в контролері 7 відбувається спектральний аналіз сигналу, що надійшов, виділення амплітуд інформативних частот, порівняння отриманих амплітуд інформативних частот з амплітудами інформативних частот на холостому ході й визначення збільшення (по модулю), величина якого приймається за еталон.

Другий стробуючий імпульс з'являється при проходженні вантажу над роликоопорою наступною за фіксованою, що є керуючим сигналом ПЗО 5-й АЦП 6 для введення в контролер 7 сигналу з датчика вібрації 1.

При цьому в контролері 7 відбувається спектральний аналіз сигналу, що надійшов, виділення амплітуд інформативних частот, порівняння отриманих амплітуд інформативних частот з амплітудами інформативних частот на холостому ході й визначення збільшення, коректування збільшення діагностуючої роликоопори на величину загасання вібрації залежно від видалення від фіксованої роликоопори, порівняння еталона зі скоректованим збільшенням і визначення різниці збільшення, порівняння різниці збільшення із заданою величиною. Якщо різниця збільшення не перевищує задану величину, то контролер 7 формує на блоці індикації повідомлення «норма». У протилежному випадку формується повідомлення "роликоопора несправна" і вказується номер стробуючого імпульсу, що відповідає номеру несправної роликоопори.

Починаючи із другого стробуючого імпульсу, пристрій здійснює операції способу по викладеному алгоритму.

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Сучасний стан розвитку діагностики обладнання характеризується впровадженням моніторингу інформаційних параметрів з подальшим виконанням спеціального спектрального аналізу отриманого сигналу, що дозволяє з високою мірою достовірності визначати технічний стан різних елементів досліджуваного обладнання.

Аналіз існуючих способів і методів діагностування технічного стану конвеєрної установки показав, що наряду з достоїнствами вони мають і суттєві недоліки, недостатньо ефективні. Багато які з них вимагають зупинки встаткування на огляд, дослідження, що передбачає також часткове його розбирання. У цьому зв'язку, назріла необхідність повніше досліджувати стрічковий конвеєр як об'єкт діагностування, впроваджувати прогресивні й технічно реалізовані способи й пристрої, на базі яких формувати принципи автоматизованих систем діагностування й прогнозування, а для існуючих систем їх модернізацію та удосконалення. Тому розвиток вітчизняних методів і способів діагностування має велике значення.

Нові можливості в роботі надають системи, які оснащені регульованим приводом й автоматичною системою керування режимами транспортування вантажопотоку.

## Список літератури

1. **Антоняк, Е.** Сравнение методов измерения, используемых для оценки технического состояния роликов / Е. Антоняк // Горный информационноаналитический бюллетень, № 1. – М., 2006. – С. 305–309.
2. **Захаров, А.Ю.** Способ обнаружения роликов ленточных конвейеров с повышенным сопротивлением вращению/ А.Ю. Захаров, Д.А. Ширямов// Патент № 2561492 2014-05-26.
3. О сопротивлении движению конвейерной ленты по роликам / **В.К Смирнов, Г.К Демин.** // В кн. Теория машин и рабочих процессов. – Киев: Наук. Думка, 1977. – С.43-50.
4. **Дмитриев, В.Г.** Исследование динамических нагрузок в роликоопорах загрузочных и линейных секций ленточных конвейеров при транспортировании крупных кусков / В.Г. Дмитриев, В.И. Галкин // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 1975. - №1. – с. 108-112.
5. **Клюев, В.В.** Технические средства диагностирования: Справочник / В.В.Клюев, П.П.Пархоменко, Абрамчук и др.: под общ. Ред. Клюева В. В. // М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
6. **Абрамов, О. В., Розенбаум А. Н.** Прогнозирование состояния технических систем / О.В. Абрамов, А.Н. Розенбаум // М.: Наука, 1990. -126с.
7. **Болотин В.В.** Ресурс машин и конструкций.- М.: Машиностроение, 1990. -448 с.
8. Вибрация и вибродиагностика судового электрооборудования/ **Александров А.А. , Барков А.В., Баркова Н.А., Шафранский В.А.-Л.:** Судостроение, 1986.-276 с.
9. **Генкин М.Д., Соколова А.Г.** Виброакустическая диагностика машин и механизмов. - М.: Машиностроение, 1987.- 288 с.
10. **Монастырский, Б.Ф.,** Экспериментальные исследования влияния технического состояния роликов и ленты на энергоемкость транспортирования / Б.Ф. Монастырский, Й.И. Плахотник, А.Н. Смирнов, В.И. Бесчастный //Шахтный и карьерный транспорт. - М.: Недра, 1990. -Вып.11.-С.68-71.
11. **Назаренко, В.М.** Диагностика ресурса электромеханического оборудования и состояния технологического потока автоматизированного роторного комплекса / В.М. Назаренко, М.П. Тиханский, Л.И. Ефименко //Изв. вузов. Горный журнал.-1994.-№1. - с. 102-104.
12. **Кузнецов, Б.А.** Взаимодействие груза с роликами линейной части конвейера / Б.А. Кузнецов, В.К.Смирнов, А.В.Коваль, В.Ф.Монастырский // Днепрпетровск, 1974.-№4.- С.54-47.
13. **Новиков, В.В.** Выбор информативного параметра для ленточного конвейера / В.В. Новиков, Ф.В.Монастырский, В.И. Плахотник // Шахтный и карьерный транспорт.-М.:Недра, 1986.-Вып.10.-С.33-38.
14. **Ефименко, Л.И.** Способ определения технического состояния роликоопор ленточного конвейера.А.с. //Л.И.Ефименко, В.М.Назаренко, М.П. Тиханский и др. //1710463 СССР, МКИ В 65С 43/00.
15. **Тиханский, М.П.** Устройство для контроля подшипников качения / М.П.Тиханский, Л.И.Ефименко, В.М.Назаренко // А.с. 1712807 СССР, МКИ С 01М 13/04.
16. **Ефименко, Л.И.** Способ определения наличия неисправных роликов ленточного конвейера и их местоположения/ Л.И.Ефименко, М.П.Тиханский и др. // А.с. 1770130 СССР, МКИ В 28С 5/36. В 65 С 43/02.
17. **Тиханский, М.П., Ефименко Л.И.** Методи й системи діагностики та прогнозування технічного стану стрічкових конвеєрів / Тиханський М.П., Ефіменко Л.І. //Вісник КТУ. Збірник наукових праць. Вип.21.- Кривий Ріг-2008.- С.163-167
18. **Ефименко, Л.И.** Принципи побудови автоматизованої системи діагностики технічного стану конвеєра / Л.И. Ефименко, М.П. Тиханський // Вісник КТУ. - Вип. 25, 2010. - С. 163-167.

Рукопис подано до редакції 04.11.2019

УДК 711.168:727

В.А.ШИМКО, ст. викладач

Криворізький національний університет

## СУЧАСНІ АСПЕКТИ БУДІВНИЦТВА ТА РОЗВИТКУ СОЦІАЛЬНОГО ЖИТЛА: СВІТОВИЙ ДОСВІД

**Мета.** Проаналізувати існуючі приклади формування об'єктів соціального житла в зарубіжних країнах та обґрунтувати доцільність будівництва житла соціального фонду на території Криворізького регіону з урахуванням проведеного аналізу.

**Методи дослідження.** В представленій роботі виконано детальний аналіз сучасних прикладів будівництва соціального або доступного житла у розвинених країнах світу, окреслені принципові методи та напрямки соціального житлового будівництва. Відмічено, що світовий досвід такого будівництва заслуговує більш ретельного вивчення та може бути основою для розвитку сучасного соціального житлового будівництва в нашій країні в цілому та особливо у східних прифронтових регіонах.

**Наукова новизна.** Акцентуація саме на питаннях будівництва соціального, а саме доступного житла, складає актуальність роботи. Її метою є виявлення і позначення основних принципових методів і напрямків соціального житлового будівництва за кордоном і подальшої їх адаптації в нашій країні в цілому, а також в регіональному контексті.

**Практична значимість.** В цілому зарубіжний досвід зведення соціального житла може бути адаптований до умов м.Кривого Рогу для зняття гостроти житлової проблеми, поліпшення якості міського середовища, поліпшення менеджменту соціального житла та розвитку широкої житлової демократії та управління соціальним житлом.

Результати роботи зацікавлять всіх фахівців та спеціалістів, що задіяні у архітектурній та будівельній галузях, інвесторів та в органах самоврядування.

**Результати.** Вітчизняний досвід проектування житлових будинків соціально фонду значно відрізняється від закордонного. Зарубіжні прийоми і технології в проектуванні і будівництві соціального житла досить різноманітні, спрямовані одночасно на об'єднання мешканців в одне ціле при спільному дозвіллі зі збереженням індивідуальності, поліпшення якості міського середовища, поліпшення менеджменту соціального житла та розвитку широкої житлової демократії та управління соціальним житлом.

**Ключові слова:** сучасність, соціальне житло, доступність, житлове будівництво, інновації, світовий досвід.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-101-105

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Актуальність даного дослідження полягає в тому, що в останні роки держава зіткнулася з вкрай важливою проблемою забезпечення громадян житлом з сучасним рівнем комфортності, а саме забезпечення соціальних верств населення окремим видом житла і в першу чергу - доступним житлом.

У сучасному світі наявність власного житла формує у людини почуття соціальної захищеності, відповідальності. Саме завдяки створенню соціальних житлових будинків, громадяни будуть здатні оцінювати свої можливості проживання і доходів для вирішення питання демографічної ситуації.

Будівництво житла для соціальних потреб - один із пріоритетів реалізації містобудівної політики в державі. Житлові проекти такого житла повинні поєднувати в собі економію коштів і термінів їх проектування і будівництва, а також відповідати сучасним уявленням про комфортне житло.

У вітчизняній практиці найбільш прийнятне доступне житло – це, перш за все, житлові будинки, зведені за стандартними (типовим) проектам. Типові проекти відрізняються низькою вартістю, обумовленою одноразовим проектуванням одного об'єкта, який в подальшому буде зведено за вже визначеним стандартом. Однак не завжди стандартизація сприятливо впливає на людину, адже сучасне соціальне житло орієнтується на людей різних вікових категорій, з різним рівнем доходів і соціальним статусом. Одним з головних аспектів при створенні соціального житла залишається збереження його «індивідуальності» та відхід від "типовості". У зв'язку з цим важливо досліджувати досвід і моделі проектування соціального житла в інших країнах.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Необхідно особливо відзначити, що у дослідження проблем розвитку житлового будівництва значний доробок внесли такі вітчизняні й зарубіжні вчені: О.Непомнящий, Е. Гайворонський, О. Євтух, М. Ковальський, В. Куценко, В. Лагутін, О.М'якишевська, К. Паливода та ін.

Проблеми формування типів житлових будівель розглянуті в працях Непомнящего О.М. [1], регіональні особливості архітектури будівель і споруд, в тому числі і житлових, розглянуті в працях Гайворонського Е.А.[2], питання реконструкції житлових будівель і споруд розглянуті в роботах Родіонова Т. В.[5]. Слід підкреслити, що проблеми житлової архітектури завжди розглядаються на різних рівнях, але, спираючись на існуючі дослідження, раніше не розглядалися проблеми формування соціального житла в зарубіжних країнах з урахуванням сучасних інноваційних тенденцій.

**Постановка завдання.** Проаналізувати існуючі приклади формування об'єктів соціального житла в зарубіжних країнах та обґрунтувати доцільність будівництва житла соціального фонду на території Криворізького регіону з урахуванням проведеного аналізу.

**Викладення матеріалу та результати.** У сучасному світі соціальне житло є одним із найважливіших соціальних питань для людей з низьким достатком. Історія зведення соціального житла в розвинених країнах починається з середини XIX століття. За цей період був накопичений певний досвід різноманітних варіантів вирішення цього питання.

Соціальне житлове будівництво стало з'являтися по всій Європі в кінці дев'ятнадцятого – початку двадцятого століття. У Великобританії перші закони, що відносяться до житлового будівництва, з'явилися в 1890 році, у Франції – в 1894 році, у Нідерландах – в 1901 році, в Італії – в 1919 році. В Австрії в 1920 році почалося здійснення програми Gemeindebauten, в першу чергу у Відні. У Німеччині також майже у всіх великих містах розгорнулася програма

Siedlungen. У Чехословаччині соціальне житлове будівництво поширилося в 1930-ті роки, у Швеції в 1940-е роки програма «житло для всіх» стала частиною будівництва держави добробуту. Середня частка субсидованого або побудованого державою житла в період з 1919 по 1936 рік варіювалася від 25% у Нідерландах, до 40% у Великобританії і Німеччині; такі дані представлені в книзі «Перебудована Європа», виданої Елізабет Денбі в 1938 році. Серед різних європейських країн спостерігалися значні відмінності в області соціального житлового будівництва. Іноді останнє було національною урядовою програмою, проте часто воно знаходилося у віданні місцевої влади або фінансується державою організацій, наприклад, житлових асоціацій [6, 8].

Насьогодні у рамках діяльності ООН Орною Розенфельд було зроблено дуже змістовний доклад «Социальное жилье в регионе ЕЭК ООН: модели, тенденции и вызовы», у якому ретельно проаналізовано розвиток соціального житла на сучасному етапі в різних країнах саме у Європі: «Мировой финансовый кризис изменил контекст, в котором функционируют системы жилищного хозяйства. Вследствие мирового финансового кризиса (МФК) и последовавшей за ним рецессией для все увеличивающейся части населения в регионе ЕЭК ООН доступ к достойному и финансово доступному жилью стал еще более затруднен. Как минимум 100 млн человек с низким и средним уровнем доходов тратят на оплату жилища более 40% своего располагаемого дохода. Вследствие высоких затрат при этом уровне доходов ограничиваются средства на другие основные потребности, такие как продукты питания, здравоохранение, одежда и транспорт» [9]. У цьому дослідженні ЄЕК ООН в області соціального житла демонструється важливе значення соціального житла як життєво необхідної інфраструктури, що створює можливості для зростання міст і економіки. Завдяки цьому дослідженню питання соціального житла виходять на перший план в порядку денному в сфері житлового господарства в державах ЄЕК ООН. У ньому також представлені загальні керівні принципи для осіб, які розробляють політику, дії яких можуть впливати на умови, в яких живуть люди.

У сучасному світі архітектури з'явилося чимало проектів соціального житла, втілених у життя [3, 4]. Найбільший соціально-архітектурний експеримент протягом 14 років здійснюється у Данії. Там закінчилася забудова нового району Копенгагена - Ерестада (рис. 1-3), що складається з наукових і навчальних центрів, штаб-квартир великих компаній, студентських містечок та багатоквартирних будинків для пересічних громадян, які ніколи не зможуть дозволити собі студію або апартаменти в історичному центрі. Загальна площа Ерестада - 310 га, ця територія забезпечена державою комунікаціями і поділена на окремі ділянки, які розпродаються приватним інвесторам з вже готовими функціональними програмами по забудові.

Архітектори свідомо максимально урізноманітнили поверхові плани, щоб піти від уніфікованих квартир. У всіх квартирах несучі стіни оточують лише санвузли, які не можна переносити, інший простір може бути піддана трансформації.



**Рис.1.** Загальний вид забудови житлового району "Ерстада" (Данія)



**Рис.2.** Екстер'єр житлового будинку. Житловий район "Ерстада" (Данія)



**Рис.3.** Благоустрій прибудинкової території. Житловий р-н "Ерстада" (Данія)

Кожна квартира має лоджію, а деякі з них обладнані для проживання інвалідів та самотніх літніх людей. У Данії існують жорсткі обмеження за площами для соціального житла: квартира з однією спальнею не повинна бути більше 75м<sup>2</sup>, з двома – 95м<sup>2</sup>, з трьома – 110м<sup>2</sup>. Соціальне житло також має бути укомплектоване певним набором об'єктів інфраструктури.

У голландському місті Гронінген за проектом бюро Arons en Gelauff Architecten був побудований житловий комплекс. Всі суспільні функції тут зібрані у розвиненому стилобаті, а квартири розмістилися в 21-поверховій вежі (рис. 4), яка в плані має форму хреста.



**Рис.4.** 21-поверховий житловий комплекс у м.Гронінген (Голландія)

«Віймки» цього хреста повністю засклені, що дозволило, по-перше, в кожній квартирі створити вітальні з двома вікнами, а по-друге, забезпечити житло достатньою кількістю денного світла. Фасади вирішені цегляними ширмами з безліччю круглих отворів різного діаметру, дані отвори служать і як вікна, і як декоративні елементи.

У Словенії за останні кілька років теж було побудовано ряд житлових комплексів. Дані об'єкти відрізняються не тільки низькою ціною, але і різноманітністю архітектурних рішень. У 2006 році, в прибережному місті Ізола в експлуатацію був зданий однойменний житловий комплекс, спроектований бюро Ofis Arhitekti. Здалеку цей будинок нагадує бджолиний вулик, стільники якого пофарбовані у свій власний колір (рис. 5, 6).



**Рис. 5.** ЖК у м.Ізола(Словенія).  
Фрагмент фасаду житлового будинку



**Рис. 6.** ЖК у м.Ізола(Словенія).  
Екстер'єр житлового будинку

Ромбовидні консолі балконів також імітують соти-бджолині будиночки: така конструкція не тільки надала фасадам оригінальність, але і допомагає захистити квартири від сонця і дощу. Крім того, балкони, облицьовані перфорованими дерев'яними панелями, які дозволили вирішити питання природної вентиляції приміщень. У квартирах несучими є тільки зовнішні стіни, тому житло можна трансформувати під запити сім'ї. Спочатку на кожному поверсі розташовано по дві однокімнатних, дві двокімнатних та дві трикімнатних квартири. У самих великих квартирах кухонна зона відокремлена від їдальні мобільною перегородкою, а санвузлів зроблено два. Площа додаткових спалень. Однокімнатна квартира представляє собою студію з кухнею - нішею і суміщенням санвузлом, в якому, передбачено місце для пральної машини [6].

В даний час в практиці США досить розвинена концепція організації інтегрованого житлового середовища для різних демографічних груп населення. Прикладом так званих «intergenerational house» може служити комплекс Бридж Мідоуз (Bridge meadows) в Портленді, в основу якого покладена ідея комунікації, передачі досвіду, підвищення турботи один про одного, поєднуючи різні форми спільного дозвілля, а головне - розмежовуючи місця різного ступеня активності і приватності.

Житловий комплекс Виндсонг (Windsong Cohousing, 1996) у Канаді для змішаних сімей складається з 34 квартир. Загальний простір має лінійну орієнтацію, сформований у вигляді вулиці між будинками, перекритою скляними конструкціями. Це був перший проект з заклеюваною вулицею в Північній Америці. Вулиця формує легкий, зручний для комунікації загальний простір, одночасно поєднує властивості відкритого і закритого просторів. Подібне конструктивно-планувальне рішення можна зустріти в деяких сусідських комплексах в Данії (Drivhuset, Kilen) [7].

Таким чином, вищевикладений матеріал свідчить про те, що закордонні прийоми при проектуванні соціального житла є досить ефективними і економічними, забезпечують людину влас-

ним житлом з невеликою площею, але, за рахунок технологічності і мобільності, надають можливість трансформувати квартиру і поєднувати функціональні призначення кімнат в залежності від уподобань людини.

**Висновки.** Вітчизняний досвід проектування житлових будинків соціально фонду значно відрізняється від закордонного. Зарубіжні прийоми і технології в проектуванні і будівництві соціального житла досить різноманітні, спрямовані одночасно на об'єднання мешканців в одне ціле при спільному дозволі зі збереженням індивідуальності. В цілому зарубіжний досвід зведення соціального житла може бути адаптований до умов м.Кривого Рогу для зняття гостроти житлової проблеми, поліпшення якості міського середовища, поліпшення менеджменту соціального житла та розвитку широкої житлової демократії та управління соціальним житлом.

### Список літератури

1. Непомнящий О.М. Поштовх до будівництва доступного житла та механізми його реалізації в Україні / О.М. Непомнящий // Будівництво України. – 2011. - № 3. – С.16-21.
2. Гайворонский Е. А. Региональные особенности архитектуры и градостроительства Донбасса в научных исследованиях, в проектной практике, творчестве и подготовке специалистов на архитектурном факультете Донбасской национальной академии строительства и архитектуры / Е. А. Гайворонский // Сучасне промислове та цивільне будівництво. - 2016. - Т. 12, № 1. - С. 31-50. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN//spcb\\_2016\\_12\\_1\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN//spcb_2016_12_1_6).
3. Социальное жилье за границей: шведские "хрущевки" и гонконгские "гостинки" в небоскребе [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.segodnya.ua/economics/realty/socialnoe-zhile-za-granicey-shvedskie-hrushchevki-i-gonkongskie-gostinki-v-neboskrebe-1137220.html> (Дата обращения: 20.09.2019)
4. Доступно ли жилье за рубежом? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vseon.com/analitika/sovremennaya-strojka/dostupno-li-zhile-za-rubezhom> (Дата обращения: 20.09.2019).
5. Радионов Т.В. Рекомендации по реконструкции объектов типовой застройки /Т.В. Радионов // Містобудування та територіальні планування. К.: КНУБА, 2013,- Вип. 49. - С. 446-451.
6. Сравниваем жилье у нас и за рубежом [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.investa24.com>. (Дата обращения: 20.09.2019).
7. Cohousing Association of the US (CohoUS) [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.cohousing.org](http://www.cohousing.org). (Дата обращения: 20.09.2019).
8. Маликов Н. Как выглядят дворы социального жилья в Европе. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gre4ark.livejournal.com/424782.html>. (Дата обращения: 8.10.2019).
9. Орна Розенфельд. Социальное жилье в регионе ЕЭК ООН : модели, тенденции и вызовы. Доклад в ООН. Нью-Йорк и Женева, 2018.- С.1-127.

Рукопис подано до редакції 04.11.2019

УДК 621.9.04:533.9: 621.791.947.55

В.П. НЕЧАЄВ, А.О. РЯЗАНЦЕВ, кандидати техн. наук, доценти, О.В. ЧЕРНЯВСЬКА, Л.І. ЛАУХІНА, ст. викладачі, Д.О. ЛАВРИНЕНКО, аспірант  
Криворізький національний університет

### ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПЛАЗМОВО-МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ЯКІСТЬ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ

**Мета.** Метою даної роботи є вдосконалення технології обробки деталей з важкооброблюваних матеріалів, а саме – дослідження й наукове обґрунтування параметрів процесу плазмово- механічної обробки поверхонь деталей з легованих сталей для підвищення продуктивності обробки, забезпечення необхідної якості поверхневих шарів обробленої деталі.

**Методи дослідження.** Результати роботи з плазмово-механічної обробки отримані шляхом теоретичних і експериментальних досліджень. Теоретичні дослідження полягають у визначенні параметрів теплового поля заготовки при плазмовому нагріванні в умовах плазмово-механічного точіння й фрезерування. Експериментальні дослідження засновані на комплексному вивченні взаємозв'язку основних показників механічної обробки з факторами попереднього плазмового нагрівання припуску.

**Наукова новизна.** У результаті проведених досліджень були отримані дані про стан параметрів якості обробленої поверхні заготовки при нагріванні плазмовою дугою. Виявлена залежність виду мікроструктури від глибини поверхневого шару заготовки, установлений розподіл залишкових напружень по глибині поверхневого шару. Вивчені

особливості схем розташування зон зі зміненою мікроструктурою і їх взаємозв'язок з режимами нагрівання й різання в конкретних умовах плазмово-механічної обробки.

**Практичне значення.** Розроблений процес плазмово-механічного точіння, фрезерування та рекомендації з вибору параметрів нагрівання та різання дозволяють збільшити продуктивність обробки заготовок із середньо легованих сталей при забезпеченні заданих параметрів якості обробленої поверхні.

**Результати.** Встановлено, що попереднє плазмове нагрівання при механічній обробці забезпечує протікання специфічного термічного циклу в матеріалі припуску, у результаті чого змінюються твердість і пластичність оброблюваного матеріалу. Зміна механічних властивостей припуску приводить до зниження питомих навантажень на ріжучий клин, до зниження інтенсивності його адгезійного зношування й тендітного руйнування, до стабілізації його округлення, що позитивно позначається в цілому на висоті мікронерівностей і ступені наклепу обробленої поверхні.

**Ключові слова:** плазмове нагрівання, мікроструктура, залишкові напруження, мікротвердість, шорсткість поверхні.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-105-113

**Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Розвиток машинобудування вимагає від вчених і інженерів пошуку нових високоефективних методів обробки конструкційних матеріалів, створення надійних технологічних процесів і найбільш ефективного застосування їх в виробничих умовах.

Міцність, в'язкість і інші характеристики сучасних конструкційних матеріалів зростають настільки швидко, що інструментальні матеріали, які використовує виробництво, у цілому ряді випадків не дозволяють здійснювати високопродуктивну обробку заготовок. До того ж різання часто доводиться вести в екстремальних умовах – по кірці, по високоміцних наплавленнях, при більших перетинах зрізу, що збільшує технологічні труднощі. У зв'язку із цими особливостями сучасного виробництва в металообробці, поряд з іншими методами інтенсифікації технологічних операцій, розвивається напрямок по підвищенню ефективності процесу різання шляхом тимчасового зниження міцності оброблюваного матеріалу й зміни механізмів контактних процесів, що протікають на робочих поверхнях інструмента [6-9, 15, 18-20].

Одним з таких процесів є плазмово-механічна обробка (ПМО). З'явившись в середині минулого століття, вона до цих пір є предметом вивчення, в наукових лабораторіях, розкриваються її нові можливості та перспективи. ПМО – досить складний процес, кількість керованих параметрів якого велике, що ускладнює ефективно застосовувати процес без попередніх досліджень для визначення раціональних режимів обробки [1-5]. Він являє собою комбінований процес, при якому механічна енергія та енергія низькотемпературної плазми сумісно використовуються для підвищення ефективності процесу різання при виготовленні деталей машин із сучасних важкооброблюваних матеріалів [10-14, 18-20].

Оскільки термічний цикл поверхневих шарів заготовки при плазмовому нагріванні, внаслідок структурно-фазових перетворень, істотно змінює їх фізико-механічні властивості в сторону зменшення, з'являється можливість значно підвищити продуктивність обробки, забезпечуючи при цьому необхідну стійкість різального інструмента [14, 15].

Висока ефективність ПМО робить актуальними подальші розробки, спрямовані на пошук нових способів застосування плазмової дуги для поверхневого нагрівання, знеміцнення припуску, що дозволило б значно підвищити продуктивність обробки важкооброблюваних матеріалів, за умовою забезпечення якості поверхневих шарів оброблюваних деталей [8-11].

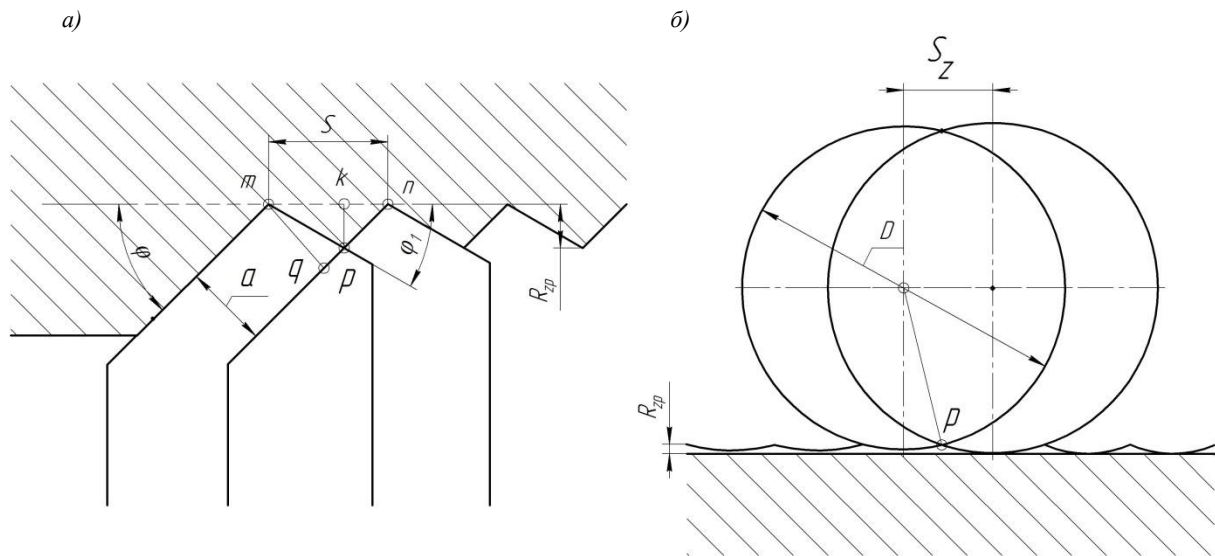
**Аналіз досліджень і публікацій.** Якість обробленої поверхні визначається шорсткістю поверхні й станом матеріалу поверхневого шару. Шорсткість обробленої поверхні характеризується висотою й формою мікронерівностей. Стан матеріалу поверхневого шару характеризується його зміцненням (наклепом), мікроструктурою, величиною й знаком залишкових напружень і глибиною їх залягання [16, 19]. Аналіз літературних даних по токарній обробці й фрезеруванню дозволив виділити конкретні фактори, які впливають на зміну дійсної висоти мікронерівностей, мікроструктуру й залишкові напруження в поверхневому шарі деталі [18-20].

На рис. 1 зображений розрахунковий мікропрофіль обробленої поверхні при точінні (а) і фрезеруванні циліндричними фрезами (б). Для простоти взятий різець без перехідного леза.

При точінні висота розрахункових нерівностей  $R_{zp}$  дорівнює висоті  $pc$  трикутника  $mnp$

$$R_{zp} = mn \cdot \sin \varphi_1; \quad (1)$$

$$R_{zp} = \frac{S \cdot \sin \varphi \cdot \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)} \quad (2)$$



**Рис.1.** Теоретичний мікропрофіль оброблюваної поверхні при точінні (а) і фрезеруванні циліндричними фрезами (б)

Формула придатна для розрахунків  $R_{zp}$  при розточуванні, свердлінні, зенкеруванні, струганні й фрезеруванні торцевими фрезами. При фрезеруванні висота розрахункових нерівностей визначається положенням точки д перетинання двох окружностей, що відстоять друг від друга на відстані, рівному подачі  $S_z$  на зуб фрези

$$R_{zp} \approx \frac{S_z^2}{4D} \quad (3)$$

Розрахункові нерівності при точінні зменшуються при зменшенні подачі, кутів у плані й збільшенні радіуса перехідного леза. Якщо на різці зробити допоміжний кут у плані рівним нулю, а довжину допоміжного леза на 20-30% більше подачі на оборот, то розрахункові нерівності утворюватися не будуть [16].

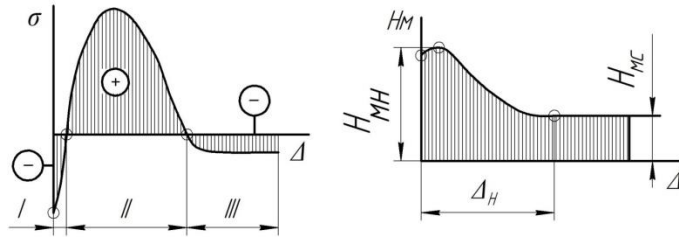
Крім цих факторів на висоту нерівностей впливають усі ті, які змінюють обсяг пластичного деформування матеріалу й умови тертя на контактних поверхнях інструмента. До них можна віднести механічні властивості оброблюваного матеріалу, швидкість різання й властивості застосовуваної мастильно-охолоджувальної рідини.

З підвищенням твердості й міцності оброблюваного матеріалу й зниженням його пластичності обсяг пластичної деформації зменшується, і це приводить до зменшення висоти нерівностей.

Залишкові напруги, що виникають у поверхневому шарі, і його наклеп є наслідком силового поля, створюваного силами різання, нагрівання матеріалу оброблюваної деталі й структурних перетворень. При різанні металевим інструментом (точінні, фрезеруванні, свердлінні) залишкові напруги утворюються головним чином під дією силового поля. Температура має другорядне значення. При обробці тендітних матеріалів залишкові напруги стискаючі, а при обробці пластичних металів найчастіше розтягуювальні. При високотемпературному режимі (шліфуванні) залишкові напруги утворюються внаслідок високої температури поверхневого шару і є завжди розтягуювальними.

На рис. 2 представлена епюра зміни залишкових напруг залежно від відстані  $\Delta$  від обробленої поверхні при обробці більшості пластичних матеріалів. У дуже тонкому шарі товщиною 0,001-0,004 мм (зона I) діють стискаючі напруги. У зоні II, довжина якої залежить від режиму різання й переднього утла інструмента, діють розтягуювальні напруги. Довжина зони II в 10 раз і більш перевершує довжина зони I, і тому стан поверхневого шару визначають характер і величина напруг у зоні II. У зоні III, що врівноважує дія залишкових напруг перших двох зон, напруги стискаюча. Наявність у поверхневому шарі розтягуювальних напруг значно погіршує його

якість, тому що при цьому знижується втомна міцність, а якщо залишкові напруги по величині перевершують межа міцності матеріалу оброблюваної деталі, то це може привести до утвору поверхневих тріщин.



**Рис.2.** Епюра зміни залишкових напруг в залежності від відстані  $\Delta$  від оброблюваної поверхні

Величина й глибина залягання залишкових напруг залежать від переднього кута інструмента, подачі (товщини шару, що зрізується), швидкості різання, ступені зношування інструмента.

нта.

Під ступенем наклепу  $\Delta H_M$  поверхневого шару розуміють відношення різниці найбільшої мікротвердості  $H_{MH}$  наклепаного шару й мікротвердості  $H_{MC}$  ненаклепаного матеріалу до  $H_{MC}$

$$\Delta H_M = [(H_{MH} - H_{MC}) / H_{MC}] 100\%. \quad (4)$$

Наклеп поверхневого шару зв'язаний в основному з деформацією й зміцненням ферритної фази оброблюваного матеріалу. Ступінь наклепу й товщина  $\Delta h$  наклепаного шару перебувають у прямої залежності від ступеня деформації зрізаного шару і діють сил різання.

**Постановка задачі.** Оскільки в спеціальній літературі практично відсутня структурована інформація про особливості змін параметрів якості поверхневих шарів деталі при ПМО, прийнято за доцільне доповнити відсутню інформацію по даному напрямку. Таким чином, метою даної роботи є вдосконалення технології обробки деталей з важкооброблюваних матеріалів, а саме – дослідження й наукове обґрунтування параметрів процесу плазово-механічної обробки поверхонь деталей з легованих сталей для підвищення продуктивності обробки, забезпечення необхідної якості поверхневих шарів обробленої деталі.

Сформульована мета роботи обумовила необхідність дослідження особливостей контактних процесів в зоні різання, в тому числі – впливу параметрів ріжучої частини інструменту та режимів ПМО на шорсткість, залишкові напруження й мікроструктуру поверхневих шарів деталі.

**Виклад матеріалу і результати.** Далі розглянемо отримані дані по впливу параметрів ПМО на мікроструктуру й наклеп поверхневих шарів деталі, а також їх шорсткість і залишкові напруги.

Нагрівання заготовки плазовою дугою спричиняє чотири основні явища: зниження міцності оброблюваного металу; виникнення системи структурних перетворень і термічних напруг у поверхневих шарах заготовки; розплавлення частини металу, що підлягає зрізу, і зміна параметрів тертя на поверхнях контакту нагрітих металів заготовки й різального інструменту. [11, 17].

Мікроструктура й наклеп поверхневих шарів металу. Основною особливістю плазового нагрівання є його локальність, що сполучається з високою потужністю теплового джерела. У заготовці відбуваються теплові процеси, що відрізняються високими швидкостями нагрівання й охолодження, значними градієнтами температур, а самі температури на поверхні нагрівання можуть досягати температур плавлення (і навіть випару) оброблюваного матеріалу. У таких умовах у поверхневих шарах заготовки відбуваються структурні зміни й розбудовуються термічні напруги, створюється дефектний шар.

У дефектному шарі можуть виникати тріщини, зміни хімічного складу металу, а також несприятливий розподіл залишкових напруг. Найнебезпечнішим дефектом обробленої поверхні при ПМО є тріщини, які можуть досягати значної глибини, викликаючи необхідність збільшення припуску на наступну обробку заготовок і знижуючи міцність деталі в цілому. Тріщини можуть виникати найчастіше при обробці тендітних металів, таких, наприклад, як сталь 110Г13Л, чавун або високоміцні наплавлення.

У процесі затвердіння й наступного охолодження ділянок заготовки, що розплавлялись під дією плазової дуги, утворюється кілька зон структурно-зміненого, попередньо-напруженого металу (рис. 3). До поверхні нагрівання прилягає зона дезорієнтованих дендритів 2, у якій виникають глибокі тріщини. Під цією зоною розташовується шар 3 зі стовпчастими дендритами, а далі - область 1, у якій виникають мікротріщини.

**Рис.3.** Схема розташування зон зі зміненою мікроструктурою при ПМО

Металографічні дослідження шарів, що прилягають до обробленої поверхні металу, показують, що при раціональних режимах різання й нагрівання процес ПМО сталей ( у тому числі й термооброблених) не тільки суттєво підвищує продуктивність операцій, але й дозволяє, як правило, одержати задану якість поверхневого шару деталей.

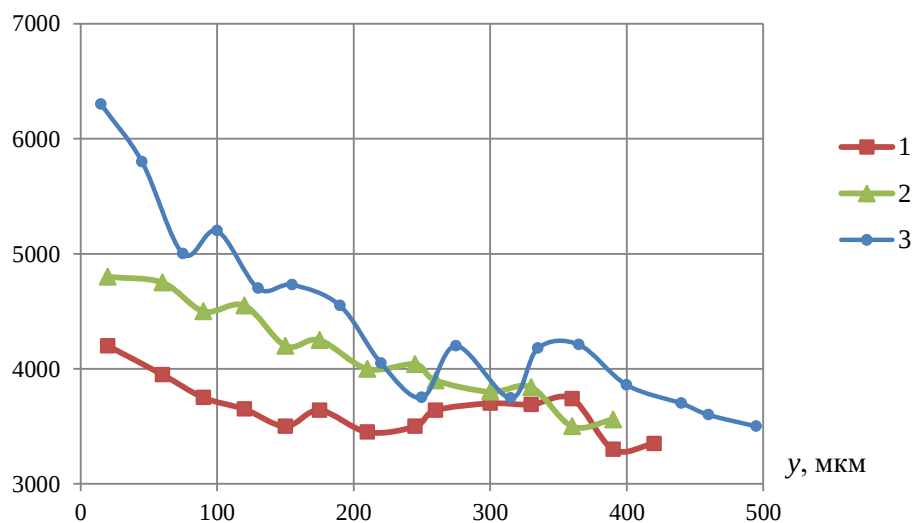
При високотемпературному підігріві жароміцних сплавів, як показали дослідження [6], можлива поява приповерхнього шару зі зміненою дрібнозернистою структурою глибиною 0,2...0,6 мм, що, однак, не знижує якості обробленої поверхні.

Більш складно обробляються при плазмовому нагріванні заготовки з легованих високоміцних і жаростійких чавунів, що мають низьку теплопровідність і високу крихкість. Дослідження показали [8, 10], що високопродуктивна ПМО відпалених хромистих і жаростійкого чавунів цілком здійсненна, якщо плазмове нагрівання проводити більш рівномірно й не настільки інтенсивно, як при обробці заготовок зі сталей.

Хімічний склад поверхневих шарів заготовок зі сталей 110Г13Л, 30Х2Н2М и 18Х2Н4МА, як показали дослідження виконані за допомогою мікроаналізатору «Сameбах MB-1» залишається без змін [6, 17].

Пластичне деформування в процесі ПМО підвищує, як і при звичайному різанні, твердість металу поверхневих шарів деталі в порівнянні з вихідною твердістю матеріалу заготовки. Особливістю процесу ПМО (рис.4) є те, що зі збільшенням потужності дуги мікротвердість зростає. Це пояснюється загартуванням обробленої поверхні відбитим потоком розпечених газів, що виходять із області плями нагрівання.

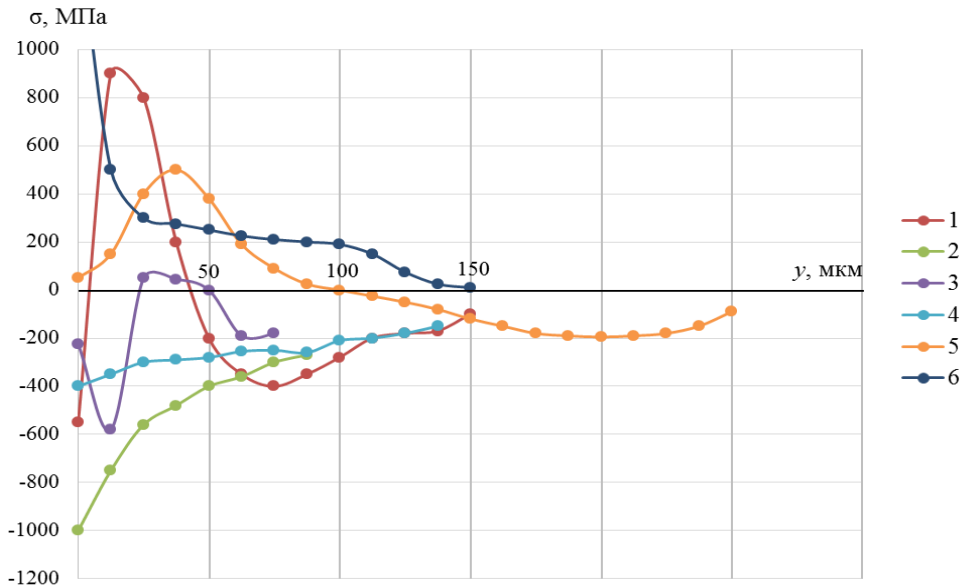
$H$ , МПа

**Рис. 4.** Залежність мікротвердості  $H$  від глибини поверхневого шару заготовок зі сталі 25ХН3МФА ( $t = 18$  мм;  $S = 2,5$  мм/об;  $V = 15$  м/мин): 1 – точіння без нагрівання; 2 – ПМО ( $I=250$  А;  $U=180$  В); 3 – ПМО ( $I=400$  А;  $U=180$  В)

Шорсткість поверхні й залишкові напруги. Дослідження, виконані в СПбТУ [6, 17], показали, що при чорновому та напівчистовому точінні із плазмовим нагріванням шорсткість обробленої поверхні практично не відрізняється від шорсткості, отриманої при тому ж режимі різання без підігріву заготовки плазмовою дугою. Залишкові напруги в шарі, що прилягає до обробленої поверхні, формуються при ПМО як результат температурних і механічних деформацій, що відбуваються в металі під дією термічного циклу й процесу різання.

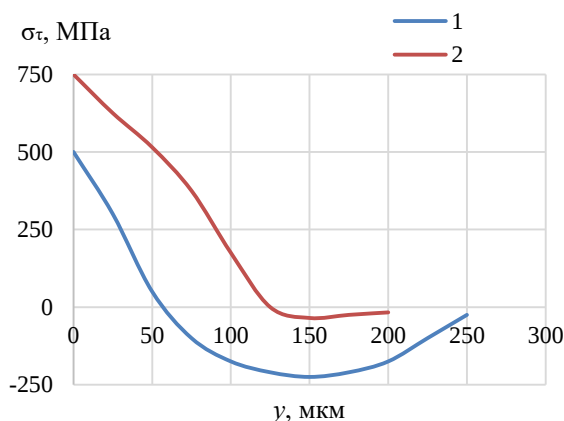
Для визначення дотичних залишкових напруг у поверхневих шарах заготовок після ПМО з використанням методики Н.Н. Давиденкова [6]. Аналіз експериментальних даних (рис. 5, 6) свідчить про складний характер впливу плазмового нагрівання заготовок на залишкові напруги. Найбільше суттєво це проявляється при швидкостях різання нижче 30 м/хв, коли плазмове нагрівання приводить до появи залишкових напруг стиску. Величина цих напруг залежить від питомої енергії теплового джерела й перетину зрізу. При  $t \cdot s = 5 \cdot 1$  мм<sup>2</sup> и  $15 \cdot 2$  мм<sup>2</sup>, коли відпові-

дно  $q_{уд} \geq 10$  и  $q_{уд} \geq 100$  кДж/м, залишкові напруги стискання  $\sigma_r = -(200...600)$  МПа розповсюджуються на глибину 0,05...0,1 мм, перетворюючись далі в балансувальні напруження розтягування. При більш значних швидкостях ПМО заготовок із сталей 40ХН и 15Х2НМФА виникають розтягуювальні поверхневі залишкові напруження  $\sigma_r = 20...600$  МПа. На глибині 0,1...0,4 мм від поверхні ці напруги переходять у стискаючі. Зі зменшення перетину зрізу ймовірність появи напруг стиску на обробленій поверхні заготовки підвищується.

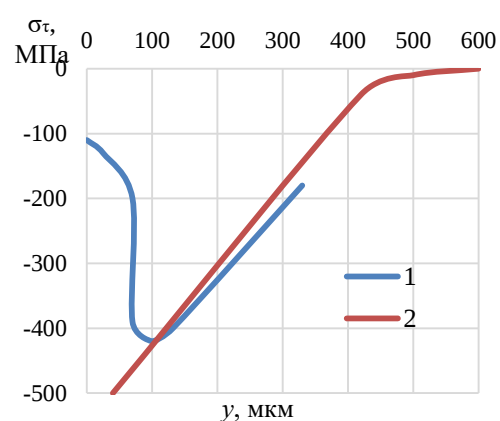


**Рис. 5.** Розподіл залишкових напруг по глибині поверхневого шару (матеріал різця – Т5К10) [17]: 1 – точіння без нагрівання, матеріал заготовки – сталь 38ХН3МФА ( $t = 4$  мм;  $S = 0,43$  мм/об;  $V = 29$  м/хв); 2 – те ж саме, але з нагріванням ( $I = 175$  А;  $U = 120$  В); 3 – точіння заготовок зі сталі 38ХН3МФА ( $t = 2$  мм;  $S = 0,195$  мм/об;  $V = 68$  м/хв;  $I = 100$  А;  $U = 120$  В); 4 – стругання заготовок зі сталі 110Г13Л ( $t = 6$  мм;  $S = 1,4$  мм/подв. хід;  $V = 14$  м/хв;  $I = 200$  А;  $U = 100$  В); 5 – точіння заготовок із сталі 40ХН ( $t = 3$  мм;  $S = 0,4$  мм/об;  $V = 140$  м/хв;  $I = 110$  А;  $U = 125$  В); 6 – точіння заготовок зі сталі 15ХН2МФА ( $t = 5$  мм;  $S = 1,6$  мм/об;  $V = 100$  м/хв;  $I = 230$  А;  $U = 130$  В)

Розтягуювальні напруги на крайках листів, призначених для зварювання, бажані, тому що вони зменшують величину зварювальних напруг. При торцевому фрезеруванні із плазмовим нагріванням, так само як і при обробці заготовок без нагрівання, залишкові напруги виявляються стискаючими (рис.7) [6, 17]. Зменшення величини останніх у зоні врізання зубів фрези зв'язане, очевидно, із впливом розтягуювальних напруг, що виникають під дією термічного циклу підігріву.

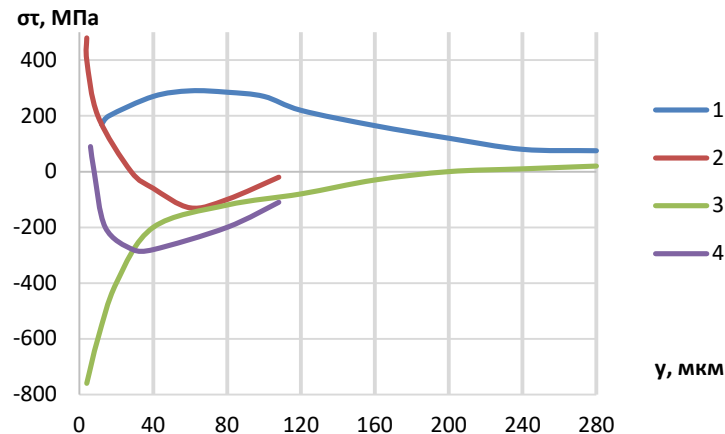


**Рис. 6.** Розподіл залишкових напруг в поверхневих шарах листових заготовок після фрезерування, з плазмовим нагріванням кромки заготовки циліндричною фрезою ( $t = 5$  мм;  $V = 200$  м/хв;  $I = 200$  А;  $U = 140$  В): 1 – заготовка із сталі 14Х2Н3МА ( $S_z = 0,3$  мм/зуб); 2 – заготовка із сталі 45Г17ЮЗ ( $S_z = 0,2$  мм/зуб)



**Рис. 7.** Розподіл залишкових напруг в поверхневих шарах заготовок зі сталі 38ХН3МФА після фрезерування з плазмовим нагріванням торцевою фрезою ( $t = 5$  мм;  $S_z = 0,17$  мм/зуб;  $V = 237$  м/хв;  $I = 170$  А;  $U = 140$  В): 1 – в зразку, отриманому на відстані 60 мм від краю заготовки; 2 – в зразку шириною 10 мм із краю заготовки

Оскільки ПМО в сучасних технологічних процесах застосовується на чорнових операціях, а подальша обробка заготовок здійснюється звичайними методами (без плазмового нагрівання), важливо з'ясувати, яка технологічна спадковість при ПМО залишкових напруг, що виникають після чистової обробки. Становлять інтерес дослідження, у яких проводили виміру напруг у приповерхніх шарах матеріалу валів діаметром 550 мм і довжиною 1000 мм зі сталі 25ХНЗМФА. Спочатку вивчалися напруги після точіння із плазмовим нагріванням, а потім після чистової обробки [17]. Результати вимірів, представлені на рис. 8, показують, що режими ПМО впливають на величину й на розподіл залишкових напруг у поверхневих шарах металу.



**Рис. 8.** Розподіл дотичних залишкових напруг у поверхневому шарі зразків зі сталі 25ХНЗМФА після чорного точіння

Звичайний метод обробки без нагрівання при чорновому точінні ( $t=18$  мм;  $S=2,5$  мм/об;  $V=15$  м/хв) і наступному чистовому точінні ( $t=0,4$  мм;  $S=0,06$  мм/об;  $V=100$  м/хв) привів до появи залишкових напруг, розподіл яких описується кривими 1 і 2. Чистова обробка без нагрівання підвищує розтягувальні залишкові напруги на поверхні заготовки, а на глибині порядку 30 мкм напруга міняє знак. Якщо при тих же режимах різання виконати чорнову обробку заготовки із плазмовим нагріванням ( $I=400$  А;  $U=180$  В), то вихідний розподіл залишкових напруг (крива 3) суттєво відрізняється від розподілу при різанні без нагрівання (крива 1).

Чистова обробка після ПМО, виконана в тих же умовах, що й у першому варіанті технологічного процесу, приводить до розподілу залишкових напруг за аналогічним законом (крива 4), але величини розтягувальних напруг поблизу обробленої поверхні виявляються суттєво меншими (в 4...5 раз), що повинне сприятливо відбиватися на експлуатаційних показниках деталей. Отже, застосування чорнових операцій із плазмовим нагріванням при відповідному доборі режимів різання й параметрів плазмової дуги відкриває перспективу поліпшення експлуатаційних характеристик деталей шляхом формування сприятливої картини розподілу залишкових напруг.

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Плазмово-механічна обробка (ПМО) являє собою комбінований процес, при якому механічна енергія й енергія низькотемпературної плазми спільно використовуються для підвищення ефективності процесу різання при виготовленні деталей машин із сучасних важкооброблюваних матеріалів.

Оскільки термічний цикл поверхневих шарів заготовки при плазмовому нагріванні, внаслідок структурно-фазових перетворень, істотно змінює їх фізико-механічні властивості у бік зменшення, з'являється можливість значно підвищити продуктивність обробки, забезпечуючи при цьому необхідну стійкість різального інструмента.

Металографічні дослідження шарів, що прилягають до обробленої поверхні металу, показують, що при раціональних режимах різання й нагрівання процес ПМО сталей (у тому числі й термооброблених) не тільки суттєво підвищує продуктивність операцій, але й дозволяє, як правило, одержати задану якість поверхневого шару деталей.

При високотемпературному підігріві жароміцних сплавів можлива поява приповерхнього шару зі зміненою дрібнозернистою структурою глибиною 0,2...0,6 мм, що, однак, не знижує якості обробленої поверхні.

Дослідження, показали, що при чорновому й напівчистовому точінні із плазмовим нагріванням шорсткість обробленої поверхні практично не відрізняється від шорсткості, отриманої при тому ж режимі різання без підігріву заготовки плазмовою дугою. Залишкові напруги в зовнішньому шарі формуються при ПМО як результат температурних і механічних деформацій, що відбуваються в металі під дією термічного циклу й процесу різання.

Застосування чорнових операцій із плазмовим нагріванням при відповідному доборі режимів різання й параметрів плазмової дуги відкриває перспективу поліпшення експлуатаційних характеристик деталей шляхом формування сприятливої картини розподілу залишкових напруг.

Висока ефективність ПМО робить актуальними подальші розробки, спрямовані на пошук нових способів застосування плазмової дуги для поверхневого нагрівання, знеміцнення припуску, що дозволило б значно підвищити продуктивність обробки важкооброблюваних матеріалів, за умовою забезпечення якості поверхневих шарів оброблюваних деталей

### Список літератури

1. **Коротких М.Т., Шатерин М.А., Лаевский Г.Б.** Плазменно-механическое фрезерование труднообрабатываемых материалов. – Л.: ЛДНТП, 1988. – 24 с.
2. **Шатерин М.А., Коротких М.Т., Нечаев В.П.** Плазмотрон для плазменно-механической обработки. – «Сварочное производство», 1986, №8, - с.27, 28.
3. **Нечаев В.П., Рязанцев А.А.** Особенности тепловых процессов при обработке заготовок с плазменным нагревом. – Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. – Вип.26. Кривий Ріг, 2010. – с.157-160.
4. **Шатерин М.А., Коротких М.Т., Нечаев В.П.** Плазменно-механическое торцовое фрезерование. – Машиностроитель, 1986, №9.
5. **Шатерин М.А., Коротких М.Т.** Плазменно-механическое фрезерование фасок на кромках листов из стали 30X2H2M. – в сб.: Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. – М.: МДНТП, 1981.
6. **Коротких М. Т., Ушомирская Л. А.** Особенности применения плазменного нагрева при обработке труднообрабатываемых материалов резанием. – Металлообработка. – СПб. №2 (68) 2012. – с. 23-27.
7. **Мрочек Ж. А., Кожуро Л. М., Хейфец М. Л.** Плазменно-механическая обработка материалов. – Вестник ГГТУ имени П.О. Сухого. – Гомель, №4 (26) 2006. – с. 44-47.
8. **Лоладзе Т.Н.** Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
9. **Подураев В.Н.** Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания. М.: Машиностроение, 1977. –304 с.
10. **Нечаев В.П., Позняков И.Н.** Структурные превращения в срезаемом слое при плазменно-механической обработке. – «Плазмотехнология»: Сб. науч.тр. – Киев. – 1991. – С. 35-37
11. **Кунин В.С.** Опыт внедрения плазменно-механической обработки. – Л.: ЛДНТП, 1982. – 28с.
12. **Резников А.Н., Резников Л.А.** Энергетические расчеты при резании с плазменным подогревом обрабатываемого материала. – Энергомашиностроение, 1981, №11, с. 26-28
13. **The PERA «Cutfast» plasma-assisted Hot-machining process.** – Engineering Digest (Canada), 1977, 38, №7, p. 17.
14. **Вакаса Х.** Применение обработки резанием с плазменным подогревом. – Oyo kikai kogau (Mechanical Engineering Application), 1976, т. 17, №3, с. 54-59.
15. **Шатуров, Г. Ф.** Прогрессивные процессы механической обработки поверхностей / Г. Ф. Шатуров, Ж. А. Мрочек. – Минск : УП «Технопринт», 2001. – С. 460.
16. **Бобров В.Ф.** Основы теории резания металлов. М., «Машиностроение», 1975. – С.135-142.
17. **Резников А.Н., Шатерин М.А., Кунин В.С., Резников Л.А.** Обработка металлов резанием с плазменным нагревом. – М.: Машиностроение, 1986. – 232 с.
18. **Sun S., Brandt M., Dargusch M.S.** Thermally Enhanced Machining of Hard-to-Machine Materials. International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2010, Vol. 50(8), p. 663–680.
19. **Madhavulu G., Ahmed B.** Hot Machining Process for Improved Metal Removal Rates in Turning Operations. Journal of Materials Processing Technology. –1994, Vol. 44, p. 199–206.
20. **Kitagawa T., Maekawa K.** Plasma Hot Machining for New Engineering Materials. Wear. – 1990, Vol. 139(2), p. 251–267.

Рукопис подано до редакції 12.12.2019

УДК 004.42:616.1

А. О. САВЧУК<sup>\*</sup>, студентка, Н. Н. ШАПОВАЛОВА, І. О. ДОЦЕНКО, ст. викладачі  
Криворізький національний університет

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ В МЕДИЧНИХ КОНСУЛЬТАТИВНО-ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМАХ

**Мета.** Розробити і теоретично обґрунтувати ефективність застосування методів машинного навчання у ранній діагностиці серцево-судинних захворювань на догоспітальному етапі. Об'єктом дослідження є програмний засіб виявлення серцево-судинних захворювань; предметом дослідження – розробка програмного модуля консультативно-діагностичної системи з використанням апарату машинного навчання.

**Методи.** Для вирішення поставлених завдань використовувалися наступні методи: загальнонаукові методи теоретичного дослідження: аналіз комплексу ознак серцево-судинних захворювань за їх основними класами, синтез отриманих даних і перетворення їх у векторну модель, формалізація методів отримання інформативних ознак, моделювання процесу класифікації отриманих даних за певними типами ознак, узагальнення; методи емпіричного дослідження: вивчення досвіду в області поставленого завдання, тестування отриманої моделі; методи об'єктно-орієнтованого проектування та програмування.

**Наукова новизна.** Теоретично обґрунтовано необхідність процедури відбору сукупності клінічних ознак і лабораторних досліджень, як таких, які є найбільш інформативними для раннього діагностування серцево-судинних захворювань. Процедуру виокремлення таких ознак реалізовано на основі стратегії навчання з вкладеною технікою відбору ознак lasso.

**Практична значимість** виконаної роботи полягає в значному прискоренні процесу ранньої діагностики серцево-судинних захворювань на догоспітальному етапі за рахунок відбору інформативних клінічних ознак на стадії пре-процесінгу даних. Досягнуто задовільного рівня якості моделі визначення приналежності пацієнта до групи ризику серцево-судинних захворювань за рахунок використання методу машинного навчання – градієнтного бустінга. В якості метрик якості обрано долю вірних відповідей, точність і повноту, баланс оптимальних значень метрик знайдено на основі використання гармонічного середнього між точністю і повнотою, – *F*-міри.

**Результати.** Розроблено програмний модуль консультативно-діагностичної системи, який дозволяє оперативно проводити ранню діагностику серцево-судинних захворювань на основі методу машинного навчання і є доцільним для використання у медико-діагностичних центрах.

**Ключові слова:** серцево-судинні захворювання, рання діагностика, машинне навчання, градієнтний бустінг, регуляризація, точність, повнота.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-113-117

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами.** На сьогоднішній день серцево-судинні захворювання (ССЗ) є найбільш поширеною причиною загибелі серед неінфекційних захворювань у всьому світі. У країнах з низьким і середнім рівнем доходу на серцево-судинні захворювання припадає 75% випадків смерті. До серцево-судинних захворювань відносяться: артеріальна гіпертонія, ішемічна хвороба серця, судинні захворювання головного мозку, а також серцева недостатність і порушення ритму серця. Ішемічна хвороба серця (ІХС) є найпоширенішим захворюванням, так у 2017 році Україна посіла перше місце в світі за смертністю від ІХС [1].

Джерелом таких високих показників є уникнення ранньої медичної діагностики через її дорожнечу та тривалість. Це унеможливує проведення первинної профілактики – запобігання розвитку ССЗ, в результаті чого пацієнти, які вже страждають цими хворобами, змушені витратити більше коштів на лікування, що призводить до зuboжіння сімей і супроводжується зниженням рівня економіки країни.

Рішенням даної проблеми може стати застосування системи ранньої діагностики ССЗ на догоспітальному етапі.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Медичні консультативно-діагностичні системи – це такі системи, які використовуються для визначення стану пацієнта в даний період часу, а також аналізу розвитку патологій в майбутньому і видачі рекомендацій щодо подальшої тактики лікування. Вхідною інформацією для таких систем є дані, які були отримані в результаті діалогу з користувачем. Оскільки пацієнт може неправильно інтерпретувати симптоми, а лікар – не мати достатню кваліфікацію для вирішення виниклої проблеми, вхідна інформація доповнюється даними, отриманими за допомогою приладо-комп'ютерних систем, і являє собою більш об'єктивну оцінку того, що відбувається. На виході МКДС пропонує лікарю рішення проаналізувати

ної проблеми, обґрунтування прийнятого системою висновку, а також можливі альтернативи. Таким чином, МКДС підтверджують гіпотези лікаря і сприяють підвищенню його кваліфікації.

На сьогоднішній день, для діагностики пацієнта, як правило, використовуються експертні системи. Це такий підвид МКДС, який передбачає імітацію лікарської логіки для прийняття рішення в певній предметній області на основі розробленої бази знань, що містить досвід висококваліфікованих фахівців [2]. Експертні системи класифікують як системи штучного інтелекту, що передбачають використання евристичних алгоритмів для знаходження вирішення поставленого завдання. Для коректної роботи даних систем необхідно постійне втручання фахівців – інженерів по знаннях, з метою перевірки адекватності роботи системи та внесення змін до бази знань. Таким чином, обсяги, які містяться в системі інформації постійно зростають, а значить зростає і обсяг правил обробки цієї інформації, тим самим збільшуючи час для знаходження рішення. До того ж існує колосальна безліч діагностичних правил, неочевидних на перший погляд, що робить дуже важкою можливість врахувати всі чинники для адекватної роботи системи.

Іншим підвидом МКДС є системи штучного інтелекту, що передбачають використання методів машинного навчання. Дані системи вимагають менше місця для зберігання інформації і працюють в рази швидше експертних систем, що є їх безперечною перевагою, не дивлячись на додатковий час, необхідний для їх навчання на початку процесу розробки. Крім цього, системи, побудовані за допомогою методів машинного навчання, можуть використовуватися для пошуку неочевидних на перший погляд залежностей. В діагностиці медичних патологій, такими факторами можуть послужити захворювання, які часто зустрічаються, з нехарактерними для них симптомами, симптоми, які важко виявляються, а також пошук рідкісних захворювань і класифікації різних захворювань з однаковими, на перший погляд, симптомами.

В даний час виділяють такі способи машинного навчання: класичне навчання (без вчителя, з учителем), навчання з підкріпленням і глибоке навчання (нейронні мережі). Нижче розглянуті приклади реалізації деяких з цих способів.

Санджив Дж. Шах та ін. [3] запропонували своє рішення для прогнозування виживання людей, які страждають серцевою недостатністю. Вони створили модель навчання без вчителя за 46 ознаками, яка вирішувала завдання кластеризації пацієнтів на три окремі феногрупи. У якості навчальної вибірки було досліджено дані 397 пацієнтів від 53 до 77 років. Використавши модель навчання з вчителем, вони спрогнозували чотири ймовірних наслідки для кожної з груп: госпіталізація по причині серцевої недостатності, серцево-судинна госпіталізація, смерть та сукупний результат серцево-судинної госпіталізації чи смерті. До переваг методу можна віднести прискорення процесу обчислення для великої кількості об'єктів за рахунок вирішення задачі кластеризації. В якості недоліка можна виділити постійну необхідність коригувати шаблон кластера, тобто дослідження повинно бути підтверджено іншими когортами.

Модель, запропонована Едвардом Чоем [4] – це алгоритм прогнозування діагностики серцевої недостатності з використанням методу глибокого навчання – вентильних рекурентних вузлів. Навчальні дані були отримані від пацієнтів первинної медичної допомоги Sutter Palo Alto Medical Foundation (приблизно 58 652 000 медичних кодів, призначених пацієнтам). Перевагою методу є більша ефективність в прогнозуванні порівняно з іншими класами нейронних мереж. До недоліків відносяться потреба у великій навчальній вибірці та складність реалізації.

Л. Ясницький та ін. представили діагностичну систему у вигляді моделі нейронних мереж, яка за 51 ознаками діагностує 9 різних захворювань серцево-судинної системи, таких як: ішемічна хвороба серця, хронічна серцева недостатність, стенокардія стабільна, миготлива аритмія, аритмія і блокади серця, гіпертонія, стенокардія нестабільна, інфаркт міокарда, екстрасистолія. Для навчальної вибірки було оброблено 116 анкет, серед яких були як анкети здорових людей, так і анкети тих, чий захворювання підтверджені ЕКГ діагностикою та лабораторними тестами. Перевагою методу можна вважати адекватні прогнози щодо захворювання ішемічної хвороби серця. Недоліком є велика похибка прогнозування інших восьми діагнозів [5].

**Постановка завдання.** На основі певних клінічних симптомів і лабораторних досліджень формується простір ознак, який описує стан пацієнта. Необхідно визначити приналежність об'єкту до певного рівню захворюваності.

В ході дослідження використовувались відкриті дані, з фонду Клівлендської клініки, відомі як Клівлендська база хвороб серця. Набір містить 14 ознак для 303 осіб, які страждають на хвороби серця. Пацієнти розділені на п'ять груп за рівнем захворюваності. Кожна група має рівень

від 0 (хвороба не виявлена) до 4. Серед ознак вік, стать, артеріальний тиск, біль у грудях, рівень цукру у крові, результати ЕКГ, кількість крупних судів тощо.

Досліджувана задача відноситься до класу задач навчання за прецедентами (supervised learning). Кожен прецедент являє собою пару «об'єкт – відповідь» [6]. Потрібно знайти функціональну залежність відповідей від описів об'єктів і побудувати алгоритм, який бере на вході опис об'єкта і видає на виході відповідь [7, 8].

**Викладення матеріалу та результати.** Задачу пропонується вирішити популярним ансамблевим методом штучного інтелекту – градієнтним бустінгом над вирішальними деревами. На сьогоднішній день метод градієнтного бустінгу є одним з кращих способів спрямованої побудови композиції [9].

Ансамбль, або композиція, будується з простих базових алгоритмів. В якості базового алгоритма використовується звичайна модель машинного навчання, така як дерево рішень (рис. 1).

Бустінг – це спосіб побудови композицій з дерев рішень, в рамках якого базові алгоритми будуються послідовно, один за одним і кожен наступний алгоритм будується таким чином, щоб виправляти помилки вже побудованої композиції (1).

$$a_N(x) = \sum_{n=1}^N b_n(x), \quad (1)$$

де  $b_n(x)$  – базові алгоритми (дерева рішень) на просторі ознак  $x$ .

Для вирішення поставленого завдання будемо використовувати програмну бібліотеку з відкритим кодом XGBoost для Python. Перед тим, як почати процедуру навчання і валідації моделі, необхідно виокремити ті ознаки і результати клінічних досліджень, які є інформативними для постановки діагнозу. Для цього використаємо стратегію навчання моделей з вкладеною технікою відбору ознак – Lasso [10]. Ідея техніки полягає у накладанні штрафу за надвеликі значення параметрів моделі (зазвичай такі значення з'являються при мало інформативних ознаках), і зведенні їх до нуля. В якості штрафної функції використовується L1- норма вектора вагових коефіцієнтів (2)

$$\|\omega\|_1 = \sum_{j=1}^d |\omega_j|, \quad (2)$$

де  $\omega$  – вектор вагових коефіцієнтів,  $d$  – кількість ознак.

Оскільки штрафна функція є сумою модулів вагових коефіцієнтів, а модульна функція не є гладкою, тому при оптимізації функціоналу помилки градієнтним методом, робиться припущення про те, що в точці нуль похідна функції дорівнюватиме нулю (хоча формально похідна в нулі не існує) [11, 12]. Похідна модуля є константною величиною, тому градієнтний спуск прямує до нуля з постійною швидкістю, а потрапивши до нього, там і залишається. Таким чином, неінформативні ознаки отримують нульові значення вагових коефіцієнтів, тим самим спрощуючи модель і водночас запобігають ефект перенавчання. Цей ефект спостерігається, коли на виборці, яка побувала у навчанні, модель показує прийнятні значення якості, а на новому наборі даних – неприйнятні, або зовсім неадекватні.

Після проведеного відбору, побудуємо ансамблевую модель XGBoost:

```
from sklearn.model_selection import GridSearchCV
clf = xgb.XGBClassifier()
parameters = {
    "eta" : [0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 ],
    "max_depth" : [ 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15],
    "min_child_weight" : [ 1, 3, 5, 7 ],
    "alpha" : [ 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 ],
    "colsample_bytree" : [ 0.3, 0.4, 0.5, 0.7 ] }
grid = GridSearchCV(clf,
                    parameters, n_jobs=4,
```



Рис. 1 Схема додавання базових алгоритмів до композиції

```

scoring="neg_log_loss",
cv=3)
grid.fit(X_train, Y_train)

```

Оскільки налаштування методу залежить від багатьох гіперпараметрів, таких як кількість базових алгоритмів у композиції, глибини дерев, критерію зупину побудови дерева, обсягу вибірки, яка припадає на один базовий алгоритм, коефіцієнтів регуляризації [14], було прийняте рішення підібрати оптимальні значення гіперпараметрів за допомогою методу GridSearchCV, який реалізує метод «підгонки» і «оцінки» (рис. 2).

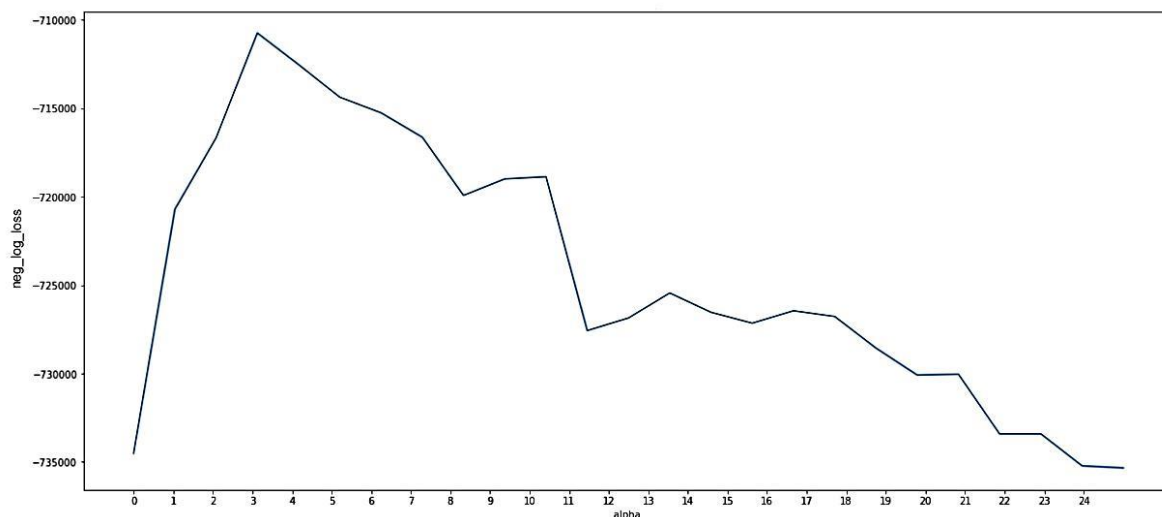


Рис. 2 Графік залежності якості алгоритму від коефіцієнта регуляризації

Побудовано композицію з 5000 дерев глибиною 4. Ці параметри були підібрані емпірично, виходячи з міркувань розумного співвідношення витрат часу на навчання моделі і прийнятної величини якості класифікатора.

Для отінення якості класифікатора будемо використовувати точність (precision) і повноту (recall). Ці метрики використовуються при оцінці здебільшого числа алгоритмів вилучення інформації. Точність показує наскільки можна довіряти класифікатору в разі спрацювання (алгоритм відносить об'єкт до певного класу, і цей об'єкт дійсно належить до цього класу). Повнота показує на якій частці справжніх об'єктів певного класу алгоритм спрацює. Зрозуміло що чим вище точність і повнота, тим краще. Але максимальна точність і повнота практично не досяжні одночасно і доводиться шукати якийсь баланс. Тому будемо додатково використовувати метрику, яка об'єднує у собі інформацію про точність та повноту алгоритму –  $F$ -міру.  $F$ -міра є гармонійне середнє між точністю і повнотою. Вона прямує до нуля, якщо точність або повнота прямують до нуля. Будемо розрахувати  $F$ -міру надавши різну вагу точності і повноті (3), тому що ми хочемо виявити як можна більше пацієнтів, схильних до ССХ, не менш, ніж 80%. Тоді ставлять завдання максимізації точності за умови того, що повнота має бути більшою за 0,8.

$$F = (\beta^2 + 1) \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\beta^2 \text{Precision} + \text{Recall}}, \quad (3)$$

де  $\beta$  приймає значення в діапазоні  $0 < \beta < 1$  якщо пріоритет віддається точності, а при  $\beta > 1$  пріоритет віддається повноті.

Прийнята в роботу модель дає якість класифікації у розмірі 81%, при значеннях повноти і точності також 81%.

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Таким чином розроблений модуль діагностики серцево-судинних захворювань медичної консультативно-діагностичної системи з урахуванням найбільш інформативних лабораторних і клінічних ознак, відібраних за технологією lasso-регуляризації, є новим високоефективним засобом ранньої діагностики серцево-судинних захворювань, що дозволить підняти на більш новий рівень якість медичного обслуговування пацієнтів на догоспітальному етапі, які належать до групи ризику. Розроблений модуль надає лікарям якісний сучасний інструмент для знаходження оптимального рішення при постановці діагнозу. Основною особливістю програмного модуля є те, що довготривалий процес навчання

і валідації моделі, що робить прогнозні припущення, виконується на етапі запуску системи, а під час експлуатації система функціонує дуже швидко. Модуль має простий і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, прогнозований діагноз виводиться з вказанням рівню вірогідності.

В ході подальших досліджень отримані висновки планується перевірити з застосуванням інших стратегій і методів штучного інтелекту, зокрема, штучних нейронних мереж прямого розповсюдження.

#### Список літератури

1. Д. С. Полякова. «Этот хрупкий мир»: Украина – на 1-м месте по смертности от ишемической болезни сердца / Полякова Д.С. // Издательство «МОРИОН». – 2019.
2. Б. А. Корбинский. Консультативные интеллектуальные медицинские системы: классификации, принципы построения, эффективность / Б.А. Корбинский. // Врач и информационные технологии. – 2008. – С. 38–47.
3. Sanjiv J. Shah. Phenomapping for Novel Classification of Heart Failure With Preserved Ejection Fraction / Sanjiv J. Shah, Daniel H. Katz, Senthil Selvaraj. // Circulation. – 2015. – №131. – С. 269–279.
4. Edward Choi. Using recurrent neural network models for early detection of heart failure onset / Edward Choi, Andy Schuetz, Walter F Stewart, Jimeng Sun. // Journal of the American Medical Informatics Association. – 2017. – №24. – С. 361–370.
5. Л. Н. Ясницкий. Нейросетевая система экспресс-диагностики сердечно-сосудистых заболеваний / Л. Н. Ясницкий, А. А. Думпер, А. Н. Полещук. // Пермский медицинский журнал. – 2011. – №4. – С. 77–86.
6. Порівняльний аналіз методів оптимізації функціоналу якості моделей машинного навчання / Н. Н. Шаповалова, О. Г. Рибальченко, Д. І. Куропятник. // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць / національний університет Криворізький ; М-во освіти і науки України, ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг, 2018. – Вип. 46. – С. 104–112.
7. Луис Педро Коэльо. Построение систем машинного обучения на языке Python / Луис Педро Коэльо, Вилли Ричарт. 2-е издание / пер. с англ. Слинкин А. А. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 302 с.
8. Петер Флах. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных. / Петер Флах. // Учебник / пер. с англ. Слинкин А. А. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 408 с.
9. Л. Н. Ясницкий. Введения в штучний інтелект / Л. Н. Ясницкий. – видання 1-е. – Издательский центр «Академия», 2005. – 176 с.
10. Л. В. Забуранна. Оптимізаційні методи та моделі. Підручник. / Л. В. Забуранна, Н. В. Попрозман, Н. А. Клименко, О. І. Попрозман, С. В. Забуранний. – К.: \_\_, 2014. – 372 с.
11. В. В. Вітлінський, Наконечний С. І., Терещенко Т. О. Математичне програмування / В. В. Вітлінський, Наконечний С. І., Терещенко Т. О. // Навч.-метод. посібник для самост. вивч. дисц. – К.: КНЕУ, 2001. – 248 с.
12. Нейт Сильвер. Сигнал и Шум. Почему одни прогнозы сбываются, а другие – нет / Нейт Сильвер // Азбука-Аттикус, КоЛибри, 2015. – 400 с.
13. William M. Bolstad. Introduction to Bayesian Statistics / William M. Bolstad // 2nd Edition // Wiley-Interscience; 2nd edition.
14. Г. К. Вороновский. Генетичні алгоритми, штучні нейронні мережі і проблеми віртуальної реальності. / Г. К. Вороновский, Махотило К. В., Петрашев С. Н., Сергеев С. А. – Замовне. – Х.: ОСНОВА, 1997. – 112 с.

Рукопис подано до редакції 18.11.2019

УДК 622.7: 004.94

О.І. САВИЦЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., М.А. ТИМОШЕНКО, асистент  
Криворізький національний університет

### РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СЕКЦІЄЮ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІРТУАЛЬНИХ АНАЛІЗАТОРІВ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ЗАСОБАМИ ПРОГРАМОВАНОГО КОНТРОЛЕРА

**Мета.** Метою даної роботи є створення моделі ділянки секції збагачувальної фабрики з використанням віртуальних аналізаторів при моделюванні засобами програмованого контролера для моніторингу та контролю основних показників роботи технологічних механізмів та стану оброблюваного продукту на різних етапах операцій збагачення. Складність, інерційність, нестационарність та динамічність технологічних процесів, що відбуваються на збагачувальній фабриці, наявність складних зв'язків та реєктивів між технологічними механізмами обумовлюють застосування нестандартного підходу для створення моделі секції, а саме розглядання моделі з точки зору застосування програмованих логічних контролерів і, відповідно, використання для створення моделі середовища програмування ПЛК. В умовах мультиагентного керування модель повинна розбиватись на окремі частини для кожного агента керування.

**Методи дослідження.** Підтверджено можливість застосування нетрадиційного програмного середовища для моделювання роботи секції збагачувальної фабрики. У той час коли для створення моделі об'єкту керування зазви-

чай використовуються пакети чисто математичного характеру, дана стаття розглядає можливість застосування для поставленої мети середовища для програмування ПЛК, а саме Unity Pro XL фірми Schneider Electric.

**Наукова новизна.** Розв'язання поставленої задачі складає актуальність роботи. Її метою є створення моделі секції фабрики збагачення залізної руди з використанням віртуальних аналізаторів при моделюванні засобами програмованого контролера з ціллю контролю основних показників роботи технологічних агрегатів та стану пульпи на різних етапах збагачення.

**Практична значимість.** Обґрунтовано застосування середовища програмування ПЛК для створення моделі секції збагачувальної фабрики. Створено попередню спрощену модель об'єкту керування, що може бути модернізована і доповнена для створення системи керування технологічним процесом з урахуванням більшої кількості параметрів управління.

**Результати.** Розроблена модель з використанням віртуальних аналізаторів при моделюванні засобами програмованого контролера дозволяє контролювати найважливіші параметри перебігу збагачувальних процесів та стану оброблюваного продукту. При створенні моделі враховувалися лише найголовніші параметри, які найлегше вимірювати та контролювати у реальних умовах, тому модель є спрощеною. Напрямок подальших досліджень є удосконалення моделі моніторингу та перетворення її у повноцінну модель системи керування.

**Ключові слова.** Збагачення, залізна руда, автоматизація, моделювання, ПЛК, Unity Pro XL, віртуальні аналізатори.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-117-121

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** На сьогодні головна мета виробництва – скорочення виробничих витрат. Повна оптимізація автоматизованого управління, використання вдосконалених систем та сучасного обладнання підвищують енергоефективність та фінансові показники.

На збагачувальному заводі існує безліч технічних процедур, а принципи їх управління вимагають знання фізичних умов та механізмів, різного обладнання та точних розрахунків. Крім того, вони взаємопов'язані і мають прямий вплив на спільну роботу один одного - неефективна робота над технічним механізмом призводить до неефективної роботи над наступними процесами. Аналіз результатів використання класичних автоматизованих методів управління показав, що в більшості випадків важливо контролювати окремі механізми, виходячи з того, що інші відповідають нормі. Управління секцією збагачувальної фабрики, як правило, дозволяє охопити весь процес, проаналізувати технічні зв'язки між машинами та їх вплив на загальну роботу секції [1-3].

**Аналіз досліджень та публікацій.** Для вирішення проблем дослідження процесів збагачення залізорудної руди загалом необхідно створити загальну модель системи управління, яка повинна постійно визначати та контролювати властивості об'єкта управління за допомогою зворотного зв'язку за наявності достовірної інформаційної системи. Такі системи завжди підтримуються в умовах принципової невизначеності щодо розвитку та неповного врахування. Побудова формальних моделей для більшості процесів збору руди може здатися складним.

Тому необхідно періодично та систематично вирішувати складні проблеми, щоб створити модель системи управління секцією збагачувальної фабрики. Тому, перш ніж створювати модель системи управління, рекомендується побудувати модель моніторингу та аналізу та перевірити існуючі параметри, і лише у випадку успішних зв'язків між методами моделювання та отриманими результатами слід проводити моделювання прямого керування.

Важко оцінити більшість технічних механізмів секції збагачення та параметрів продукту, що переробляється в різних операціях збагачення. Також важко відрегулювати ці параметри [4, 5]. Тому спочатку необхідно вибрати основні параметри моделі та перевірити працездатність, а лише потім ускладнити модель, додавши інші значення. На основі досвіду зарубіжних та вітчизняних фахівців для попередньої моделі збагачення були обрані млини та двигуни гідроциклону, а у якості їх параметрів – активну потужність, густину продукту, їх продуктивності та вміст магнітного заліза. Вибір керуючих ефектів має вирішальне значення для перетворення системи моніторингу в систему управління, оскільки це важко, а іноді і неможливо (наприклад, шляхом зміни швидкості барабана млина) у реальних виробничих умовах [6-8]. Найпростіший спосіб контролю - це регулювання об'єму технологічної води, який додається в подачу до технологічних механізмів для контролю густини, тому для попередньої спрощеної моделі цей параметр був обраний для побудови взаємозв'язків між різними показниками продуктивності та станом оброблюваного продукту [9 - 11].

**Постановка задачі.** Метою дослідження була розробка моделі збагачення залізної руди за допомогою програмного середовища PAC. Для досягнення цієї мети було поставлено такі завдання: вибір схеми збагачення залізної руди та її аналіз; визначення конкретних вимірюваних та керованих параметрів, що підлягають вимірюванню. Враховуючи вищезазначені функції, трьохстадійна секція збагачення залізної руди вимагає побудови моделі на основі математичних та логічних функцій з обмеженими можливостями щодо продуктивності та пам'яті PAC.

**Викладення матеріалу та результати.** Для моделювання секції збагачення залізної руди було обрано середовище програмування Schneider Electric Unity Pro XL. Традиційно секція збагачення залізної руди поділяється на три етапи. Кожен етап має свої особливості роботи, і в результаті кожен з них вимагає різних технічних підходів. Першим етапом є підготовка залізної руди до подальшої переробки, тому він складається з таких операцій, як подрібнення, класифікація та мокра магнітна сепарація із закритим циклом класифікації. Друга фаза включає гідроциклонну батарею, мокрий магнітний сепаратор, млин і дешламатор. Третя стадія складається з млина, мокрого магнітного сепаратора, дешламатора та двох батарей гідроциклонів зі складними рециклами.

На різних етапах моделювання обробка враховувала технічні механізми та параметри маси, які можна легко виміряти в реальних умовах і співвіднести з керуючими ефектами, такими як потужність млина і двигуна гідроциклону, густина у зливах гідроциклонів, класификаторів, дешламаторів та сепараторів, вміст магнітного заліза у зливах мокрих магнітних сепараторів. Контроль кількості переробленої води, що додається до технічних процесів, вважається регулюючим ефектом.

Для системи керування багатостадійним процесом було розглянуто можливість застосування методів оптимального керування та синтезу. Коли можливо точно визначити об'єкт управління, можна уникнути складних процедур коригування системи управління за допомогою контролера з внутрішньою конструкцією. Ця ідея є відправною точкою для подальших розробок і пізніше отримала назву Internal Model Control (IMC), оскільки об'єктна модель явно є внутрішньою частиною контролера. Тобто, якщо у блоку управління є об'єктна модель, то теоретично можлива ідеальна якість управління (перерегулювання, зміни процесу, відсутність мінімального часу регулювання).

Суть цього підходу полягає в тому, що виявлення структури об'єкта та введення його до регулятора призводить до якісної реакції на зміну роботи, одночасно якісно реагуючи на зовнішні порушення.

Для вирішення проблеми оптимального функціонування системи управління здійснюється основний опис заявлених цілей управління та попередньої інформації про систему - її структуру, динаміку об'єктів та блоки управління, робочі алгоритми тощо. Метою адаптивної системи є забезпечення необхідних показників продуктивності системи за умов існування невизначеності, а в процесі її синтезу стратегії пошуку оптимальних керуючих ефектів можуть бути визначені та реалізовані шляхом вибору або зміни параметрів керування параметрами структури системи. Ці поняття слід формалізувати у вигляді математичної постановки проблеми.

Процедуру оптимізації можна здійснити за допомогою методу оптимізації параметричного синтезу. Він призначений для пошуку правильних налаштувань елементів управління в автоматичній системі управління. Відомі математичні прийоми аналізу та синтезу об'єктів мають обмежений обсяг, оскільки вони призначені для вирішення певного обмеженого класу завдань.

Підхід, заснований на використанні параметричного оптимального синтезу, є універсальним. Його можна використовувати для опису будь-яких систем: лінійних, нелінійних, безперервних, дискретних, диференціальних, алгебраїчних або будь-яких комбінацій логічних рівнянь. Параметричний метод синтезу дозволяє синтезувати та аналізувати лінійні та нелінійні системи для широкого кола об'єктів управління: одновимірних, багатовимірних, стаціонарних, нестаціонарних, квазістаціонарних, детермінованих та випадкових.

Операційна модель збагачення залізної руди використовувала математичні та логічні функції Unity Pro XL та використовувалась для моделювання реакції на випадкові збурення. Оскільки справжніх рандомізаторів на сьогодні немає, функції реалізації випадкових чисел засновані на різних законах математичного розподілу. У цьому конкретному випадку використовується нормальний розподіл випадкових чисел. У створеній моделі параметри оброблюваного продукту та робочого стану механізмів визначаються з певним періодом дискретизації, а регулюю-

чі дії механізмів використовуються для стабілізації процесів збагачення. Відповідно, були створені змінні REAL (з плаваючою точкою) для опису аналогових значень у реальному часі.

Екран оператора був створений у середовищі розробки для візуалізації моніторингу перебігу процесів. Була створена стилізована схема взаємозв'язку технічних механізмів обраної секції збагачення з відображенням даних про параметри кожного механізму та оброблюваного продукту в реальному часі. Анімаційна таблиця для розробленої програми, що показує значення параметрів у реальному часі, показана на рис. 1

| Name     | Value  | Type |
|----------|--------|------|
| I3       | 83.5   | REAL |
| Ds3      | 1.19   | REAL |
| Ws3      | 958.9  | REAL |
| Qs3      | 1228.9 | REAL |
| Dhc3_2_o | 1.21   | REAL |
| Dhc3_2_u | 2.04   | REAL |
| Phc3_2   | 132.0  | REAL |
| Whc3_2   | 925.1  | REAL |
| Qhc3_2_o | 1143.5 | REAL |
| Qhc3_2_u | 171.6  | REAL |
| Dd3      | 1.17   | REAL |
| Wd3      | 1080.0 | REAL |
| Qd3      | 1350.0 | REAL |
| Pm3      | 1250.0 | REAL |
| Wm3      | 80.4   | REAL |
| Qm3      | 200.4  | REAL |
| Dhc3_1_o | 1.41   | REAL |
| Dhc3_1_u | 2.05   | REAL |
| Phc3_1   | 132.6  | REAL |
| Whc3_1   | 355.0  | REAL |
| Qhc3_1_o | 647.8  | REAL |
| Qhc3_1_u | 172.3  | REAL |
| I2       | 67.5   | REAL |
| Ds2      | 1.34   | REAL |
| Ws2      | 718.7  | REAL |
| Qs2      | 1091.8 | REAL |
| Pm2      | 1250.0 | REAL |
| Wm2      | 51.6   | REAL |
| Qm2      | 171.6  | REAL |
| Dd2      | 1.17   | REAL |
| Wd2      | 1080.0 | REAL |
| Qd2      | 1350.0 | REAL |
| Dhc2_o   | 1.43   | REAL |

Рис. 1. Анімаційна таблиця розробленої моделі

Як приклад, розглянемо параметри роботи окремого механізму та його можливість ним керувати. Як видно з рис. 2, найскладніший рецикл знаходиться на третьому етапі, а саме на гідроциклоні з символом 3.1. Основне його живлення надходить з мокрого магнітного сепаратора з другої стадії збагачення разом із пісками батареї гідроциклонів 3.2 та власними пісками гідроциклону 3.1, що знаходиться у закритому контурі з млином 3. Розглянемо, як змінюється щільність пісків та зливу гідроциклону залежно від змодельованих умов роботи та об'єму технологічної води, що додається у зумпф гідроциклону.

На рис. 2 показана частина візуалізованого екрана оператора згенерованої моделі, що показує продуктивність магнітного сепаратору першої стадії збагачення. У таблиці наведено чотири параметри, а саме: продуктивність  $Q$  (т/год) сепаратору; кількість води, що додається у живлення ( $\text{м}^3/\text{год}$ ), густина продукту в зливі ( $\text{т}/\text{м}^3$ ) та приблизний орієнтований вміст магнітного заліза у про-

дукті магнітного сепаратора. На рис. 2а показаний сепаратор в режимі стабілізації, коли коливання характеристик живлення незначні і не впливають суттєво на продуктивність механізму. Рис. 2б ілюструє різке збільшення густини живлення, що впливає на стабільність режиму роботи технологічного механізму. На рис. 2в показано, як стабілізується значення густини за рахунок збільшення кількості води, що додається до сепаратора.

|             |             |             |
|-------------|-------------|-------------|
| а)          | б)          | в)          |
| Сепаратор 1 | Сепаратор 1 | Сепаратор 1 |
| Q           | Q           | Q           |
| Вода        | Вода        | Вода        |
| Густ.       | Густ.       | Густ.       |
| Залізо      | Залізо      | Залізо      |

|        |
|--------|
| 661.34 |
| 563.34 |
| 1.12   |
| 52.5   |

|        |
|--------|
| 658.73 |
| 490.19 |
| 1.43   |
| 51.7   |

|        |
|--------|
| 662.7  |
| 570.95 |
| 1.1    |
| 52.6   |

Рис. 2. а - стабільні показники роботи магнітного сепаратору першої стадії збагачення без значних збурюючих впливів; б - показники роботи магнітного сепаратору при збільшеній густині живлення, але сталій продуктивності; в - стабілізовані показники роботи магнітного сепаратору при зміненому значенні регулюючого впливу – об'єму води

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Технологія моделювання секції для збагачення залізної руди дозволяє в режимі реального часу відслідковувати роботу технічного обладнання та стан продукту на різних етапах збагачення. Система в першому наближенні враховує лише параметри технічних механізмів і стан продукту, які легко виміряти і що мають

чітку кореляційну залежність. На цьому етапі в якості керуючого впливу вибирають контроль кількості технологічної води, що додається до технологічних механізмів.

Розроблена модель системи управління даної секції збагачення залізної руди забезпечує візуалізацію цього процесу проектування та моніторинг його основних параметрів для вимірювання та визначення умов для подальшої розробки моделі.

Вдосконалення моделі автоматизованої системи керування є напрямком подальших досліджень моделювання контрольованих параметрів та керуючих ефектів процесів збагачення.

### Список літератури

1. **Morkun V.** Optimization of the second and third stages of grinding based on fuzzy control algorithms / V. Morkun, O. Savitskiy, M. Tymoshenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №8. – P. 22–25.
2. **Кондратець В.О.** Обґрунтування системи комп'ютерної ідентифікації та регулювання розрідження пульпи у кульових млинах з циркулюючим навантаженням / В.О. Кондратець, О.М. Сербул // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2013. – Вип. 34. – С.45-50
3. **Танатар А.И.** Элементы промышленной автоматизации и их динамические свойства / Танатар А.И. – К.: Техніка, 1975. – 232 с.
4. **Sbarbaro D.** Advanced control and supervision of mineral processing plants / D. Sbarbaro, R. del Villar., 2010. – 311 p.
5. **Кондратець В.О.** Ідентифікація розрідження пульпи у млині, що подрібнює піски класифікатора з додатковою рудою / В.О. Кондратець // Вестник Херсонского нац. техн. ун-та. – 2014. – №3 (50). – С.305-310.
6. **Бусленко Н.П.** Математическое моделирование производственных процессов на цифровых вычислительных машинах / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1984. – 362 с.
7. **Кочура Е.В.** Моделирование и оптимизация управления качеством железорудного концентрата / Е.В. Кочура, А.Н. Марюта, В.С. Голод // Изв. ВУЗов. Горный журнал. – 1981. – №11. – С. 127-131
8. **Пупена О.М., Ельперін І.В.** Програмування промислових контролерів у середовищі Unity Pro: Навч. Посібник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2013. – 376 с.
9. **John, Karl-Heinz** IEC 61131-3: programming industrial automation systems: concepts and programming languages, requirements for programming systems, aids to decision-making tools / Karl-Heinz John, Michael Tiegelkamp, p.cm Springer-Verlag Berlin Heidelberg – 2001, p. 350.
10. **Morkun V.** Distributed closed-loop control formation for technological line of iron ore raw materials beneficiation / V. Morkun, N. Morkun, V. Tron // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №7. – P. 16–19.
11. **Petruzella, Frank D.** Programmable logic controllers / Frank D. Petruzella. – 4<sup>th</sup> ed. 2011, 396 p.
12. **Деменков Н.П.** нечеткое управление в технических системах: Учеб. Пособие / Н.П. Деменков; М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 200 с.
13. **Bolton W.** Programmable logic controllers. Fourth edition / W. Bolton, 290 p.
14. **Bryan, L.A.** Programmable controllers: theory and implementation / L.A. Bryan, F.A. Bryan. – 2<sup>nd</sup> ed. p. cm. 1047.
15. **Хан Г. А.** Автоматизация обогатительных фабрик / Г. А. Хан, В. П. Картушин, Л. В. Сорокер, Д. А. Скрипчак. – М.: Недра, 1974. – 280 с.

Рукопис подано до редакції 12.11.2019

УДК 62-233.3

О.А. ГУЛІВЕЦЬ, канд. техн. наук, доц., А.О. БОНДАРЕЦЬ, ст. викладач,  
С.Ю. ОЛІЙНИК, асистент  
Криворізький національний університет

### ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДЕМПФУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ У ЗАЧЕПЛЕННІ КОЛІС ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

**Мета.** Метою даної роботи є створення високоефективного та надійного в роботі пристрою для зменшення динамічних навантажень у зачепленні коліс зубчастих передач.

**Методи.** Для досягнення поставленої мети застосовано метод конструкційного демпфування коливань навантаження зубчастої передачі на основі використання пружних елементів, які установлені між зубчастим колесом та півмуфтою.

**Наукова новизна.** На основі виконаних досліджень розроблено оригінальний метод конструкційного демпфування динамічних навантажень у зачепленні коліс зубчастих передач.

**Практична значимість.** Використання розробленого пристрою в приводах механізмів і машин, де виникають короткочасні значні перенавантаження, які залежать від режиму роботи двигуна та виконуючого механізму, дозволить суттєво зменшувати динамічні навантаження в зачепленні коліс зубчастих передачах, спростувати їх виготовлення, монтаж та демонтаж.

**Результати.** Зубчасті передачі у приводах ряду механізмів внаслідок особливостей їх робочого процесу зазнають значних короткочасних перевантажень, які суттєво впливають на довговічність їх роботи. Тому розробка пристроїв для зменшення динамічних навантажень в зачепленні коліс передач є актуальною науково-практичною зада-

чею. В даній роботі на основі аналізу існуючих конструкцій пружних зубчастих передач сформульовані вимоги до конструкцій пристроїв, призначених для зменшення динамічних навантажень в зачепленні коліс зубчастих передач. Цим вимогам в найбільш повній мірі відповідає запропонований пристрій для демпфування динамічних навантажень у зачепленні зубчастих коліс передач. Запропонований пристрій складається з зубчастого колеса та півмуфти, які з'єднані пружними елементами. Зубчасте колесо з метою надійного центрування його вінця в радіальному та осьовому напрямі установлене на валу посередньо через два радіально-упорні підшипники, а півмуфта нерухомо з'єднана з валом. Установка пружних елементів, якими з'єднується зубчасте колесо з півмуфтою, виконана так, щоб забезпечувалось їх одночасне навантаження при передаванні обертового моменту в обидва боки обертання. Пружні елементи гумові, а їх робочі поверхні армовані металічними пластинками з відігнутими назовні краями. З метою запобігання появи резонансу крутих коливань пружні елементи виконані зі змінним поперечним перерізом.

**Ключові слова:** зубчасте колесо, зубчаста передача, динамічні навантаження, демпфування, пружні елементи, коливання.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-121-127

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** В сучасному машинобудуванні широко застосовуються механічні передачі, які передають механічний рух від двигуна до робочого органу машини. Виробництво механічних передач є одним із самих масових і є другим у світі за обсягом продукції, що реалізується (більше 70 млрд. доларів США) [1]. Серед механічних передач найбільше застосування мають зубчасті передачі.

Похибки при виготовленні деталей і їх монтажі та деформації під дією робочих навантажень, а також перевантаження, які залежать від режиму роботи двигуна та режиму технологічного процесу, що виконується робочим органом, є причиною динамічних навантажень в зачепленні зубчастих передач. Динамічні навантаження в зачепленні приводять до збільшення контактних та згинальних напружень в зубцях коліс, які зменшують їх довговічність.

Отже, розробка методів зменшення динамічних навантажень в зачепленні зубчастих передач є актуальною науково-практичною задачею.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Дослідженню динаміки зубчастих передач і розробці методів зменшення динамічних навантажень в зачепленні зубчастих передач присвячена велика кількість робіт вітчизняних та зарубіжних дослідників: Е. Бакінгема, А.І. Петрусевича, Н.Д. Генкіна, В.К. Гринкевича, В.А. Доллежала, Б.М. Абрамова, М.С. Полоцького, М.В. Скрабелінського, І.Ш. Давидова, М.А. Ковальова, Х. Мерріта, М. Боша та багатьох інших.

Найбільш глибокі дослідження динаміки зубчастих передач проводилися в ЦНИИТМАШ, в інституті машинознавства та в ряді науково-дослідних інститутів.

Було розроблено ряд математичних моделей динаміки зубчастих передач та конструкцій пристроїв, призначених для зменшення динамічних навантажень у зачепленні зубчастих коліс. На основі виконаних досліджень були установлені залежності, в яких вплив похибок кроку і профілю зубців та їх колової швидкості на динамічні навантаження в зачепленні враховуються коефіцієнтом динамічності навантаження  $K_d$  при перевірних розрахунках зубців коліс на втому.

Короточасні перевантаження, які залежать від режиму роботи двигуна та виконуючого органу машини, суттєво впливають на величину динамічних навантажень у зачепленні коліс (табл. 1) [2].

Таблиця 1

Коефіцієнти динамічних навантажень у приводах механізмів машин

| Вид робочої машини та умови експлуатації                                       | Коефіцієнт динамічного навантаження |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Приводи з асинхронним двигуном при пуску                                       | 2,5...5,0                           |
| Головний привод токарних верстатів з асинхронним електродвигуном               | 1,8...4,0                           |
| Лебідки, стругальні та довбальні верстати, скребкові конвеєри, фрикційні преси | 1,5...2,5                           |
| Вантажопіднімальні машини:                                                     |                                     |
| механізми піднімання                                                           | 1,2...2,0                           |
| механізми пересування                                                          | 1,5...4,0                           |
| Вентилятори, повітрорудки                                                      | 1,4...1,8                           |
| Електричний транспорт                                                          | 1,6...2,5                           |
| Дробарки каміння                                                               | 2,0...3,5                           |
| Млини, глином'ялки, змішувачі в'язких мас                                      | 1,8...2,2                           |
| Кривошипно-повзунні та ексцентрикові механізми                                 | 1,8...3,0                           |
| Прокатні стани (удари при захваті)                                             | 2,5...6,0                           |

При нечастих короткочасних перевантаженнях для запобігання втрат статичної міцності за відомими формулами виконують перевірку зубчастих передач на міцність. Але при частих короткочасних перевантаженнях вони можуть суттєво вплинути на експлуатаційну довговічність зубчастої передачі. Тому в таких випадках необхідно зменшувати величину перевантажень.

Найбільш ефективним способом зменшення динамічних навантажень, які залежать від режиму роботи двигуна та робочого органу машини, є демпфування.

Для зменшення динамічних навантажень в зачепленні зубчастих передач було розроблено ряд зубчастих коліс складеної конструкції, в яких збільшена колова податливість зубчастого вінця колеса відносно його маточини за рахунок розміщення між ними пружних елементів (пружини стискання, гумових пружних елементів та інших).

На рис. 1а [3] показана одна із існуючих конструкцій пружного зубчастого колеса для демпфування крутильних коливань на швидкісних ступенях гелікоптера, в якому висока колова податливість досягається за рахунок пружного з'єднання його обода 1 з маточиною 2 через ряд пружин 3. Для запобігання перекошуванню пружини установлені на циліндричних шарнірних сухарях 4, які упираються в дно гнізд обода і маточини. Як наслідок такої конструкції є те, що для передачі обертового моменту в ній приймає участь лише половина пружин.

Суттєвим недоліком конструкцій, наведених на рис. 1а та 1б є те, що при centruванні обода відносно маточини накладними кришками не можна зубчастий вінець виконувати косозубим, так як при цьому буде виникати в зачепленні коліс осьова сила яка навантажуватиме centruючий елемент.

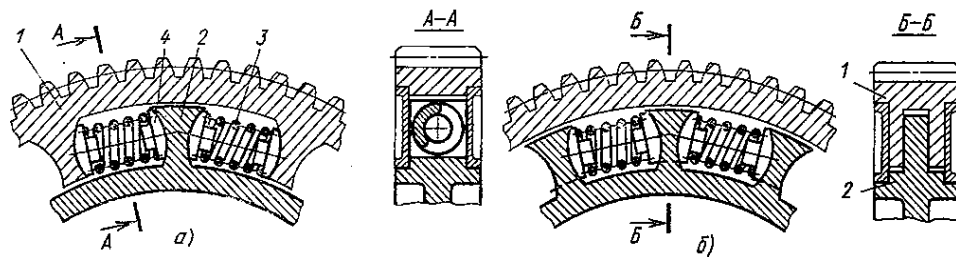
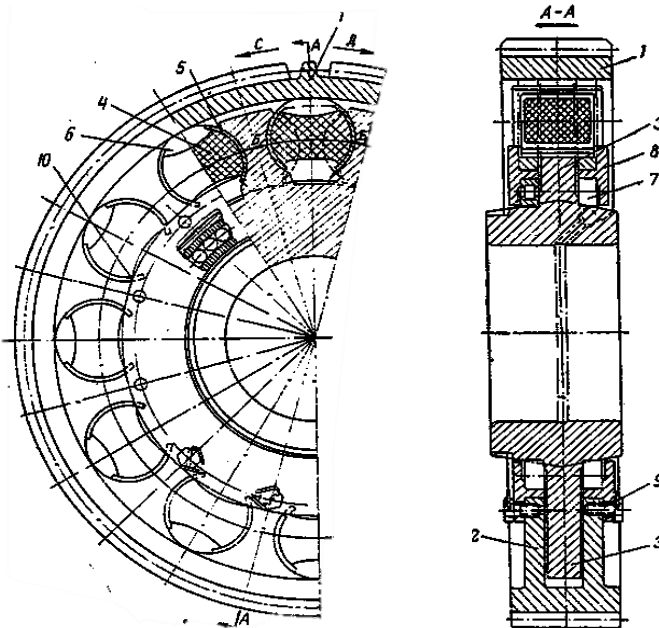


Рис. 1. Способи конструктивного демпфування динамічних навантажень

Крім цього в цих конструкціях для зменшення спрацювання тертьових поверхонь, по яким проходить centruвання, необхідно передбачати змащення.

В іншій конструкції (див. рис. 1б) виступи в радіальному напрямі маточини 2 введені в паз обода. Дякуючи цьому всі пружини приймають участь у демпфуванні коливань навантаження. Такі конструкції використовують в редукторах тепловозів та інших машин, в яких необхідно зменшувати динамічні навантаження в періоди пуску.

Рис. 2. Пружне зубчасте колесо для тягової передачі локомотива



В конструкції зубчастого колеса (рис. 2) [4] пружні елементи 4 виконані гумовими з армуванням металічними сегментами 5. Для centruвання зубчастого обода 1 відносно маточини 3 застосовано радіальний роликпідшипник 7, а для centruвання в осьовому напрямі з обох боків на вертикальних стінках 2 зубчастого вінця 1 закріплені кришки 8. В даній конструкції як і в конструкціях, показаних на рис. 1, зубчастий вінець не може бути виконаний косозубим.

В конструкції, що наведена на рис. 3 [5], centruвання обода зубчастого колеса 1 відносно маточини 5 здійснюється дво-стороннім кульковим підшипником, що складається з кульок які насипані і запо-

вноють бігову доріжку, утворену фланцями, що закріплені болтовим з'єднанням на маточині, і диском зубчастого вінця. Така конструкція дозволяє сприймати певне осьове навантаження, але є досить складною у виготовленні, монтажі та обслуговуванні.

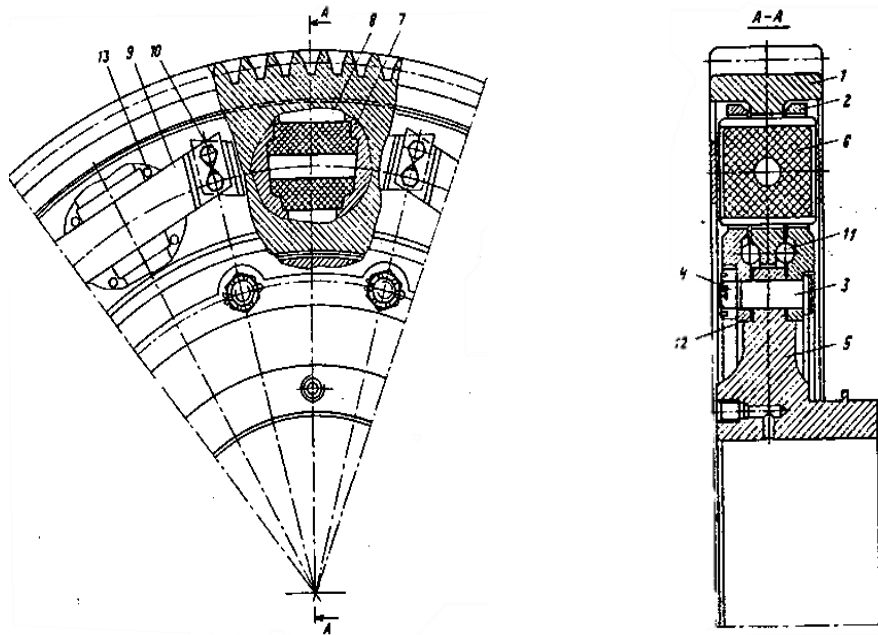


Рис. 3. Пружне зубчасте колесо

На рис. 4 показано конструкцію зубчастого колеса тепловоза 2ТЭ116 [6]. Зубчасте колесо, як і в попередніх випадках, має складену конструкцію. Зубчасте колесо складається з прямозубого зубчастого вінця 6, який через пружні елементи 1 і 2 за допомогою тарілок 19, призонних втулок 4, болтів 11 і гайок 3 з'єднаний з маточиною 20, яка насаджена з натягом на вісь колісної пари тепловоза. Пружні елементи з метою одержування нелінійної характеристики тангенціальної жорсткості зубчастого колеса виконані різної жорсткості двох типів. Вісім пружних елементів 1 (малої жорсткості) складаються з пальця 22 на зовнішню профільну поверхню якого насаджено гумові амортизатори 24 і 23, які попередньо вставлені в металічні втулки 5, 7, 8. Втулки 5 і 7 виконані з буртами, які запобігають односторонньому вільному осьовому переміщенню по них вінця.

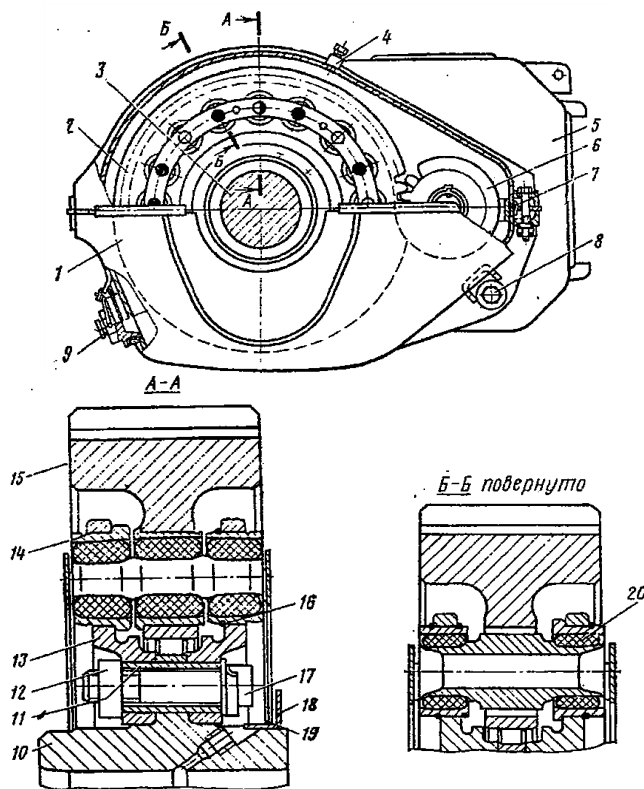


Рис. 4. Пружне зубчасте колесо тягового редуктора тепловоза 2ТЭ116

Тому сформовані пружні елементи 1 установлені на колесі по чотири на кожному боці зубчастого вінця. Пружні елементи в тарілках і в вінці закріплені стопорними кільцями 21.

Вісім інших пружних елементів 2 (великої жорсткості) також складаються з профільного пальця 15 на кінці якого напресовані гумові амортизатори 17, які попередньо вставлені в металічні втулки 16 і 18. Для запобігання сповзанню втулка 16 має обмежувальний борт і проточ-

ку, а втулка 18 – дві проточки для установки стопорних пружних кілець 21.

Між зубчастим вінцем і маточиною установлюють без сепаратора 90 роликів 10, які забезпечують відносне повертання вінця і маточини через тіла кочення, жорстку їх центровку і розвантаження пружних елементів від радіальних зусиль в зубчастому зацепленні тягової передачі.

Для можливості самоустановки зубчастого вінця поверхня маточини під роликами виконана сферичним радіусом, а пружні елементи сформовані з зазором між обмежувальними буртами втулок.

Передача обертального моменту в такій конструкції відбувається в два етапи: спочатку при малому обертальному моменті навантажуються пружні елементи 1, які мають меншу жорсткість, а потім при збільшенні обертального моменту (при початку руху) вінець повертається і в роботу вступають і більш жорсткі елементи. Внаслідок цього забезпечується необхідна нелінійна характеристика тангенціальної жорсткості пружного зубчастого колеса.

Як установлено практикою, застосування в тяговому редукторі тепловоза 2ТЭ116 такого пружного зубчастого колеса дозволило значно ( $\approx$  в 3 рази) зменшити динамічні навантаження, які виникають в зацепленні зубчастої передачі. Однак конструкція пружного зубчастого колеса, яка застосована в тяговому редукторі тепловоза 2ТЭ116 є досить складною у виготовленні і монтажі, а також не дозволяє застосовувати косозубу передачу, яка характеризується плавністю роботи, внаслідок чого зменшується шум та додаткові динамічні навантаження.

Зубчасті колеса [7-9], мають аналогічні конструкції, які відрізняються одна від іншої конструкцією пружних елементів і мають такі самі основні недоліки.

Останнім часом для зменшення чутливості до неточності виготовлення та монтажу, хорошого припрацювання та зменшення шуму при роботі передачі почали застосовувати зубчасті колеса, які виготовлені з неметалічних матеріалів. Як правило, вони працюють у парі із сталевими зубчастими колесами. Але, як свідчить практика застосування таких коліс, вони суттєво поступаються металевим за несучою здатністю та довговічністю (циклічна зміна нормальних напружень у тілі коліс приводить до появи тріщин у впадинах зубців, які швидко розвиваються в радіальному напрямі до маточини). Тому такі колеса доцільно застосовувати лише у малонавантажених передачах [10].

**Постановка задачі.** На основі аналізу конструкційних рішень зубчастих коліс, спрямованих на зменшення динамічних навантажень у зацепленні зубчастої передачі розробити конструкцію зубчастого колеса, яка б дозволяла ефективно зменшувати динамічні навантаження у зацепленні зубчастої передачі, відповідала б вимогам надійного центрування обода зубчастого колеса в радіальному та осьовому напрямках, дозволяла б виконувати зубчастий вінець з косими зубцями, була б нескладною у виготовленні, монтажі і демонтажі та забезпечувала велику експлуатаційну надійність.

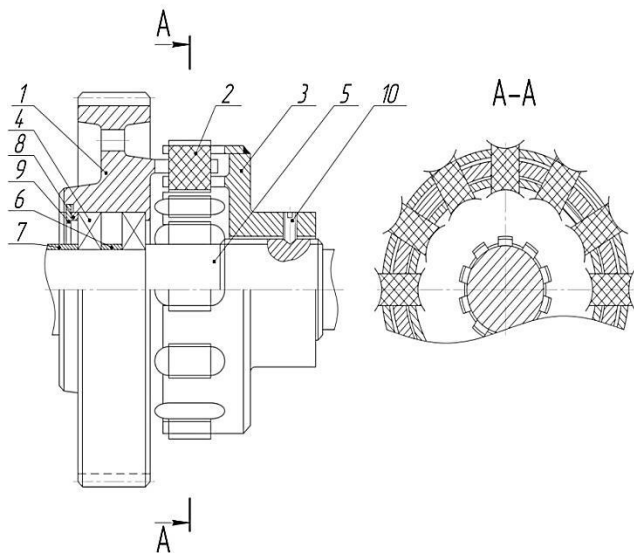
**Викладення матеріалу та результати.** На основі аналізу існуючих конструкцій пружних зубчастих передач та їх робочих процесів сформульовані вимоги до конструкцій пристроїв, призначених для зменшення динамічних навантажень в зацепленні коліс передач:

- ефективно демпфувати динамічні навантаження у зацепленні зубчастих коліс;
- надійно центрувати зубчастий вінець в радіальному та осьовому напрямках;
- дозволяти застосовувати в передачах колеса з косими зубцями;
- бути нескладними у виготовленні, монтажі та демонтажі;
- забезпечувати високу експлуатаційну надійність.

В найбільшій мірі цим вимогам відповідає запропонований пристрій для демпфування динамічних навантажень у зацепленні зубчастої передачі, який зображено на рис. 5.

Запропонований пристрій складається із зубчастого колеса 1, пружних елементів 2 та півмуфти 3. Зубчасте колесо з метою надійного його центрування в радіальному та осьовому напрямі і зацеплення необхідної крутильної податливості при дії сил в зацепленні коліс установлене на валу 5 посередньо через два радіально-упорні підшипники 4. Півмуфта 3 за допомогою роз'ємного з'єднання і установочного гвинта 10 закріплена на валу 4 нерухомо.

Зубчасте колесо обладнане одностороннім виступом у вигляді співвісної циліндричної оболонки, а півмуфта – двома односторонніми співвісними оболонками з різними діаметрами



**Рис. 5.** Пристрій для демпфування динамічних навантажень у зачепленні коліс зубчастих передач: 1 – зубчасте колесо; 2 – пружний елемент; 3 – пів муфта; 4 – радіально-упорний підшипник; 5 – вал; 6 – втулка; 7 – втулка; 8 – шайба; 9 – кільце пружне стопорне; 10 – гвинт установочний

їх серединної поверхні. В циліндричний простір між співвісними циліндричними оболонками півмуфти входить співвісна циліндрична оболонка зубчастого колеса. В співвісних циліндричних оболонках зубчастого колеса та півмуфти виконані паралельно їх осі наскрізні пази з виходом на вільні їх торці. В ці пази з попереднім натягом установлені пружні елементи 2, внаслідок чого забезпечується одночасне навантаження всіх пружних елементів при передаванні обертового моменту в обидва боки обертання.

Пружні елементи 2 гумові, а їх робочі поверхні армовані металічними пластинками, краї яких для забезпечення надійного кріплення відігнуті назовні.

Для забезпечення нелінійної характеристики тангенціальної жорсткості даного пристрою пружні елементи виконані зі змінним поперечним перерізом, що дозво-

ляє запобігати появі резонансу крутильних коливань [10].

Розміри пружних елементів і всіх деталей пристрою визначаються при розрахунках зубчастої передачі конкретного привода.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Розроблено конструкцію пристрою, який забезпечує надійне центрування зубчастого вінця колеса в радіальному та осьовому напрямках, що дозволяє ефективно застосовувати його у косозубих передачах, спрощує їх виготовлення, монтаж та демонтаж.

В подальшому доцільно виготовити експлуатаційний зразок запропонованого пристрою та провести його дослідження в промислових умовах.

#### Список літератури

1. Гольдфарб В.И. Тенденции развития рынка производства и потребления зубчатых передач / В.И. Гольдфарб, В.И. Некрасов, Л.А. Ширманова // Теория и практика зубчатых передач: Сб. докл. науч.-техн. конф. с междунар. участием. Ижевск, 2004. – с. 5-11.
2. Иванов М.Н. Детали машин. Учеб. для студентов высш. техн. учеб. заведений. – 5-е изд., перераб. – М.: Высшая шк., 1991. – 383 с.
3. Иосилевич Г.Б. Детали машин. Учебник для студентов машиностроит. спец. вузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
4. А.с. 249415 (СССР). Упругое зубчатое колесо для тяговой передачи локомотива / Беган-Богацкий П.З., Ряховский Н.С., Добрынин Л.К.
5. А.с. 702201 (СССР). Упругое зубчатое колесо / Беляев А.И., Иванов В.Н., Никифоров Б.Д., Родова Л.И., Яров Н.С.
6. Тепловоз 2ТЭ116 – руководство по устройству и обслуживанию / С.П. Филимонов, А.И. Гибалов, В.Е. Быковский и др. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1985. – 328 с.
7. А.с. 632867 (СССР). Зубчатое колесо с упругим соединением венца и ступицы / С.Г. Калинин, В.Н. Марченко.
8. А.с. 973992 (СССР). Составное зубчатое колесо / Н.Н. Патлань, В.Г. Просницкий, Р.М. Олин.
9. А.с. 1649191 (СССР). Составное зубчатое колесо / Г.К. Войтехович, В.Л. Басинюк.
10. Павлице В.Т. Основы конструирования та розрахунков деталей машин: Підруч. – 2-е вид. перероб. – Львів: Афіша, 2003. – 560 с.

Рукопис подано до редакції 18.11.2019

УДК 622.78

Ю.С. РУДЬ, д-р техн. наук, проф., В.Ю. БІЛОНОЖКО, А.О. БОНДАРЕЦЬ, ст. викладачі  
Криворізький національний університет

## ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ АГЛОМЕРАЦІЙНИХ ФАБРИК ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ

Технологічні процеси гірничо-збагачувальних комбінатів, особливо агломераційних фабрик, зв'язані з великими енергетичними витратами, які необхідні для фізико-механічного перетворення залізорудної сировини в кінцевий продукт – агломерат. При цьому мають місце значні енергетичні втрати. Тепло спаленого в технологічних машинах газу, коксу, а також газів, нагрітих в процесі виробництва продукції, викидається в атмосферу або використовується частково та неефективно. Це призводить до колосальних енергетичних втрат в обсягах гірничо-металургійного промислового комплексу, а також створює серйозні проблеми екологічного характеру.

**Метою** даної роботи є аналіз проблеми енергозбереження в гірничо-металургійному промисловому комплексі і розробка конструктивних рішень, які забезпечують використання технологічного тепла для підвищення його техніко-економічних характеристик. Рішення проблеми показано на прикладі агломераційних фабрик гірничо-збагачувальних комбінатів.

**Методи досліджень.** Аналітичний аналіз процесів рекуперації технологічного тепла агломераційних фабрик і розробка нових технологій спікання шихти.

**Наукова новизна.** Проведений аналіз проблеми енергозбереження в гірничо-металургійному промисловому комплексі показав, що для рекуперації тепла можливо використовувати два джерела агломераційного виробництва: 1) тепло газів, які засмоктуються екстаустером через вакуум-камери при спіканні шихти; 2) тепло газів, які перекачуються димососом через шар агломерату при його охолодженні.

**Практичне значення.** При нормальних умовах експлуатації тепло, одержане при рекуперації, може бути використане для підвищення техніко-економічних характеристик технологічного обладнання агломераційних фабрик гірничо-збагачувальних комбінатів шляхом використання тепла газів і пари, що відходять від вакуум-камер, що разом складає 64,9% від загального значення витратної частини теплового балансу або 1050-1730 кДж/кг (250-412 ккал/кг).

**В результаті** використання рекомендацій авторів забезпечується зростання продуктивності агломераційних конвеєрних машин за рахунок інтенсифікація процесу спікання при підігрівання вихідної шихти до температури 300-350° С перед її запалюванням. За рахунок рекуперації технологічного тепла, яке створюється в процесі спікання шихти, росте коефіцієнт корисної дії. При цьому досягається значна економія газу за рахунок використання технологічного тепла, одержаного в процесі рекуперації тепла відхідних газів.

**Ключові слова:** агломераційна конвеєрна машина, рекуперації технологічного тепла відхідних газів, техніко-економічні характеристики.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-127-132

**Проблема і її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Проблема енергозбереження є особливо важливою для гірничо-металургійного промислового комплексу, де вона досягає рівня державного масштабу. Технологічні процеси гірничо-збагачувальних комбінатів, особливо агломераційних фабрик, зв'язані з великими енергетичними витратами, які необхідні для фізико-механічного перетворення залізорудної сировини в кінцевий продукт – агломерат [1-4]. При цьому на гірничо-збагачувальних комбінатах мають місце значні енергетичні втрати із-за недостатньо повного використання тепла в технологічному обладнанні. Причиною цього можуть бути особливості технологічних процесів агломерації або недоліки конструкції спеціального обладнання. Таким чином, тепло спаленого в технологічних машинах газу, коксу, а також газів, нагрітих в процесі виробництва продукції, викидається в атмосферу або використовується частково та неефективно. Це призводить до колосальних енергетичних втрат в обсягах гірничо-металургійного промислового комплексу, а також створює серйозні проблеми екологічного характеру.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Ще в середині 70-х років ХХ ст. фахівцями-агломератниками були висловлені пропозиції зменшити кількість шкідливих теплових та інших викидів шляхом застосування технології повернення в агломераційний процес частини відпрацьованих газів, тобто спосіб агломерації з рециркуляцією відпрацьованого газу. Простим і ефективним методом є варіант відбору деякої кількості агломераційного газу (20-30% від загальної кількості) з газопроводу між екстаустером і трубою, яка викидає відпрацьований газ в атмосферу. Відібраний газ за допомогою додаткового димососа спеціальним газопроводом подається в

ковпак, встановлений за запальним горном над робочою частиною агломераційної машини. В цей газ попередньо вводиться строго розраховану кількість атмосферного повітря [5]. Аналогічне рішення для зниження технологічних енергетичних втрат описане в роботі [6]. На металургійному заводі в Уїртоні (США) пропонується схема рециркуляції частини гарячих газів агломераційних машин. Схема передбачає подачу газів з температурою близько  $200^{\circ}\text{C}$  під укриття агломераційної машини. В результаті цього знижуються викиди пилу в атмосферу, на 7% скорочується витрати дрібного коксу і на 3% загальне споживання енергії, зменшився вміст кисню в газах з 16 до 14%. Одним із рішень проблеми енергозбереження в гірничо-металургійному промисловому комплексі є рекуперація тепла або зворотне отримання тепла при використанні процесів теплообміну, при якому тепло забирається від повітря, що викидається в атмосферу, і передається свіжому повітрю, яке нагрівається. Відома конструкція агломераційної конвеєрної машини K1-200/300, у якій передбачено підігрівання шихти, укладеної на колосникові ґрати, шляхом продування гарячої газоповітряної суміші через її шар до моменту запалення. Для реалізації цього процесу перед запальовальним горном передбачено установа двох додаткових окремих вакуум-камер, відокремлених від загального вакуум-колектора. У першу вакуум-камеру нагнітаються гарячі колошникові гази від останньої вакуум-камери агломераційної машини, а у другій вакуум-камері – вони відсмоктуються до загального колектору. Обидві камери площею  $24\text{ м}^2$  закриті загальним кожухом, який виключає попадання гарячої газоповітряної суміші у промислове приміщення [1].

В роботі [6] відзначається, що для забезпечення оптимальних умов для спікання шихти необхідно удосконалювати процеси її запалення. Ця стадія спікання характеризується тривалістю та температурою запалення. При спаленні в горні холодного повітря в суміші з коксовим, природнім газом або мазутом досягається достатньо високий вміст кисню навіть при високій температурі. Отже ці гази можуть бути використані для запалення суміші при додатковому підігріві шихти. Для додаткового підігріву шихти можна використовувати частину тепла газів, відсмоктаних через шар агломерату при його охолодженні. Це дозволяє при заданій температурі газів підняти вміст кисню при одночасній економії палива. Так як температура газів, відсмоктаних через шар агломерату при його охолодженні на стрічці агломераційної машини вища, ніж при охолодженні в окремому охолоджувачі, то утилізація тепла відпрацьованих галів на машині більш ефективна [6].

Додаткове підігрівання шихти дозволяє її запалити і додатково підвищити температуру верхньої третини шару шихти, тобто створити максимальний прибуток тепла та температуру в шарі, достатній час перебування сировини в зоні спікання [7]. При цьому створюється оптимальна інтенсивність подавання тепла в шар шихти, досягається максимальна температури шару і необхідний час перебування сировини в зоні спікання. Температура запалення шихти, при її знаходженні в зоні горна, повинна складати  $1250\text{--}1350^{\circ}\text{C}$  в залежності від температури її плавлення, тривалість запалення – 1 хв. Додаткове нагрівання верхнього третину шару шихти здійснюють на протязі 3–4 хв. при температурі  $800^{\circ}\text{C}$  у разі використання повітряного дуття, при  $1000^{\circ}\text{C}$  у випадку використання газоподібного палива і при  $1200^{\circ}\text{C}$  коли спалюється мазут. Найбільш ефективним варіантом комбінованого способу спікання шихти є використання гарячого дуття при температурі  $800\text{--}1250^{\circ}\text{C}$  для запалення шихти і додаткового нагрівання верхньої третини шару шихти. Для нагрівання до  $300^{\circ}\text{C}$  повітря, яке подається в запальовальний горн, раціонально використовувати обезпилене повітря, яке відходить від охолоджувача або зони охолодження агломераційної машини.

Недоліків відомої конструкції агломераційної конвеєрної машини [1–4] є те, що гарячі колошникові гази останньої вакуум-камери, які продуваються через шар шихти, завантаженою на колосникові ґрати рухомих візків, розміщених над першою вакуум-камерою, насичені дрібними пилоподібними частинками агломерату. Пилоподібні частинками агломерату затримуються в пустотах між гранулами грудкованої шихти і тим самим знижують газову проникливість шихти. Різниця температури завантаженої на колосникові ґрати шихти та гарячої газоповітряної суміші останньої вакуум-камери може досягати до  $350^{\circ}\text{C}$ , що приводить до порушення умов стабільності технологічного процесу та погіршення якості верхнього шару агломерату. В той же час кількості тепла, яку має газоповітряна суміш останньої вакуум-камери, не достатньо для підігрівання всієї маси завантаженої на колосникові ґрати шихти. Викиди із-під загального

кожуха відхідних газів, насичених дрібними пилоподібними частинками агломерату і знаходяться під тиском, приводять до погіршення умов праці обслуговуючого персоналу.

Агломераційна конвеєрна машини за [8] додатково забезпечена камерою для подавання підігрітого повітря в шар завантаженої на колосникові грати шихти, яка установлена над відкритою частиною першої вакуум-камери; вентилятором атмосферного повітря та повітропроводом, причому останні вакуум-камери зони спікання шихти виконуються з подвійними стінками, що утворюють герметичні ємності, які за допомогою повітропроводу з'єднані між собою, вентилятором атмосферного повітря та камерою для подавання підігрітого повітря в шар завантаженої на колосникові грати шихти. Камера для подавання підігрітого повітря в шар завантаженої на колосникові грати шихти виконана у вигляді чотиригранної зрізаної піраміди із відкритими верхньою та нижньою основами, причому верхня відкрита основа чотиригранної зрізаної піраміди з'єднана повітропроводом із герметичними ємностями останніх вакуум-камер зони спікання шихти, нижня відкрита основа, ширина якої не перевищує ширини колосникових грат візків, а довжина дорівнює ширині відкритої частини першої вакуум-камери, розміщена над шаром завантаженої на колосникові грати шихти на відстані 0,05-0,2 від висоти шару шихти. Необхідно відзначити, що кількості тепла, яку має газоповітряна суміш останньої вакуум-камери, не достатньо для підігрівання всієї маси шихти, завантаженої на колосникові грати візків, що знаходяться над першою та другою вакуум-камерами. Із-за розсіювання в атмосферу значної кількості технологічного тепла, яке створюється в процесі спікання шихти, конструкція агломераційної конвеєрної машини має низький коефіцієнт корисної дії. Виконання останніх вакуум-камер, що знаходяться в зоні спікання шихти, з подвійними стінками, ускладнюють їх конструкцію і вимагають використання дорогих кислотостійких сталей.

Згідно з [6] в Німеччині використовується дві схеми утилізації тепла технологічних газів і повітря від охолоджувачів для агломераційних машин площею спікання 400 м<sup>2</sup>. За першою схемою відсмоктаний через вакуум-камери газ частково поступає в запалювальний горн, частково використовується для додаткового підігрівання, а частково – подається без додаткового підігрівання. При цьому 57,8% площі агломераційної машини закрито зонтами, 7,5% яких передбачено для запалювання, а 15% - для додаткового підігрівання з нагріванням газу до 1200° С. Об'єми газів, що викидаються в атмосферу знижується на 61%, економія твердого палива складає 25,2%, загальні витрати тепла знижуються на  $10,2 \cdot 10^7$  кДж/год. порівняно із звичайним запаленням. Питанням утилізації тепла технологічних газів і повітря від охолоджувачів в запалювальному горні присвячена робота [9]. При подачі в пальники горна нагрітого при охолодженні агломерату повітря економія газоподібного палива еквівалентна кількості надійшов фізичного тепла. Збільшення концентрації кисню в продуктах згорання, особливо на низькокалорійному газі, супроводжується зростанням вертикальної швидкості спікання і продуктивності агломераційної машини. Подача нагрітого повітря в шар за гірському призводить до збільшення часу перебування матеріалу при високих температурах і, як наслідок, до зниження витрати твердого палива в шихту і поліпшенню якості агломерату. На аглофабриках Карагандинського металургійного комбінату економія газоподібного і твердого палива склала 5,4 - 6,5 кг/т агломерату, продуктивність агломераційної машин збільшилася на 1,6 - 2,7%. Рециркуляція відпрацьованих газів агломераційної машини дозволяє скоротити викиди в атмосферу технологічного газу і пилу на 26 - 28%. За рахунок використання фізичного тепла рециркуляції, допалення оксиду вуглецю в шарі і збільшення ефективної теплоти згорання твердого палива (зменшення недопалення) слід очікувати зниження витрати палива в шихту на 3,6 - 3,8 кг/т агломерату та масової частки дріб'язку в агломераті на 2,0 - 2,5% (абс.) [10].

На заводі в Оіті (Японія) використовується тепло агломераційних газів, що відходять від розвантажувального кінця агломераційної машини. Ці гази з температурою 300-400° С після грубої очистки направляють в спеціальний котел-утилізатор. Продуктивність котла до 27 т/год., тиск пари 1 МПа, температура підігріву 213° С. В результаті впровадження установки ВЕР економиться 88 Дж енергії на 1 т агломерату [5]. На деяких закордонних агломераційних фабриках 20-30% від загального газу, що перекачується експаустером, повторно подається в шар шихти на колосникових гратах. В результаті повторного використання хімічного та фізичного тепла агломераційного газу пропорційно ступеню рециркуляції знижуються викиди шкідливих речовин – монооксиду вуглецю та оксидів азоту, знижуються витрати палива. Використання рециркуляції тепла знижуються теплові потреби процесу спікання на 69 Дж на тону аг-

ломерату [11]. Компанія Siemens VAI розробляє та впроваджує інноваційні технології, які дозволяють знизити об'єми викидів агломераційного виробництва до мінімально можливого рівня [12]. Центральну роль в цьому контексті грає система селективної рециркуляції відпрацьованих газів – гази уловлюються в чітко визначених зонах агломераційної машини, змішуються із газами, які перекачуються димососом через шар агломерату при його охолодженні, і повертаються на агломераційну машину. Це дозволяє суттєво підвищити продуктивність технологічного обладнання агломераційних фабрик і знизити питомі значення показників викидів в атмосферу.

В роботі [5] визначена максимальна кількість агломераційного газу, яке може бути використане для рециркуляції. Ця величина визначається із той умови, що агломераційний газ, який викидається в атмосферу, повинен містити ту кількість водяної пари, яка дорівнює кількості води в шихті. При меншій кількості парів води в газі, що викидається, буде відбуватися безперервне накопичення пари в повітрі, яке засмоктується ексгаустером, і агломераційний процес стане неможливим. Розрахунки показали, що для типових умов агломерації максимальна кількість рециркуляційного газу дорівнює 35% від загального об'єму повітря, яке засмоктується ексгаустером.

**Постановка задачі.** Метою даної роботи є аналіз проблеми енергозбереження в гірничо-металургійному промисловому комплексі і розробка конструктивних рішень, які забезпечують використання технологічного тепла, яке створюється в технологічному обладнанні, для підвищення його техніко-економічних характеристик. Рішення проблеми показано на прикладі агломераційних машин фабрик грудкування гірничо-збагачувальних комбінатів.

**Викладення матеріалу та результати.** Для розуміння джерел енергетичних втрат на фабриках грудкування гірничо-збагачувальних комбінатів, а також для розробки обґрунтованих заходів з їх скорочення розглянемо основи технологічного процесу отримання агломерату [13]. Агломераційна руда, дрібний кокс, вапняк зважується на конвеєрних стрічках, і завантажується в барабанний змішувач з додаванням води. Тут досягається повне перемішування суміші та формування мікрогранул, які покращують газову проникність шихти. На колосникові грати укладають шар агломерату розміром 30-50 мм, який виділяється з готового агломерату («постіль»), який захищає грати від високої температури і зменшує втрати сировини. Шихта шаром 400-600 мм завантажується на «постіль», а під колосниковими гратами створюється розрядження близько 70-100 кПа. За допомогою пальників, розміщених у горні агломераційної машини, підпалюють дрібний кокс, що знаходиться в шихті. Через шар шихти ексгаустером через вакуум-камери, які розташовані під на колосниковими гратами, просмоктується повітря. Це забезпечує горіння палива шихти та відсмоктування газів, які створюються при спіканні. Горіння, розпочавшись у верхньому шарі шихти, поступово поширюється на всю товщину шару і закінчується у колосникових грат. Кількість газів, що відходять становить 333-1600 тис. м<sup>3</sup>/год., залежно від розмірів фабрики і умов роботи. Зазвичай на тонну агломерату доводиться від 1500 до 2500 м<sup>3</sup>/т відпрацьованих газів. Агломераційні машини з площею всмоктування більше 250 м<sup>2</sup> і / або гратами шириною більше 3 м мають дві системи перекачування відпрацьованих газів з окремими ексгаустерами і пиловловлюючими пристроями для виділення викидів. При згорянні палива температура досягає 1300 - 1480 ° С; цього достатньо для часткового сплаву шматочків шихти і спікання їх між собою. Після закінчення процесу горіння весь шар шихти являє собою пористий, ніздрюватий кусковий продукт.

Теплові потреби процесу спікання забезпечуються на 94% за рахунок спалення твердого палива, а 6% - за рахунок спалення газу. Прибуткова частина теплового балансу процесів агломерації включає тепло горнових газів при запаленні і додатковому нагріванні (6,2% від загального значення прибуткової частини теплового балансу), тепло від згорання палива (80,9%) і сірки шихти (1,4%), окислення двовалентного заліза в тривалентне, процесів шлакоутворення (11,5%) [7]. Такого ж порядку значення теплового балансу процесів агломерації наводить автор роботи [6]. Витратна частина теплового балансу процесів агломерації враховує тепло шару агломерату (16,8% від загального значення витратної частини теплового балансу) або матеріалів, що повертаються в процес (3,8%), газів, що видаляються через вакуум-камери (46,7%), і пари (18,2%), прямого відновлення оксидів заліза. Крім того, витратна частина теплового балансу враховує втрати тепла агломераційною установкою і поверхнею шару агломерату в довкілля [7]. За джерелом [6] 46% сумарної кількості тепла витрачається на забезпечення ендотермічних

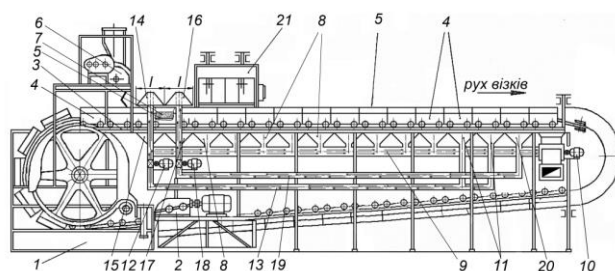
реакцій агломераційного процесу і охолодження агломерату. Залишкові 54% можуть бути утилізованими у вигляді тепла технологічних газів та повітря охолодження.

Потенційно для рекуперації тепла можливо використовувати два джерела агломераційного виробництва: 1) тепло газів які засмоктуються ексгаустером через вакуум-камери при спіканні шихти; 2) тепло газів, які перекачуються димососом через шар агломерату при його охолодженні. При нормальних умовах експлуатації тепло, одержане при рекуперації, може бути використане для підігрівання повітря, яке використовується в горні для запалення шихти, підігрівання шихти в системі рециркуляції відпрацьованих газів, в котлі-утилізаторі для нагрівання води для центрального опалення. Для вирішення проблеми енергозбереження в гірничо-металургійному промисловому комплексі і підвищення техніко-економічних характеристик технологічного обладнання агломераційних фабрик гірничо-збагачувальних комбінатів шляхом використання технологічного тепла, яке створюється в технологічному обладнанні цікавим є рекуперація газів, що відходять від вакуум-камер і пари, що разом складають 64,9% від загального значення витратної частини теплового балансу або 1050...1730 кДж/кг (250...412 ккал/кг).

З метою підвищення техніко-економічних характеристик агломераційної конвеєрної машини авторами пропонується система рекуперації технологічного тепла, яке створюється в процесі спікання, шляхом підігрівання шихти до 300-350° С до її запалювання паликами горну (рис. 1). Агломераційна конвеєрна машина порівняно з [14] додатково забезпечена другою камерою 16 для подавання відхідних газів в шар завантаженої на колосникові грати 5 шихти 7. Камера 16 має конструкцію, однакову з першою камерою 14 і розміщена над відкритою частиною другої вакуум-камери 17 на відстані 0,05-0,2 висоти шару шихти 7. Камера 16 виконана у вигляді чотиригранної зрізаної піраміди із відкритими верхньою та нижньою основами. Ширина нижньої відкритої основи камери 14 не перевищує ширини колосникових ґрат 5 візків 4, а довжина  $l$  дорівнює ширині відкритої частини першої вакуум-камери 15. Відкрита верхня основа вакуум-камери 17 забезпечена вентилятором 18 та з'єднана газопроводом 19 з вакуум-камерою 20, відхідні гази якої мають максимальну температуру. Розміри площі нижньої основи додаткової камери 16 для подавання підігрітого повітря в шар шихти 7, такі ж як і камери 14 і обмежені конструктивними можливостями агломераційної конвеєрної машини. Запалювальний горн 21 зміщено по відношенню до першої вакуум-камери 15 в напрямку розвантажувальної частини машини. Відстань нижньої основи камер 15 та 17 від поверхні завантаженої на колосникові ґрати 5 шихти 7 вибрана за умови виконання вимог до виключення несприятливих підсосів атмосферного повітря в камери 15 та 17. Для різних типів агломераційних конвеєрних машин і для різної вихідної сировини висота шару шихти 7 на колосникових ґратах 5 складає 200-450 мм, а отже відстань нижньої основи камер 15 та 17 від шару завантаженої на колосникові ґрати 5 шихти 7 складає  $(200...450 \text{ мм}) \times (0,05...0,15) = 10...67,5 \text{ мм}$  [15].

**Рис. 1.** Схема рекуперації технологічного тепла агломераційної конвеєрної машини

**Висновок та напрямок подальших досліджень.** Проведений аналіз проблеми енергозбереження в гірничо-металургійному промисловому комплексі в т.ч. на агломераційних фабриках показав, що потенційно для рекуперації тепла можливо використовувати два джерела агломераційного виробництва: 1) тепло газів, які засмоктуються ексгаустером через вакуум-камери при спіканні шихти; 2) тепло газів, які перекачуються димососом через шар агломерату при його охолодженні. При нормальних умовах експлуатації тепло, одержане при рекуперації, може бути використане для підвищення техніко-економічних характеристик технологічного обладнання гірничо-збагачувальних комбінатів шляхом рекуперації газів і пари вакуум-камер, що разом складає 64,9% від загального значення витратної частини теплового балансу або 1050-1730 кДж/кг (250-412 ккал/кг). В результаті використання технологічного тепла, одержаного в процесі рекуперації відхідних газів, забезпечується зростання продуктивності агломераційної конвеєрної машини. При підігріванні шихти до температури 300-350° С до її запалювання спостерігається інтенсифікація



процесу спікання та зростання коефіцієнта корисної дії. Крім того, при цьому досягається значна економія газу за рахунок використання технологічного тепла, одержаного в процесі рекуперації тепла відхідних газів.

### Список літератури

1. Астахов А.Г. Справочник агломератчика / А.Г. Астахов, А.И. Мачковский и др. – Київ: Техніка, 1964. – 448 с.
2. Вегман В.Ф. Окискование руд и концентратов / В.Ф. Вегман. – М.: Металлургия, 1976. – 223 с.
3. Губанов В.И. Справочник рабочего агломератчика / В.И. Губанов, А.М. Цейтлин. – Челябинск: Металлургия, 1987. – 207 с.
4. Мартыненко В.А. Агломерация / В.А. Мартыненко. – М.: Металлургия, 1977. – 60 с.
5. Лисенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование. - В 3-х книгах. Книга 2 / В.Г. Лисенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев / Под ред. В.Г. Лисенко. – М.: Теплотехник, 2004. – 832 с.
6. Савицкая Л.И. Развитие агломерационного производства в странах западной Европы / Л.И. Савицкая. – Черная металлургия. Серия «Подготовка сырых материалов к металлургическому переделу». Обзорная информация. Выпуск 2. – М.: ЦНИ Черметинформации, 1982. – 24 с.
7. Рязанцев А.П. Нагрев агломерационной шихты / А.П. Рязанцев. – М.: Металлургия, 1968. – 167 с.
8. Патент №93303 Україна. МПК F27B 21/00 Агломератційна конвеєрна машина / Рудь Ю.С., Кучер В.Г.; Власник ДВНЗ «Криворізький національний університет». – у 2014 04257; заяв. 22.04.2014; опубл. 25.09.2014. – Бюл. № 18.
9. Ishikawa Y. Latest development of sintering technology / Y. Ishikawa, K. Sugawara, Y. Umez. - In Agglomeration-77, v. 2, p. 503-520.
10. Герасимов Л. К.. Основные теплотехнические направления совершенствования работы агломашин / Л. К. Герасимов, Ю.А. Фролов, Б.С. Расин. - Сталь. - 1990. - № 3. - С. 21 – 23.
11. Ветошкин А.Г. Техника и технология обращения с отходами жизнедеятельности. - Часть 2 Переработка и утилизация промышленных отходов / А.Г. Ветошкин. – Москва-Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. – 380 с.
12. URL: <http://masters.donntu.org> (дата звернення: 11.11.2019).
13. URL: <http://metalspace.ru/production-science/ecology/813-analiticheskij-obzor-tekhnologii-bref.html> (дата звернення: 11.11.2019).
14. Патент №93303 Україна. МПК F27B 21/00 Агломератційна конвеєрна машина / Рудь Ю.С., Кучер В.Г.; Власник ДВНЗ «Криворізький національний університет». – у 2014 04257; заяв. 22.04.2014; опубл. 25.09.2014. – Бюл. № 18.
15. Крижевский А.З. Влияние предварительного подогрева шихты на производительность агломерационной установки / А.З. Крижевский, Е.Я. Стольберг, В.Г. Кучер // Автоматизация агломерационного и доменного производства. – К.: Техніка, 1969. – с.с. 68-70.

Рукопис подано до редакції 15.11.2019

УДК 681.5:621.311.1

О.О. ГРАММ, асистент, О.І. САВИЦЬКИЙ, канд. техн. наук., доцент  
Криворізький національний університет

## АВТОМАТИЗОВАНЕ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПОТОКАМИ ГІРНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА З НЕЧІТКИМ ПРОГНОЗУВАННЯМ РІВНЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

**Мета.** Метою даної роботи є моделювання і порівняння нейро-нечітких систем прогнозування рівня споживання електричної енергії для визначення залежності між кількістю вхідних змінних нейро-нечіткої системи і точністю прогнозування та виявлення оптимальних параметрів системи прогнозування, які забезпечать зниження середньої процентної похибки прогнозування, що дозволить здійснити подальшу оптимізацію системи прогнозування шляхом зміни вагових коефіцієнтів нечітких правил для підвищення якості автоматизованого керування енергетичними потоками гірничого підприємства.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставленої задачі у роботі використовуються методи теорії систем автоматичного керування виробництвом, методи оптимізації систем автоматичного керування і методи нечіткої логіки.

**Наукова новизна.** У роботі удосконалено нейро-нечітку систему прогнозування рівня споживання електричної енергії шляхом визначення оптимальної кількості вхідних змінних системи та оптимізації нечітких правил механізму нечіткого вводу-виводу, що дозволило зменшити значення середньої процентної похибки прогнозування на 1,06% у порівнянні з відомими системами.

**Практична значимість.** Практичне значення роботи полягає у розробці нейро-нечіткої системи прогнозування рівня споживання електричної енергії, що при використанні його в умовах впровадження єдиного енергетичного

ринку приведе до зниження витрат на електричну енергію підприємством та дозволить максимально зменшити ризики виходу рівня споживання енергії за об'єми замовлення та пов'язані з цим фінансові втрати.

**Результати.** Серед розроблених у даній роботі нейро-нечітких систем прогнозування рівня споживання електричної енергії найкращі результати було показано системою з чотирма вхідними змінними (час, температура, історичне споживання електричної енергії, генерація реактивної енергії), яка в результаті оптимізації нечітких правил механізму нечіткого вводу-виводу дозволила досягти значення середньої відсоткової похибки прогнозування на рівні 1,31%, та дає можливість для подальшої оптимізації системи прогнозування шляхом зміни вагових коефіцієнтів нечітких правил методами алгоритмів пошуку вирішення задач оптимізації.

**Ключові слова:** автоматизація, прогнозування, попит, електроенергія, енергетична біржа, нечітка логіка, похибка прогнозування.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-132-136

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами.** Важливість можливості прогнозування навантаження в енергетичних галузях не можна недооцінювати, оскільки використання такої можливості забезпечує споживачам, генераторам і дистриб'юторам енергії майбутній попит на електроенергію, який вирішує велику кількість питань пов'язаних з генерацією, передачею та розподілом енергії, надійністю та економічністю енергомереж і енергоефективністю об'єктів. Для прогнозування рівня споживання навантаження використовуються багато методик, але методи штучного інтелекту (нечітка логіка та штучні нейронні мережі) забезпечують більшу ефективність порівняно зі звичайними методами (наприклад, регресія та аналіз часових рядів). Дана проблема входить до складу «Пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки на період до 2020 року», схвалених розпорядженням Кабінету Міністрів України від 04.06.215, №575.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Для прогнозування електроенергії використовується велика кількість моделей, у даній роботі сконцентруємося на роботах присвячених системам нечіткої логіки, та роботах що досліджують фактори впливу на рівень споживання енергії. У дослідженнях [1] та [2] були використані методи математичного моделювання для прогнозування поведінки споживання енергії через погодні умови, робочий час, дні тижня та час доби. FIS використовувались у моделях прогнозування часових рядів електроенергетики у короткотермінових, півгодинних серіях, погодинних та щоденних у роботах [3] та [4]. Дослідження [5] та [6] показують, що поведінка енергоспоживання в короткотерміновій перспективі чутлива до погодних умов, частини робочого дня, дня тижня та годин дня. З цієї причини першочерговим для системи прогнозування навантаження є використання цих кліматичних змінних, пов'язаних із навантаженням. Автори [7-9] запропонували використовувати комбінацію нечітких системи з часовими рядами у своїх роботах. У роботі, запропонованій авторами [10], використовується нечітка система ANFIS для щорічного прогнозування енергії для таких індустріальних країн, як США, Великобританія, Японія, Франція та Італія. Змінні введення системи - валовий внутрішній продукт (ВВП) та населення. У роботі [11] для прогнозування щомісячного споживання енергії як вхідні змінні запропоновано обрати економічні та кліматичні фактори.

**Постановка задачі.** Метою роботи є визначення оптимальної кількості вхідних параметрів і нечітких правил механізму нечіткого вводу-виводу системи прогнозування рівня споживання електричної енергії для оптимізації керування енергопостачанням гірничого підприємства в умовах єдиної енергетичної біржі.

**Викладення матеріалів та результатів.** Перед представленням запропонованих моделей важливо формалізувати форму оціночних моделей. Для оцінки розроблених систем була використана середня процентна помилка (MAPE). MAPE в абсолютних показниках вимірює відхилення реального вимірюваного значення з вихідним значенням моделі. Формула MAPE наведена нижче

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Act(i) - Frc(i)}{Act(i)} \right| \times 100\%,$$

де  $Act(i)$  - реальне значення споживання активної енергії,  $Frc(i)$  - значення, отримане від системи прогнозування.

На даний момент часу не існує єдиної думки щодо кращого набору змінних, що описують функціонування служби розподілу енергії [12]. У даній роботі розглядаються три нечіткі системи прогнозування з різними наборами вхідних даних для порівняння точності їх прогнозу-

вання. Так для першої системи було обрано використання чотирьох змінних: історичне споживання активної енергії, генерація реактивної енергії, час та температура. Друга і третя система використовували аналогічний набір даних, виключаючи генерацію реактивної енергії для другої системи і генерацію реактивної енергії та температуру для третьої. Використані у роботі метеорологічні дані належать метеорологічній станції міста Кривий Ріг (Дніпропетровська область, Україна, широта 48.03, довгота 33.22, висота над рівнем моря 124 м) та були отримані із відкритих джерел. Дані по споживанню та генерації енергії були надані одним з підприємств чорної металургії міста Кривий Ріг. Фрагмент даних, що використовувалися для прогнозування наведено у табл. 1.

Структуру нечітких систем прогнозування зображено на рис. 1. Вхідні параметри проходять процес фазифікації, після чого вихід фазифікатора та нечітка база правил потрапляють до механізму нечіткого виведення, що являється серцем системи, так як він обробляє вхідні дані і видає прогнозоване значення навантаження. Система висновку виконує прогнозування за допомогою нечіткої бази правил, підготовленої розробником.

На практиці точність прогнозу залежить від розуміння об'єкта розробником та підготовлених ним правил. Вихід з механізму нечіткого виведення все ще нечіткий за своєю природою. Потім це значення перетворюється в чітке шляхом дефазифікації, що формує чисельний прогноз навантаження.

Таблиця 1  
Фрагмент бази даних енерговитрат

| Час, год | Істор. спож., кВт×год | Реакт. генер., кВАр×год | Температура, °C |
|----------|-----------------------|-------------------------|-----------------|
| 0:00     | 536,4                 | 12,96                   | 8               |
| 02:00    | 544,32                | 47,52                   | 6               |
| 04:00    | 536,4                 | 5,76                    | 4               |
| 06:00    | 535,68                | 5,76                    | 2               |
| 08:00    | 536,4                 | 4,32                    | 4               |
| 10:00    | 534,24                | 7,2                     | 14              |
| 12:00    | 532,08                | 10,08                   | 17              |
| 14:00    | 532,08                | 15,84                   | 20              |
| 16:00    | 534,24                | 12,96                   | 18              |
| 18:00    | 534,96                | 14,4                    | 16              |
| 20:00    | 534,24                | 17,28                   | 12              |
| 22:00    | 535,68                | 10,08                   | 5               |

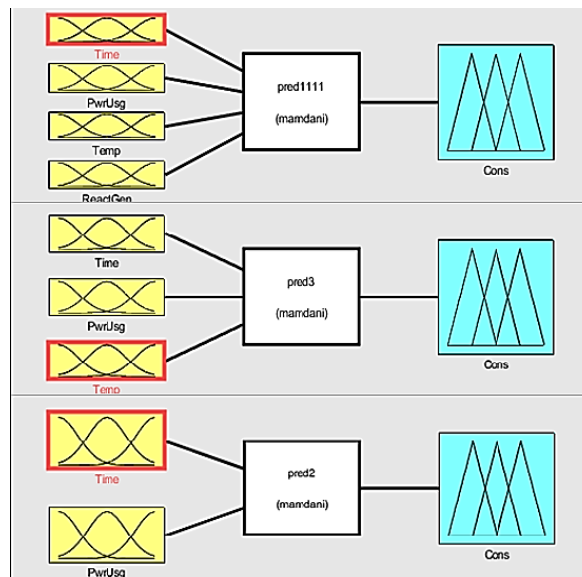


Рис. 1. Структура нечітких систем прогнозування

Фазифікація входів. Першим кроком є вивчення історичних даних усіх параметрів, які використовуються як входи та виходи. Максимальні та мінімальні значення вхідних та вихідних параметрів отримуються та використовуються для процесу термоутворення. Так, наприклад, при фазифікації вхідної змінної “час” використовувався типовий профіль добового споживання активної енергії підприємствами чорної металургії. Виходячи з даного профілю ми отримуємо два піки споживання енергії. Перший пік (М) – з 05:00 до 11:00. Другий пік (Е) – з 15:00 до 21:00. Споживання раннім ранком (ЕМ) – з 00:00 до 04:59. Проміжок між ранковим і вечірнім піками (N) – з 11:01 до 14:59. Споживання пізнім вечором (NT) – з 21:00 до 23:59.

Функція членства - крива, яка відображає ступінь належності кожної точки в просторі введення до даної нечіткої множини у межах від 0 до 1 [21]. У даному дослідженні параметри історичного споживання активної енергії, час, температура і генерація реактивної енергії розглядаються як нечіткі набори або всесвіт дискурсу. Далі вони класифікуються за рівнем і служать підмножиною нечітких наборів. Ряд функцій членства, що використовуються у нечіткій логіці, включає трикутні, трапецієподібні та дзвоникові форми [13]. У цьому дослідженні вибирається нелінійна функція належності через відсутність точок розриву, у яких можливий провал оптимізації. Функції членства для вхідних параметрів системи з чотирма вхідними змінними зображено на рис. 2.

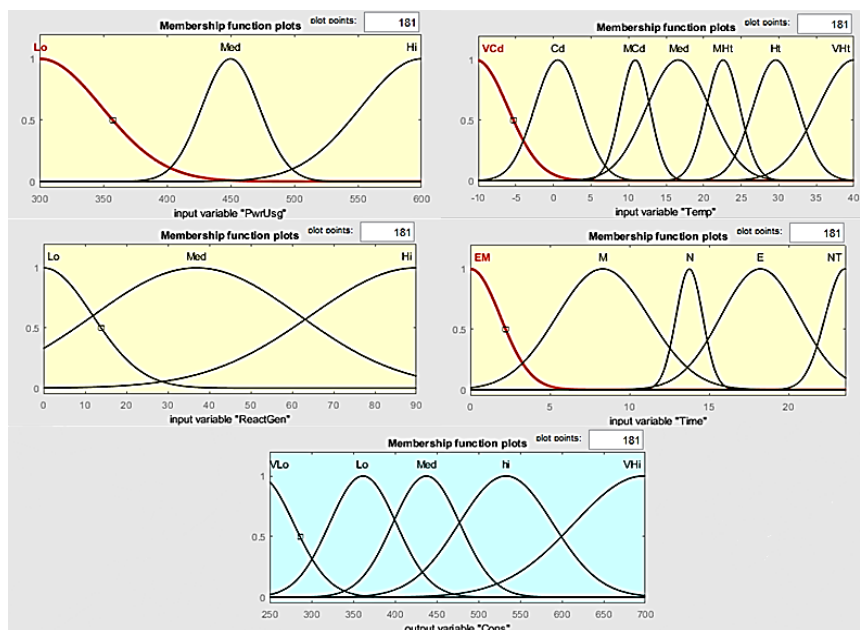


Рис. 2. Вигляд функцій членства для системи з чотирма входами

Формулювання бази нечітких правил є найважливішим аспектом у всій роботі. Результат прогнозування буде залежати від цих правил. Вхідні змінні подаються в механізм нечіткого виводу, і коли застосовуються правила, система виводу опираючись на вхідний сигнал і генерує висновки (вихід). Якщо система використовує дві або більше вхідні змінні, які використовуються як допоміжні засоби, нечіткі оператори такі як AND, OR чи NOT, можуть використовуватися для об'єднання змінних для формування нечітких правил. Так, приклад правил сформованих для системи, що використовує чотири вхідні змінні наведено на рис. 3.

```

306. If (Time is N) and (PwrUsg is Hi) and (Temp is Ht) and (ReactGen is Hi) then (Cons is VHi) (1)
307. If (Time is N) and (PwrUsg is Lo) and (Temp is VHi) and (ReactGen is Lo) then (Cons is Med) (1)
308. If (Time is N) and (PwrUsg is Lo) and (Temp is VHi) and (ReactGen is Med) then (Cons is Med) (1)
309. If (Time is N) and (PwrUsg is Lo) and (Temp is VHi) and (ReactGen is Hi) then (Cons is hi) (1)
310. If (Time is N) and (PwrUsg is Med) and (Temp is VHi) and (ReactGen is Lo) then (Cons is Med) (1)
311. If (Time is N) and (PwrUsg is Med) and (Temp is VHi) and (ReactGen is Med) then (Cons is hi) (1)
312. If (Time is N) and (PwrUsg is Med) and (Temp is VHi) and (ReactGen is Hi) then (Cons is hi) (1)
313. If (Time is N) and (PwrUsg is Hi) and (Temp is VHi) and (ReactGen is Lo) then (Cons is Med) (1)
314. If (Time is N) and (PwrUsg is Hi) and (Temp is VHi) and (ReactGen is Med) then (Cons is hi) (1)
315. If (Time is N) and (PwrUsg is Hi) and (Temp is VHi) and (ReactGen is Hi) then (Cons is VHi) (1)

```

Рис. 3. Фрагмент набору нечітких правил

Вихід системи нечіткого виводу – це сукупність усіх функцій членства, що діють на механізмі виводу. Для отримання його чіткого еквівалента проводять дефазифікацію [14,15]. На рис. 4 показано прогнозований вихід для вибіркового набору даних.

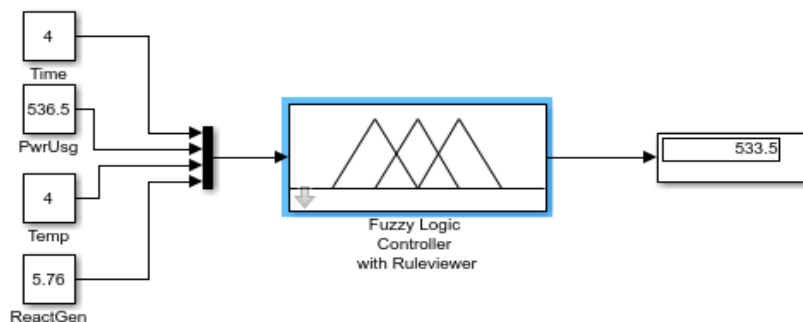


Рис. 4. Моделювання прогнозування споживання навантаження у середовищі Simulink

Табл. 2 відображає прогнозовані значення для розроблених систем прогнозування для тестового фрагменту даних, реальне значення споживання і похибку прогнозування для кожної окремої системи.

Відображення точності прогнозування розроблених систем для фрагменту вхідних даних

| Прогноз 3       | Прогноз 2 | Прогноз 1 | Реальне споживання | Похибка 3  | Похибка 2   | Похибка 1   |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|------------|-------------|-------------|
| 534             | 549       | 432       | 536,4              | 0,0044743  | -0,02348993 | 0,194630872 |
| 531             | 417       | 566       | 535,68             | 0,0087366  | 0,221550179 | -0,05660096 |
| 534             | 648       | 586       | 535,68             | 0,0031362  | -0,20967742 | -0,09393668 |
| 534             | 653       | 586       | 536,4              | 0,0044743  | -0,21737509 | -0,09246831 |
| 502             | 549       | 586       | 535,68             | 0,0628734  | -0,02486559 | -0,09393668 |
| 498             | 549       | 588       | 532,08             | 0,0640505  | -0,03179973 | -0,10509698 |
| 531             | 549       | 586       | 530,64             | -0,0006784 | -0,03459973 | -0,10432685 |
| 531             | 417       | 586       | 534,24             | 0,0060647  | 0,219451932 | -0,09688529 |
| 534             | 549       | 588       | 534,24             | 0,0004492  | -0,02762803 | -0,10062893 |
| 534             | 549       | 586       | 533,52             | -0,0008997 | -0,02901484 | -0,09836557 |
| 534             | 549       | 588       | 534,96             | 0,0017945  | -0,02624495 | -0,0991476  |
| 534             | 549       | 432       | 535,68             | 0,0031362  | -0,02486559 | 0,193548387 |
| Сумарна похибка |           |           |                    | 0,1576117  | -0,20855881 | -0,55321459 |

**Висновки і напрямки подальших досліджень.** У цій роботі проведено моделювання та порівняння систем нечіткого прогнозування рівня споживання навантаження. Отримані значення середньої процентної похибки для трьох розроблених систем свідчать про те, що стандартна система з двома вхідними змінними (історичне споживання енергії і час) дозволяє отримати задовільний рівень точності прогнозування – значення середньої процентної похибки становить 4,61%. При цьому додання всього однієї додаткової вхідної змінної (температури) дозволяє значно зменшити похибку прогнозування, яка для вказаної системи дорівнює 1,74%. Додавання четвертої вхідної змінної, якою виходячи з особливостей споживача, реальні дані якого використовуються для прогнозування було обрано рівень генерації реактивної потужності. Такий вибір вхідних змінних вкупі з ручною оптимізацією бази нечітких правил дозволив знизити середню процентну похибку прогнозування систем нечіткої логіки до рівня 1,31%, що забезпечує зменшення середньої процентної похибки на 1,06% у порівнянні з відомими нечіткими системами прогнозування навантаження. Подальшим кроком у дослідженні є автоматична оптимізація зміни вагових коефіцієнтів нечітких правил різними методами оптимізації та виявлення впливу даної оптимізації на точність прогнозування.

#### Список літератури

1. Pandian, S. C.; Duraiswamy, K.; Rajan, C. C. A.; Kanagaraj N. Fuzzy approach for short term load forecasting. Electric Power Systems Research 2006;76:541-548
2. Serrão, F. C. C. Modelo de previsão de carga de curto-prazo utilizando redes neurais e lógica fuzzy. Master's thesis. Pontifícia Universidade Católica, Brasil, Rio de Janeiro, 2003.
3. Gooijer, de; Jan, G.; Hyndman, R. J. 25 years of time series forecasting. International Journal of Forecasting 2006;22(3):443-473.
4. Platon, R., Dehkordi, V.R. & Martel, J., 2015. Hourly prediction of a building's electricity consumption using case-based reasoning, artificial neural networks and principal component analysis. Energy and Buildings, 92, pp.10–18.
5. Massana, J. et al., 2015. Short-term load forecasting in a non-residential building contrasting models and attributes. Energy and Buildings, 92, pp.322–330.
6. Mena, R. et al., 2014. A prediction model based on neural networks for the energy consumption of a bioclimatic building. Energy and Buildings, 82, pp.142–155.
7. Song, Q., Chissom, B. S. Forecasting enrollments with fuzzy time series - Part I, Fuzzy Sets Syst. 1993;54:1-9.
8. Song, Q., Chissom, B. S. Fuzzy time series and its models, Fuzzy Sets Syst. 1993;54:269-277.
9. Song, Q., Chissom, B. S. Forecasting enrollments with fuzzy time series - Part II, Fuzzy Sets Syst. 1994;62:1-8.
10. Azadeh V. N. A., Pashouheshfar, P.; Saberic, M. An Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System for Long-Term Electric Consumption Forecasting (2008-2015): A Case Study of the Group of Seven (G7) Industrialized Nations: U.S.A, Canada, Germany, United Kingdom, Japan, France and Italy. IEEE. 2010.
11. Uri, N. D. Forecasting peak system load using a combined time series and econometric model. Applied Energy 1978;4:219-227.
12. Jagbir Kaur, Yadwinder Singh Brar, Short term load forecasting using fuzzy logic of 220KV transmission line, Int. J. Eng. Res. Technol. 3 (September 2014), pp.336-343.
13. Yoo, J. & Hur, K., 2013. Load forecast model switching scheme for improved robustness to changes in building energy consumption patterns. Energies, 6(3), pp.1329–1343.
14. C.P. Ronald Reagan, S.R. Sari, Long term load forecasting in Tamil Nadu using fuzzy e neural technology, Int. J. Eng. Innov. Technol. (IJEIT) 3 (March 2014) 1-8.
15. Hari Seetha, R. Saravanan, Short term electric load prediction using fuzzy BP, J. Comput. Inf. Technol. 3 (2007) 267-282.

Рукопис подано до редакції 28.11.2019

## АНОТАЦІЇ

УДК 621.7.022.6

**Моркун В.С., Кравченко О.М.** Основні напрямки вдосконалення керування процесом ультразвукового очищення**Мета.** Визначення основних напрямків удосконалення управління процесом ультразвукового очищення для підвищення його енергоефективності.**Методи дослідження.** Аналіз вітчизняного та закордонного досвіду у питанні впливу різних факторів на процес ультразвукового очищення, існуючих систем керування процесом ультразвукового очищення, систем оцінювання перебігу процесу ультразвукового очищення, наявних алгоритмів, на основі яких приймається рішення про припинення процесу ультразвукового очищення.**Наукова новизна.** На основі проведеного аналізу методів та технічних засобів керування процесом ультразвукового очищення виявлено необхідність удосконалення цього процесу шляхом розробки просторово розподіленої системи керування, що на основі ультразвукового оцінювання стану окремих ділянок виробу, що очищується, формуватиме керуючий вплив лише на ту ділянку, яка цього вимагає в залежності від наявної оцінки забруднення виробу.**Практична значимість.** Визначено основні принципи і підходи автоматичного керування процесом ультразвуковим очищенням. Виявлено необхідність враховувати геометричні параметри виробу складної конфігурації при формуванні автоматичного керування. Сформуована гіпотеза про необхідність цілеспрямованого керування впливу на окремі ділянки виробу в залежності від їх забрудненості.**Результати.** На основі аналізу динамічних ефектів високоенергетичного ультразвуку, що впливають на процес ультразвукового очищення, а саме, кавітації як найбільш значущого в цьому процесі явища, виявлено нерівномірну розподіленість кавітаційних скупчень у ємності для очищення. Це свідчить про те, що на різних ділянках виробу процес очищення буде відбуватися з різною інтенсивністю. До того ж виріб має нерівномірне забруднення, що визначається його геометричними особливостями та особливостями його експлуатації. Отже, умовою ефективного керування процесом ультразвукового очищення є врахування особливостей розподіленості кавітації у просторі і забруднення об'єкта на окремих ділянках. Тому сформуовано висновок щодо необхідності автоматичного просторового керування ультразвукового очищення із врахуванням стану виробу, що очищується.**Ключові слова:** кавітація, ультразвукове очищення, автоматичне керування.**Моркун В.С., Кравченко О.М.** Основные направления совершенствования управления процессом ультразвуковой очистки**Цель.** Определение основных направлений усовершенствования управления процессом ультразвуковой очистки для повышения его энергоэффективности.**Методы исследования.** Анализ отечественного и зарубежного опыта в вопросе влияния различных факторов на процесс ультразвуковой очистки, существующих систем управления процессом ультразвуковой очистки, систем оценивания состояния процесса ультразвуковой очистки, имеющихся алгоритмов, на основе которых принимается решение о прекращении процесса ультразвуковой очистки.**Научная новизна.** На основе проведенного анализа методов и технических средств управления процессом ультразвуковой очистки обнаружено необходимость усовершенствования этого процесса путем построения системы управления, которая на основе ультразвукового оценивания состояния отдельных участков очищаемого изделия будет формировать управляющее воздействие лишь на том участке, который этого требует в зависимости от загрязнения изделия.**Практическая значимость.** Определены основные принципы и подходы автоматического управления процессом ультразвуковой очисткой. Обнаружено необходимость учитывать геометрические параметры изделия сложной конфигурации при формировании автоматического управления. Сформуована гипотеза о необходимости целенаправленного управляемого воздействия на отдельные участки изделия в зависимости от их загрязненности.**Результаты.** На основе анализа динамических эффектов высокоэнергетического ультразвука, которые влияют на процесс ультразвуковой очистки, а именно, кавитации как наиболее значимого в этом процессе явления, обнаружено неравномерную распределенность кавитационных скоплений в емкости для очистки. Это свидетельствует о том, что на разных участках изделия процесс очистки будет происходить с различной интенсивностью. К тому же изделие имеет неравномерное загрязнение, что определяется его геометрическими особенностями и особенностями эксплуатации. Следовательно, условием эффективного управления процессом ультразвуковой очистки является учет особенностей распределенности кавитации в пространстве и загрязнения объекта на отдельных участках. На основе этого сформуовано вывод о необходимости автоматического пространственного управления ультразвуковой очисткой с учетом состояния очищаемого изделия.**Ключевые слова:** кавитация, ультразвуковая очистка, автоматическое управление.**Morkun V.S., Kravchenko O.M.** Basic directions for improving the management of the ultrasonic cleaning process**Purpose.** Identification of the main directions for improving the control of the ultrasonic cleaning process to improve its energy efficiency.**Research methods** consist in analysis of domestic and foreign experience in the influence of various factors on the ultrasonic cleaning process, existing systems for controlling the ultrasonic cleaning process, systems for evaluating the course of the ultrasonic cleaning process, the available algorithms on which the decision to terminate the ultrasonic cleaning process is made.**Scientific novelty** is to identify the need to improve the control of the ultrasonic cleaning process with the use of assessment of the condition of individual sections of the product and on their basis control the process.**Practical value** is in defining the basic principles and approaches of automatic control of the process of ultrasonic cleaning are defined. The necessity to take into account the geometrical parameters of a product of complex configuration when forming an automatic control is revealed. The hypothesis about the necessity of purposefully managed on separate sections of a product depending on their pollution is formed.

**Results.** On the basis of the analysis of the dynamic effects of high-energy ultrasound affecting the process of ultrasonic purification, namely, cavitation as the most significant phenomenon in this process, an uneven distribution of cavitation clusters in the purification tank was revealed. This indicates that at different parts of the product the cleaning process will occur with different intensity. In addition, the product has uneven contamination, which is determined by its geometric features. Therefore, the condition of effective control of the process of ultrasonic cleaning is to take into account the peculiarities of the distribution of cavitation in space and contamination of the object in individual areas. Therefore, a conclusion was drawn regarding the need for automatic spatial control of ultrasonic cleaning, taking into account the condition of the product being cleaned.

**Key words:** cavitation, ultrasonic cleaning, automatic control.

УДК 629.113-83

**Beshta A., Aziukovski O., Khudolii E., Khudolii S., Balakhontsev A.r, Besharif M., Ramadan H.** Viability of vehicle-to-grid technology and renewables in Ukraine

**Purpose.** Assessment of economic feasibility of the ‘vehicle-to-grid’ technology (co-generation to the grid from the electric vehicle’s battery) for the car owner. Evaluation of financial indicators and estimation of conditions when this technology may become attractive for all the stakeholders of electric mobility market.

**Research methods.** Forecasts of the National Commission for Electric Energy Regulation of Ukraine, as well as analytical data and information from manufacturers of electric vehicles are used in the study. Analysis of daily charging/travelling schedule, ratings of power vs. capacities are used for the evaluation of financial expenditures and profits of the car owners.

**Scientific novelty.** It is proven that V2G technology would become feasible if the battery capacity increases, the power rating of charging/generation stations gets bigger and the special green tariff for co-generation from electric vehicles is introduced.

**Practical value.** Electricity tariff rates as well as other data necessary for calculations of V2G feasibility are given.

**Results.** The overview of renewables in Ukraine and electric mobility in particular are carried out, their feasibility is assessed. The tariffs on electricity from renewables are analyzed, the share of renewable energy sources in Ukraine in future is forecasted. Aspects of V2G technology are analyzed in detail – the use of vehicles’ batteries as intermediate energy storage, their charging during cheap night tariffs and co-generation during high demand in order to level electricity consumption on the grid level. It appears that the rated power of charging stations is a ‘bottle-neck’ – the main limiting factor. Besides, it is shown that reduction of batteries’ service life makes the V2G idea inexpedient for the car owner, unless the green tariff will rise.

**Key words:** renewables, green tariff, electric vehicles, co-generation, feasibility study

**Бешта О.С., Азюковський О.О., Худолій Є.П., Худолій С.С., Балахонцев О.В., Хайтам Рамадан, Мохаммед Бешеріф** Техніко-економічне обґрунтування технології когенерації із використанням електромобілів в Україні

**Мета роботи.** Оцінити економічну привабливість альтернативної енергетики, і, зокрема технології «Vehicle-to-grid» (V2G), тобто використання батареї електромобіля для когенерації в мережу. Визначити економічні показники та умови, за якими ця технологія стане привабливою для власників електромобілів.

**Методи дослідження.** Для розрахунку економічних показників використані прогнози Національної комісії регулювання електроенергетики України, дані аналітики та виробників електромобілів.

**Наукова новизна.** Доведено, що для забезпечення привабливості технології V2G для власника електромобіля необхідне збільшення ємності акумуляторів електромобілів, підвищення потужності пристроїв заряджання і розряджання та підвищення рівня «зеленої» тарифу або встановлення спеціального тарифу для когенерації від електромобілів.

**Практична цінність.** Надані числові значення тарифів на електроенергію та параметри заряду-розряду батарей електромобілів, необхідні для техніко-економічного обґрунтування технології когенерації з батареї електромобілів в енергомережу. Визначені межі тарифів та параметри системи, за якими технологія V2G стане самоопукною.

**Результати.** Виконаний огляд тенденцій в галузі альтернативної енергетики в Україні і, зокрема, електричної мобільності в контексті їх економічної доцільності. Проведено аналіз тарифів на електроенергію, отриману від відновлених джерел і зроблений прогноз щодо частки альтернативної енергетики України в майбутньому. Розглянуті аспекти технології V2G – використання батареї електромобілів як проміжного накопичувача енергії, заряджання їх під час низького нічного тарифу на електроенергію і віддачі в енергомережу для часткового покриття пікового навантаження. Показано, що скорочення терміну служби батарей через збільшення циклів заряду-розряду робить цю ідею непрацездатною за сучасним рівнем тарифу на когенерацію.

**Ключові слова:** відновлювана енергетика; зелений тариф; електромобілі; когенерація; техніко-економічне обґрунтування.

**Бешта А.С., Азюковский А.А., Худолей Е.П., Худолей С.С., Балахонцев А.В., Хайтам Рамадан, Мохаммед Бешериф** Техніко-економічне обґрунтування технології когенерації з використанням електричних транспортних засобів в Україні

**Цель работы.** Оценить экономическую привлекательность альтернативной энергетики и, в частности технологии «Vehicle-to-grid» (V2G), то есть использование батареи электромобиля для когенерации в сеть. Определить экономические показатели и условия, по которым эта технология станет привлекательной для владельцев электромобилей.

**Методы исследования.** Для расчета экономических показателей использованы прогнозы Национальной комиссии регулирования электроэнергетики Украины, данные аналитики и производителей электромобилей.

**Полученные результаты.** Выполнен обзор тенденций в области альтернативной энергетики в Украине и, в частности, электрической мобильности в контексте их экономической целесообразности. Сделан анализ тарифов на электроэнергию, полученную от возобновляемых источников энергии и сделан прогноз касательно доли альтернативной энергетики в энергогенерации Украины в будущем. Рассмотрены аспекты технологии V2G - использование батареи электромобилей в качестве промежуточного накопителя энергии, зарядка их во время низкого ночного тарифа на электроэнергию и отдача в энергосеть для частичного покрытия пиковой нагрузки. Показано, что сокращение срока

службы батарей из-за увеличения циклов заряда-разряда делает эту идею несостоятельной при текущих уровнях тарифов на электроэнергию.

**Научная новизна.** Доказано, что для обеспечения привлекательности технологии V2G для владельца электромобиля необходимо увеличение емкости аккумуляторов электромобилей, повышение мощности заряда и разряда и уровня «зеленого» тарифа или введение специального тарифа для когенерации от электромобилей.

**Практическая ценность.** Даны числовые значения тарифов на электроэнергию и параметры заряда-разряда батарей электромобилей, необходимые для технико-экономического обоснования технологии когенерации от батарей электромобилей в энергосеть. Определены граничные значения тарифов и параметры системы, при которых технология V2G может стать экономически оправданной.

**Ключевые слова:** возобновляемая энергетика; зеленый тариф; электромобили; когенерация; технико-экономическое обоснование

УДК 656.1: 504.054

**Пахомов В.І., Гірін І.В.** Обґрунтування найближчих перспектив вибору джерела енергії для автомобіля

**Мета.** Основною метою роботи є комплексне дослідження впливу параметрів силових агрегатів автомобілів на економічну ефективність їх експлуатації та розробка на основі аналізу та систематизації світового досвіду пропозицій щодо економічних заходів стимулювання впровадження відновлюваних джерел енергії в якості джерел живлення автомобілів, а також оцінка їх ролі в формуванні кон'юнктури міжнародних енергетичних ринків.

**Методи дослідження.** У роботі виконано аналітичні дослідження з використанням світових та вітчизняних статистичних показників стосовно подальших перспектив розвитку автомобілів з силовими агрегатами на альтернативних джерелах живлення. Використано комплексний підхід, що включає узагальнення і аналіз літературних джерел і досліджень в галузі автомобільного транспорту.

**Наукова новизна.** Наукову цінність представляє аналітичне оцінювання темпів зростання ринку сучасного автомобільного парку з двигунами на альтернативних джерелах живлення та виявлення основних сегментів та технічних напрямків для подальшого підвищення складового рівня цього виду рухомого складу в загальній долі автотранспорту України.

**Практична значимість** роботи визначається можливістю використовувати розроблені і обґрунтовані в роботі заходи економічного стимулювання альтернативних джерел живлення для автомобільних двигунів. Положення і рекомендації дослідження можуть бути використані при вирішенні завдань забезпечення національної економічної безпеки за рахунок диверсифікації енергетичних джерел на внутрішньому ринку, а також при формуванні підходів до інтеграції України у транспортну систему ЄС. Результати роботи можуть бути застосовані організаціями та компаніями, які беруть участь у формуванні політики в сфері енергетики

**Результати.** Виконано порівняльний аналіз впливу рівня технічних компонентів електромобілів і традиційних автомобілів на стан автомобільного ринку. Узагальнено результати порівняльних характеристик компоновальних компонентів та технічних можливостей електрокарів в порівнянні із звичайними авто. Дано порівняльну оцінку експлуатаційних показників найбільш поширених на сучасному світовому та внутрішньому ринку електромобілів і автомобілів з традиційними силовими агрегатами

**Ключові слова:** енергосистема, двигун, джерело енергії, електромобіль, газомоторне паливо

**Пахомов В.І., Гірін І.В.** Обоснование ближайших перспектив выбора источника энергии для автомобиля

**Цель.** Основной целью работы является комплексное исследование влияния параметров силовых агрегатов автомобилей на экономическую эффективность их эксплуатации и разработка на основе анализа и систематизации мирового опыта предложений по экономическому стимулированию внедрения возобновляемых источников энергии в качестве источников питания автомобилей, а также оценка их роли в формировании конъюнктуры международных энергетических рынков.

**Методы исследования.** В работе выполнены аналитические исследования с использованием мировых и отечественных статистических показателей относительно дальнейших перспектив развития автомобилей с силовыми агрегатами на альтернативных источниках питания. Использован комплексный подход, включающий обобщение и анализ литературных источников и исследований в области автомобильного транспорта.

**Научная новизна.** Научную ценность представляет аналитическая оценки темпов роста рынка современного автомобильного парка с двигателями на альтернативных источниках питания и выявление основных сегментов и технических направлений для дальнейшего повышения составляющей уровня этого вида подвижного состава в общей доле автотранспорта Украины.

**Практическая значимость работы** определяется возможностью использования разработанных и обоснованных в работе методов экономического стимулирования альтернативных источников питания для автомобильных двигателей. Положения и рекомендации исследования могут быть использованы при решении задач обеспечения национальной экономической безопасности за счет диверсификации энергетических источников на внутреннем рынке, а также при формировании подходов к интеграции Украины в транспортную систему ЕС. Результаты работы могут быть применены организациями и компаниями, которые участвуют в формировании политики в сфере энергетики

**Результаты.** Выполнен сравнительный анализ влияния уровня технических компонентов электромобилей и традиционных автомобилей на состояние автомобильного рынка. Обобщены результаты сравнительных характеристик компоновочных компонентов и технических возможностей электрокаров по сравнению с обычными авто. Дана сравнительная оценка эксплуатационных показателей, наиболее распространенных на современном мировом и внутреннем рынке электромобилей и автомобилей с традиционными силовыми агрегатами

**Ключевые слова:** энергосистема, двигатель, источник энергии, электромобиль, газомоторное топливо

**Pakhomov V.I., Hirin I.V.** Immediate prospects of choosing the vehicle's power source

**Purpose.** To study the influence of the parameters of power units of a car on the economic efficiency of the operation. To come up with the suggestions on the introduction of renewable energy sources as power sources for cars on the basis of analysis and systematization of the world experience, as well as to assess their role on the international energy markets.

**Research methods.** The work contains analytical studies, which incorporate world and domestic statistical indicators on the future development of vehicles with power units on alternative power sources. An integrated approach is used including the synthesis and analysis of literary sources and studies in the field of automobile transport.

**Scientific novelty.** The analytical assessment of the growth rate of the modern car park market with alternative power sources engines and the identification of the main technical areas for the further level component of the rolling stock in the total share of motor vehicles in Ukraine.

**Practical value** of the work is determined by the possibility of using the methods of economic incentives for alternative power sources for automobile engines under study. The recommendations can be used in solving the tasks of both the national economic security by diversifying energy sources in the domestic market and the integration of Ukraine into the EU transport system. The results of the work can be applied by organizations and companies involved in shaping energy policy.

**Results.** It is carried out a comparative analysis of the influence of the level of technical components of electric vehicles and traditional cars on the automotive market. The results of the comparative characteristics of the layout components and the technical capabilities of electric cars compared with conventional ones are summarized. It is given a comparative assessment of the operational indicators of the most common in today's world and domestic market of electric vehicles and cars with traditional power units.

**Key words:** power system, engine, energy source, electric vehicle, gas engine fuel

УДК 614.8:331.45:331.421:331.582.2

**Данова К.В., Малишева В.В.** Інформаційна ентропія як показник невизначеності у забезпеченні безпеки на робочих місцях працівників із інвалідністю

**Мета.** Аналіз можливості використання інформаційної ентропії як показника, що характеризує невизначеність у прийнятті управлінських рішень стосовно працевлаштування особи, яка має стійкі функціональні зміни у стані здоров'я, на робоче місце. За показником інформаційної ентропії особа, яка приймає управлінські рішення, має можливість визначати необхідність впровадження організаційно-технічних рішень щодо адаптації робочого місця із урахуванням обмежень життєдіяльності працівника із інвалідністю.

**Методи дослідження.** Методика ґрунтується на аналізі наявної статистичної інформації щодо причин травматизму, пов'язаного із виробництвом, на підприємствах переробної галузі, задля визначення вірогідності настання нещасного випадку за кожною групою як індивідуального ризику травмування. На базі цього визначено інформаційну ентропію. Врахування стану здоров'я осіб із інвалідністю пропонується здійснювати за інтегральним показником функціональної обмеженості життєдіяльності, який впливає на значення інформаційної ентропії, що надає можливість виробляти ефективні управлінські рішення щодо її зменшення та підвищення рівня охорони праці на робочих місцях працівників із інвалідністю та підприємстві у цілому.

**Наукова новизна.** Полягає у розробці підходу до прийняття управлінських рішень стосовно забезпечення охорони праці працівників із інвалідністю в умовах підприємства на основі врахування їх особливих потреб за інтегральним показником функціональної обмеженості життєдіяльності, що впливає на рівень інформаційної ентропії, яка відображає ефективність реалізації завдань щодо забезпечення безпеки на робочих місцях цієї категорії працівників.

**Практичне значення.** Полягає у наданні особі, яка приймає управлінські рішення, інформаційної бази для визначення пріоритетних напрямів підвищення рівня безпеки на робочих місцях відповідно до потреб працівника, який має стійкі функціональні зміни у стані здоров'я, з метою попередження зростання рівня виробничого травматизму. Зниження ризику травмування працівників із інвалідністю сприятиме посиленню позитивного ставлення до питання працевлаштування цієї категорії населення з боку роботодавців, що надасть змогу отримати суттєвий соціально-економічний ефект на державному рівні.

**Ключові слова:** ентропія, невизначеність, ризик, працівник, інвалідність, травма, безпека.

**Данова К.В., Малишева В.В.** Информационная энтропия как показатель неопределенности в обеспечении безопасности на рабочих местах работников с инвалидностью

**Цель.** Анализ возможности использования информационной энтропии как показателя, характеризующего неопределенность в принятии управленческих решений о трудоустройстве лица, имеющего устойчивые функциональные изменения в состоянии здоровья на рабочем месте. По показателю информационной энтропии лицо, принимающее управленческие решения, имеет возможность определять необходимость и достаточность организационно-технических решений по адаптации рабочего места с учетом ограничений жизнедеятельности работника с инвалидностью.

**Методы исследования.** Методика основывается на анализе имеющейся статистической информации о причинах травматизма, связанного с производством, на предприятиях перерабатывающей отрасли, для определения вероятности наступления несчастного случая по каждой группе в качестве индивидуального риска травмирования. На базе этого определена информационная энтропия. Учет состояния здоровья лиц с ограниченными возможностями предлагается осуществлять по интегральному показателю функциональной ограниченности жизнедеятельности, который влияет на значение информационной энтропии, и предоставляет возможность производить эффективные управленческие решения по ее сокращению и повышению уровня охраны труда на рабочих местах работников с инвалидностью и предприятия в целом.

**Научная новизна.** Заключается в разработке подхода к принятию управленческих решений по обеспечению охраны труда работников с инвалидностью в условиях предприятия на основе учета их особых потребностей интегральным показателем функциональной ограниченности жизнедеятельности, влияет на уровень информационной энтропии, которая отражает эффективность реализации задач по обеспечению безопасности на рабочих местах этой категории работников.

**Практическое значение.** Заключается в предоставлении лицу, принимающему управленческие решения, информационной базы для выработки эффективных действий по подбору и адаптации рабочего места в соответствии с потребностями работника, который имеет стойкие функциональные изменения в состоянии здоровья, с целью предупреждения роста уровня производственного травматизма. Снижение риска травмирования работников с инвалидностью будет способствовать усилению позитивного отношения к проблеме трудоустройства этой категории населения со стороны работодателей, позволит получить существенный социально-экономический эффект на государственном уровне.

**Ключевые слова:** энтропия, неопределенность, риск, работник, инвалидность, травма, безопасность.

**Danova K.V., Malysheva V.V.** Information entropy as an indicator of indefiniteness in ensuring of safety at workplaces for disabled persons

**Purpose.** Analysis of the possibility of using informational entropy as an indicator characterizing the indefiniteness in making managerial decisions about the employment of a person who has stable functional changes in the state of health at the workplace. According to the indicator of informational indefiniteness, the person who makes managerial decisions has the opportunity to determine the necessity and sufficiency of organizational and technical solutions for adapting the workplace taking into account the limitations of vital activity of an employee with a disability.

**Research methods.** The methodology is based on the analysis of available statistical information about the causes of injuries associated with production at the enterprises of the processing industry to determine the probability of an accident for each group as an individual risk of injury. Based on this, the informational entropy is determined. It is proposed to take into account the health status of persons with disabilities by the integrated indicator of functional limitations of vital activity, which affects at the value of information entropy, and provides the ability to make effective management decisions to reduce it and increase the level of occupational safety at the workplaces of workers with disabilities and the enterprise as a whole.

**Scientific novelty.** It consists in developing an approach to making managerial decisions to ensure the occupational safety of workers with disabilities at the enterprise based on taking into account their special needs using the integral indicator of functional limitations of vital activity, that affects on the level of information entropy, which reflects the effectiveness of the implementation of issues of ensuring safety at the workplaces of this category of workers.

**Practical value.** It consists in providing to the decision-maker the information base for developing effective actions for selecting and adapting a workplace in accordance with the needs of an employee who has stable functional changes in his state in order to prevent an increase of the level of occupational injuries. Reducing the risk of injury of workers with disabilities will enhance the positive attitude towards the problem of employment of this category of the population by employers, and will allow to obtain a significant socio-economic effect at the state level.

**Key words:** entropy, indefiniteness, risk, employee, disability, trauma, safety.

УДК 622.271.33:622.12

**Луценко С.О., Блізнюков В.Г., Баранов І.В.** Визначення перспективних контурів кар'єрів, що розробляють крутоспадні залізородні родовища

**Мета.** Удосконалити науково-методичну базу в області проектування і планування відкритих гірничих робіт шляхом розробки нових і коригування існуючих методів визначення границь відкритих гірничих робіт, на основі порівняння показників режимів гірничих робіт, що змінюються в часі, проектного кар'єру і діючих (базових) кар'єрів.

**Методи дослідження.** Економічною основою розрахункового принципу визначення перспективної глибини проектного кар'єру прийнято умову: в будь-який період розробки економічні показники виробництва і реалізації залізородної продукції проектного підприємства повинні бути краще або рівні аналогічних показників діючого (базового для порівняння) підприємства. Реалізація цієї умови досягнута із застосуванням геометричного аналізу кар'єрних полів і порівняння режимів гірничих робіт проектного і діючого кар'єрів.

**Наукова новизна.** Розроблена методика відрізняється від відомих урахуванням зміни граничних коефіцієнтів розкриву в часі, а також визначенням впливу технологічних показників кар'єрів-конкурентів на кінцеву глибину кар'єру, що проектується.

**Практична значимість.** Результати виконаних досліджень можуть бути використані проектними організаціями і гірничодобувними підприємствами при визначенні перспективних контурів кар'єрів.

**Результати.** Приведено загальноприйнятий принцип визначення меж відкритих гірничих робіт, суть якого полягає у визначенні границь на основі порівняння допустимої собівартості видобутку руди з очікуваною за проектом кар'єром. Розроблена методика визначення границь кар'єрів, яка передбачає застосування граничного коефіцієнта розкриву як величини не постійної, а такої, що змінюється в часі, і залежить від зміни поточних коефіцієнтів розкриву на кар'єрах-конкурентах. На прикладі кар'єрів, які відображають характерні особливості розробки крутоспадних родовищ України, продемонстровано вплив поточних коефіцієнтів розкриву діючих кар'єрів на граничний коефіцієнт розкриву, який служить головним критерієм при визначенні меж відкритих гірничих робіт для проектованих кар'єрів.

**Ключові слова:** відкриті гірничі роботи, перспективні контури кар'єра, кордони кар'єра, граничний коефіцієнт розкриву, глибина відкритих гірничих робіт, собівартість концентрату.

**Луценко С.А., Блізнюков В.Г., Баранов І.В.** Определение перспективных контуров карьера, разрабатывающих крутопадающие железородные месторождения

**Цель.** Усовершенствовать научно-методическую базу в области проектирования и планирования открытых горных работ путем разработки новых и корректировки существующих методов определения границ открытых горных работ, на основе сравнения показателей режимов горных работ, изменяющихся во времени, проектируемого карьера и действующих (базовых) карьеров.

**Методы исследования.** Экономической основой расчетного принципа определения перспективной глубины проектируемого карьера принято условие: в любой период разработки экономические показатели производства и реализации железородной продукции проектируемого предприятия должны быть лучше или уровне аналогичных показате-

лей действующего (базового для сравнения) предприятия. Реализация этого условия достигнута с применением геометрического анализа карьерных полей и сравнение режимов горных работ проектируемого и действующего карьеров.

**Практическая значимость.** Результаты выполненных исследований могут быть использованы проектными организациями и горнодобывающими предприятиями при определении перспективных контуров карьеров.

**Результаты.** Приведен общеизвестный принцип определения границ открытых горных работ, сущность которого заключается в определении границ на основе сравнение допустимой себестоимости добычи руды с ожидаемой по проектируемому карьере. Разработана методика определения границ карьеров, которая предусматривает применение граничного коэффициента вскрыши как величины не постоянной, а такой, что меняется во времени и зависит от изменения текущих коэффициентов вскрыши на карьерах-конкурентах. На примере карьеров, отражающих характерные особенности разработки крутопадающих месторождений Украины, продемонстрировано влияние текущих коэффициентов вскрыши действующих карьеров на граничный коэффициент вскрыши, который служит главным критерием при определении границ открытых горных работ для проектируемых карьеров.

Научная новизна. Разработанная методика отличается от известных учетом изменения граничных коэффициентов вскрыши во времени, а также определением влияния технологических показателей карьеров-конкурентов на конечную глубину проектируемого карьера.

**Ключевые слова:** открытые горные работы, перспективные контуры карьера, границы карьера, граничный коэффициент вскрыши, глубина открытых горных работ, себестоимость концентрата.

**Lutsenko S.O., Bliznyukov V.G., Baranov I.V.** Determination of perspective outlines of the quarries developing steep ore deposits

**Purpose.** To improve the research and methodological base in designing and planning fields of quarry mining by developing new and adjusting existing methods for determining the boundaries of quarry mining, by comparing the time-dependent indicators of mining operations modes of designed quarry and operating (basic) quarries.

**Research methods.** The economic basis of calculation principle for determining the perspective depth of the designed quarry is the condition: in any period of development, the economic indicators of production and sale of iron ore products of the designed quarry shall be better or equal to similar indicators of the operating (basic for comparison) enterprise. Implementation of this condition has been achieved by using the geometric analysis of quarry fields and comparing the mining operations modes of designed and operating quarries.

**Scientific novelty.** The developed method is different from the known ones in considering the changes of critical stripping ratio, which is time-dependent, as well as in determining the influence of quarry-competitors process parameters on the final depth of the quarry under design.

**Practical value.** The results of the performed analyses can be used by engineering organizations and mining enterprises when determining quarry perspective outlines.

**Results.** It cites the commonly known method of determining the boundaries of opencast mining, the essence of which is determining the boundaries based on comparison of the acceptable final cost of ore extraction with the expected final cost in the projected opencast mine. The method of determining the boundaries of quarries, which involves the use of critical stripping ratio as a value which is not constant, but time-dependent, and that depends on changes in current stripping ratio at quarries-competitors, has been developed. On the example of quarries, which reflect the peculiarities in development of steep deposits in Ukraine, there shown the influence of current stripping ratio of operating quarries on the critical stripping ratio, which serves as the main criterion for determining the boundaries of quarry mining for the quarries under design.

**Key words:** quarry mining, quarry perspective outlines, quarry boundaries, critical stripping ratio, depth of quarry mining, concentrate prime cost.

УДК 004.896

**Кузнєцов Д.І.** Інформаційна система визначення поточного стану електрообладнання для Smart Grid мереж

**Мета.** Метою роботи є розробка інформаційної системи для визначення поточного стану та ідентифікації будь-якого енергетичного обладнання головним елементом якого є асинхронний двигун, зокрема визначення несправностей та підвищеного енергоспоживання в енергетичних мережах типу Smart Grid. З метою реалізації поставлених задач запропоновано використання модульної структури Smart Box діагностуючих пристроїв. Зокрема, представлено модель модульної інформаційної кіберфізичної системи із застосуванням Smart Box пристрою для ранньої технічної діагностики електрообладнання та його інформаційні потоки.

**Методи дослідження.** У даній статті автором запропоновано структуру інформаційної системи для ранньої діагностики промислового та приватного електрообладнання на основі використання підходів та стандартів Industry 4.0, зокрема концепції Internet of Things у межах енергетичних мереж типу Smart Grid.

**Наукова новизна.** Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Запропоновані методи є актуальними адже дозволяють у якості обчислювального ядра Smart Box пристрою використовувати структуру нейро-нечіткої мережі, яка складається з 5 шарів. Особливістю даної системи є можливість зміни кількості термів вхідних змінних з метою підвищення якості ідентифікації асинхронних двигунів.

**Практична значимість.** Завдяки виконанню автоматизації на основі запропонованого підходу можливо розподілювати усі технологічні об'єкти підприємства на окремі структурні одиниці, які можуть бути частиною інформаційного кластеру. Це дозволяє зменшити час реакції в кластерній системі до 35 %, у порівнянні зі звичайною. Також, використання даного типу системи дозволяє зменшити кількість спеціалізованого обладнання у межах використання одного типного енергетичного обладнання.

**Результати.** Отримані результати дослідження у вигляді моделі модульної інформаційної системи можливо використовувати при побудові апаратно-програмних модулів для діагностики технологічного та побутового електрообладнання. У свою чергу, дані модулі можуть об'єднуватися у загальну глобальну мережу IoT в межах енергетичної системи типу Smart Grid.

**Ключові слова:** інформаційна система, Industry 4.0, рання діагностика, кіберфізична система, асинхронний двигун Smart Grid.

**Кузнецов Д.И.** Информационная система определения текущего состояния электрооборудования для Smart Grid сетей

**Цель.** Целью работы является разработка информационной системы для определения текущего состояния и идентификации любого энергетического оборудования главным элементом которого является асинхронный двигатель, в частности определение неисправностей и повышенного энергопотребления в энергетических сетях типа Smart Grid. С целью реализации поставленных задач предложено использование модульной структуры Smart Box диагностируемых устройств. В частности, представлена модель модульной информационной киберфизической системы с применением Smart Box пристрою для ранней диагностики электрооборудования и его информационные потоки.

**Методы исследования.** В данной статье автором предложена структура информационной системы для ранней диагностики промышленного и частного электрооборудования на основе использования подходов и стандартов Industry 4.0, в частности концепции Internet of Things в пределах энергетических сетей типа Smart Grid.

**Научная новизна.** Решение данной задачи составляет актуальность работы. Предложенные методы актуальны ведь позволяют в качестве вычислительного ядра Smart Box устройства использовать структуру нейро-нечеткой сети, которая состоит из 5 слоев. Особенностью данной системы является возможность изменения количества термов входных переменных с целью повышения качества идентификации асинхронных двигателей.

**Практическая значимость.** Благодаря выполнению автоматизации на сну предложенного подхода возможно распределить все технологические объекты предприятия на отдельные структурные единицы, которые могут быть частью информационного кластера. Это позволяет уменьшить время реакции в кластерной системе до 35%, по сравнению с обычной. Также, использование данного типа системы позволяет уменьшить количество специализированного оборудования в рамках использования однотипного энергетического оборудования.

**Результаты.** Полученные результаты исследования в виде модели модульной информационной системы можно использовать при построении аппаратно-программных модулей для диагностики технологического и бытового электрооборудования. В свою очередь, данные модули могут объединяться в общую глобальную сеть IoT в пределах энергетической системы типа Smart Grid.

**Ключевые слова:** информационная система, Industry 4.0, ранняя диагностика, киберфизична система, асинхронний двигател, Smart Grid.

**Kuznetsov D.I.** Information system for determining the current state of electrical equipment for Smart Grid networks

**Purpose.** The aim of the work is to develop an information system for determining the current state and identification of any power equipment, the main element of which is an induction motor, in particular, the determination of faults and increased energy consumption in energy networks such as Smart Grid. In order to achieve the objectives, it is proposed to use the modular structure of the Smart Box of diagnosed devices. In particular, a model of a modular cyberphysical information system with the use of Smart Box is presented, an attachment for early diagnostics of electrical equipment and its information flows.

**Research methods.** In this article, the author proposed the structure of an information system for the early diagnosis of industrial and private electrical equipment based on the approaches and standards of Industry 4.0, in particular, the concept of Internet of Things within smart grid type energy networks.

**Scientific novelty.** The solution to this problem is the relevance of the work. The proposed methods are relevant because they allow using the structure of a neuro-fuzzy network, which consists of 5 layers, as the computing core of the Smart Box device. A feature of this system is the ability to change the number of terms of input variables in order to improve the quality of identification of induction motors.

**Practical value.** Thanks to the automation of the proposed approach for sleep, it is possible to distribute all technological objects of the enterprise into separate structural units, which can be part of an information cluster. This makes it possible to reduce the reaction time in the cluster system by up to 35%, compared to the usual one. Also, the use of this type of system allows you to reduce the number of specialized equipment in the framework of the use of the same type of power equipment.

**Results.** The results of the study in the form of a model of a modular information system can be used to build hardware and software modules for the diagnosis of technological and domestic electrical equipment. In turn, these modules can both unite into a common global IoT network within a Smart Grid type energy system.

**Key words:** information system, Industry 4.0, early diagnostics, cyberphysical system, induction motor, Smart Grid.

УДК 004.896:681.3:621.311

**Котов І.А.** Автоматна модель реактивної тригерної СППР для управління режимом енергосистеми гірничо-металургійного комплексу

**Мета.** Виклад результатів розробки автоматної моделі реактивної тригерної системи підтримки прийняття рішень (СППР) для управління режимом енергосистеми. В системі реалізована властивість реактивності за рахунок використання запропонованих апаратно-програмних тригерів. Модель реактивної тригерної системи підтримки рішень інтерактивне пов'язана як з діями користувача-оператора, так і зі станами компонентів енергосистеми. Теоретична розробка і впровадження програмного комплексу тригерної системи підтримки прийняття рішень в середу диспетчерського управління енергосистеми є актуальною науково-технічною проблемою.

**Методи дослідження** полягають в комплексуванні автоматної моделі станів та тригерної моделі функціонування програмної системи підтримки рішень. При цьому стан автоматної моделі пов'язується з виконанням пакета метаправил для управління логічним висновком. У роботі використані методи теорії множин, математичної логіки, теорії автоматів, електроенергетичних систем (ЕЕС), теорії графів, математичної статистики.

**Наукова новизна** полягає в новій моделі подієвої взаємодії системи підтримки рішень з енергооб'єктами електроенергетичної системи. Для схеми станів реалізована автоматна модель функціонування з конкретизацією семантики станів, транзакцій і тригерів. Розроблена модель візуалізації автоматного формалізму у вигляді керованих тригерами станів програмної системи. Показано, що структурна схема тригерних станів реалізує базовий набір структур алго-

ритму. Розроблена схема візуалізації виконання транзакцій, як одного стану програмної системи.

**Практична значимість** роботи полягає в удосконаленні автоматизації управління режимами енергосистеми шляхом впровадження в середу діючого оперативного інформаційно-управляючого комплексу (ОІУК) розробленої автоматної моделі реактивної тригерної системи підтримки прийняття рішень. Реалізація та впровадження програмного комплексу дозволить скоротити збитки від аварійних ситуацій в енергосистемі, підвищити якість диспетчерського управління режимами і технологічними процесами електричних мереж.

**Результатами роботи** є подієва модель станів системи підтримки рішень, модель апаратно-програмних тригерів для зв'язку з компонентами енергосистеми, автоматна тригерна модель станів, асоційованих з транзакціями метаправил для запуску та управління логічним висновком в базі знань. Дано визначення стану моделі і транзакції метаправил. Розроблені формальні моделі переходів, транзакцій і функцій виходів станів автоматної моделі. Наведено візуалізація тригерної моделі і принципи її функціонування.

**Ключові слова:** транзакція, енергосистема, автомат, онтологія, евристика, база знань, інкорпорація

**Котов И.А.** Автоматная модель реактивной триггерной СППР для управления режимом энергосистемы горно-металлургического комплекса

**Цель.** Изложение результатов разработки автоматной модели реактивной триггерной системы поддержки принятия решений (СППР) для управления режимом энергосистемы. В системе реализовано свойство реактивности за счет использования предложенных аппаратно-программных триггеров. Модель реактивной триггерной системы поддержки решений интерактивно связана как с действиями пользователя-оператора, так и с состояниями компонентов энергосистемы. Теоретическая разработка и внедрение программного комплекса триггерной системы поддержки принятия решений в среду диспетчерского управления энергосистемы является актуальной научно-технической проблемой.

**Методы исследования** заключаются в комплексировании автоматной модели состояний и триггерной модели функционирования программной системы поддержки решений. При этом состояние автоматной модели связывается с выполнением пакета метаправил для управления логическим выводом. В работе использованы методы теории множеств, математической логики, теории автоматов, электроэнергетических систем (ЭЭС), теории графов, математической статистики.

**Научная новизна** заключается в новой модели событийного взаимодействия системы поддержки решений с энергообъектами электроэнергетической системы. Для схемы состояний реализована автоматная модель функционирования с конкретизацией семантики состояний, транзакций и триггеров. Разработана модель визуализации автоматного формализма в виде управляемых триггерами состояний программной системы. Показано, что структурная схема триггерных состояний реализует базовый набор структур алгоритма. Разработана схема визуализации выполнения транзакций, как одного состояния программной системы.

**Практическая значимость** работы заключается в совершенствовании автоматизации управления режимами энергосистемы путем внедрения в среду действующего оперативного информационно-управляющего комплекса (ОІУК) разработанной автоматной модели реактивной триггерной системы поддержки принятия решений. Реализация и внедрение программного комплекса позволит сократить убытки от аварийных ситуаций в энергосистеме, повысить качество диспетчерского управления режимами и технологическими процессами электрических сетей.

**Результатами** работы является событийная модель состояний системы поддержки решений, модель аппаратно-программных триггеров для связи с компонентами энергосистемы, автоматная тригерная модель состояний, ассоциированных с транзакциями метаправил для запуска и управления логическим выводом в базе знаний. Дано определение состояния модели и транзакции метаправил. Разработаны формальные модели переходов, транзакций и функций выходов состояний автоматной модели. Приведены визуализация триггерной модели и принципы ее функционирования.

**Ключевые слова:** транзакция, энергосистема, автомат, онтология, эвристика, база знаний, инкорпорация

**Котов И.А.** Automatic model of a reactive trigger DSS for control of the power system mode of mining and metallurgical complex

**Purpose.** To present the results of the development of an automated model of a reactive trigger decision support system (DSS) for controlling the regime of the power system. The system implements the reactivity property through the use of the proposed hardware-software triggers. The model of a reactive trigger decision support system is interactively connected both with the actions of the user-operator and with the states of the components of the power system. Theoretical development and implementation of the software package of the trigger decision support system in the environment of energy system dispatch control is an urgent scientific and technical problem.

**Research methods** consist in integrating an automaton state model and a trigger model of functioning of a software solution support system. At the same time, the state of the automaton model is associated with the execution of a meta-rule package to control inference. The methods of set theory, mathematical logic, the theory of automata, electric power systems (EES), graph theory, and mathematical statistics are used.

**Scientific novelty** lies in the new model of event interaction of the decision support system with the power facilities of the electric power system. For the state diagram, an automatic model of functioning is implemented with concretization of the semantics of states, transactions, and triggers. A visualization model of the automaton formalism in the form of triggered states of a software system has been developed. It is shown that the block diagram of trigger states implements a basic set of algorithm structures. A transaction visualization scheme has been developed as one state of a software system.

**Practical value** of the work lies in improving automation of the energy system by introducing into the environment the operational information management complex (OIMC) of the developed automatic model of the reactive trigger decision support system. The implementation and implementation of the software package will reduce losses from emergency situations in the power system, improve the quality of dispatch control of the modes and technological processes of electric networks.

**Results** of the work are an event model of the state of the decision support system, a model of hardware and software triggers for communication with the components of the power system, an automatic trigger model of states associated with meta-rule transactions for launching and managing logical inference in the knowledge base. The definition of the state of the model and the transaction of meta-rules is given. Formal models of transitions, transactions, and state output functions of the automaton model are developed. The visualization of the trigger model and the principles of its functioning are given.

**Key words:** transaction, power system, automaton, ontology, heuristic, knowledge base, incorporation

УДК 504.064.38

**Швагер Н.Ю., Комісаренко Т.А.** Спосіб контролю атмосфери кар'єрів після масових вибухів

**Мета.** Аналіз існуючих методів визначення наявності шкідливих речовин в атмосфері після масових вибухів в кар'єрах та розробка способу вимірювання газового складу атмосфери за допомогою безпілотного апарата БПЛА

**Методи дослідження.** У статті використано загальнонаукові методи дослідження. За основу при проведенні дослідження було покладено системний підхід. За допомогою аналізу та порівняння виокремлено особливості різних способів визначення стану атмосфери кар'єра в цілому і його окремих ділянок. Утворені в момент вибуху шкідливі речовини досягають понаднормових концентрацій у повітрі кар'єру, що чинить негативний вплив на здоров'я працівників гірничого підприємства та жителів прилеглих до кар'єра територій. Метод узагальнення дав змогу визначити шляхи удосконалення способів контролю газового складу атмосфери.

**Наукова новизна.** Для вирішення цієї проблеми запропоновано спосіб контролю газового складу атмосфери після вибухів за допомогою БПЛА.

**Практична значимість.** Використання безпілотного апарата (БПЛА) для визначення концентрації шкідливих газів, що утворюються після масових вибухів на кар'єрі забезпечує відсутність необхідності перебування людини у зоні особливої небезпеки після масового вибуху, а також швидкі темпи обробки інформації (загальний час на збір інформації та її обробку не буде перевищувати 1 годину). До недоліків методу можна віднести порівняно високу вартість обладнання.

**Результати.** Надані пропозиції щодо способу контролю газового складу атмосфери після вибухів за допомогою БПЛА. Дослідження нових способів контролю складу атмосфери після масових вибухів при відкритому способі розробки родовищ корисних копалин має важливе значення для забезпечення безпеки праці та зниження екологічного навантаження на прилеглі до кар'єра території. Реалізація пропонованого способу контролю складу атмосфери після вибуху дозволить отримувати достовірні дані про хімічний склад атмосфери на ділянках, які розташовані в зоні вибуху в короткі терміни, а також проводити контрольні виміри в процесі виконання гірничотехнічних робіт без їх переривання і без участі людей.

**Ключові слова:** масовий вибух, моніторинг, шкідливі речовини, концентрація, безпілотний апарат

**Швагер Н.Ю., Комиссаренко Т.А.** Способ контроля атмосферы карьеров после массовых взрывов

**Цель.** Анализ существующих методов определения наличия вредных веществ в атмосфере после массовых взрывов в карьерах и разработка способа измерения газового состава атмосферы с помощью беспилотного аппарата БПЛА

**Методы исследования.** В статье использованы общенаучные методы исследования. За основу при проведении исследования было положено системный подход. С помощью анализа и сравнения выделены особенности различных способов определения состояния атмосферы карьера в целом и его отдельных участков. Образующиеся в момент взрыва вредные вещества достигают концентраций, превышающих норму в воздухе карьера, что оказывает отрицательное влияние на здоровье работников горного предприятия и жителей, близлежащих к карьере территорий. Метод обобщения позволил определить пути совершенствования способов контроля газового состава атмосферы.

**Научная новизна.** Для решения этой проблемы предложен способ контроля газового состава атмосферы после взрывов с помощью БПЛА.

**Практическая значимость.** Использование беспилотного аппарата (БПЛА) для определения концентрации вредных газов, образующихся после массовых взрывов на карьере, обеспечивает отсутствие необходимости пребывания человека в зоне особой опасности после массового взрыва, а также быстрые темпы обработки информации (общее время на сбор информации и ее обработки не будет превышать 1 час). К недостаткам метода можно отнести сравнительно высокую стоимость оборудования.

**Результаты.** Представлены предложения о способе контроля газового состава атмосферы после взрывов с помощью БПЛА. Исследование новых способов контроля состава атмосферы после массовых взрывов при открытом способе разработки месторождений полезных ископаемых имеет важное значение для обеспечения безопасности труда и снижения экологической нагрузки на прилегающие к карьере территории. Реализация предлагаемого способа контроля состава атмосферы после взрыва позволит получать достоверные данные о химическом составе атмосферы на участках, которые расположены в зоне взрыва в короткие сроки, а также проводить контрольные измерения в процессе выполнения горнотехнических работ без их прерывания и без участия людей.

**Ключевые слова:** массовый взрыв, мониторинг, вредные вещества, концентрация, беспилотный аппарат

**Shwager N., Komisarenko T.** The way to control the atmosphere of open-pit mines after mass explosions

**Purpose.** To analyze existing methods for determining the presence of harmful substances in the atmosphere after mass explosions in open pits and to develop a method for measuring the gas composition of the atmosphere using an unmanned aerial vehicle.

**Research methods.** The article uses general scientific research methods. The basis for the research was a systematic approach. Using analysis and comparison, the features of various methods for determining the state of the atmosphere of the pit as a whole and its individual sections are highlighted. Harmful substances formed at the time of the explosion reach concentrations higher than the norm in the open pit air, which has a negative effect on the health of mining workers and residents of surrounding territories of the pit. The generalization method made it possible to determine ways to improve the methods for monitoring the atmospheric gas composition.

**Scientific novelty.** To solve this problem, the method of monitoring the atmospheric gas composition after explosions using UAVs is suggested.

**Practical value** The use of an unmanned aerial vehicle (UAV) for determining the concentration of generated harmful gases after mass explosions at the pit ensures that there is no need for a person to be in the danger zone after a mass explosion, as well as fast processing of information (the total time for collecting information and processing will not exceed 1 hour). The disadvantages of the method include the relatively high cost of equipment.

**Results.** Suggestions for the control the atmospheric gas composition after explosions using UAVs are presented. Researching new ways to control the composition of the atmosphere after mass explosions with the open method of exploitation of mineral deposits is important to ensure labor safety and reduce the environmental burden on the surrounding territories of the open pit. Implementation of the proposed method for monitoring the composition of the atmosphere after the explosion will allow maintaining reliable data on the chemical composition of the atmosphere in areas that are located in the explosion zone in a short time, as well as conducting control measurements during mining operations without interruption and without the participation of people.

**Key words:** mass explosion, monitoring, harmful substances, concentration, unmanned aerial vehicle

УДК 553.04-047.58:622.03

**Шолох М.В.** Моделювання прогновної оцінки мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві і розпушеній залізородній масі

**Мета.** Метою даної роботи є моделювання динамічних рядів природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. Побудова моделей прогнозування характеристик ознак динамічних рядів базується на методах аналізу тимчасових рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин.

**Методи дослідження.** Розглянуто підходи для моделювання взаємозалежних динамічних рядів мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. Моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин пов'язане з узагальненням методу для ізольованих рядів. Для моделей прогнозування характеристик ознак динамічних рядів вмісту якісно-технологічних показників використано метод найменших квадратів. Побудовано адаптивну і дискретну лінійну модель прогнозування характеристик об'ємно-якісних ознак динамічного ряду вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин множинної регресії та алгебраїчного критерію стійкості.

**Наукова новизна.** Запроєктовано рекомендації технології прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин окремих рівнів залізородної маси з невеликими інтервалами дискретності. Розглянуто приклади визначення центрованої постійної моделі прогнозування характеристик ознак і розрахунок прогнозних оцінок вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві і розпушеній залізородній масі. Для ілюстрації методики послідовних операцій ідентифікації моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин відособлених рядів вмісту якісно-технологічних показників залізородної маси використано дільниці рудного тіла і покладів родовищ Кривбасу.

**Практична значимість.** Рекомендована методика моделювання взаємозалежних динамічних рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин і побудова моделей прогнозування природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин динамічних рядів, обмежується двома взаємозалежними динамічними рядами вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин.

**Результати.** Розглянуті моделі прогнозування характеристик ознак мають високоадаптивні властивості, високу точність прогнозування і можливість моделювання нестационарних динамічних рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. За рахунок статистичного аналізу інформації прогнозування характеристик ознак окремих рівнів залізородної маси, які пов'язанні технологічними процесами досягнуто узагальнення методів прогнозування ізольованих рядів вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин на взаємозалежні.

**Ключові слова:** моделювання, об'ємно-якісні показники, динамічні ряди, родовище, залістисті кварцити.

**Шолох М.В.** Моделирование прогнозной оценки изменчивости содержания качественных показателей полезных ископаемых в массиве и взрыхленной железорудной массе

**Цель.** Целью данной работы является моделирование динамических рядов природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей полезных ископаемых. Построение моделей прогнозирования характеристик признаков динамических рядов базируется на методах анализа временных рядов содержания качественных показателей полезных ископаемых.

**Методы исследования.** Рассмотрены подходы для моделирования взаимосвязанных динамических рядов изменчивости содержания качественных показателей полезных ископаемых. Моделирование взаимосвязанных динамических рядов содержания качественных показателей полезных ископаемых связано с обобщением метода для изолированных рядов. Для моделей прогнозирования характеристик признаков динамических рядов содержания качественных показателей использован метод наименьших квадратов. Построено адаптивную и дискретную линейную модель прогнозирования характеристик объемно-качественных признаков динамического ряда содержания качественных показателей полезных ископаемых множественной регрессии и алгебраического критерия устойчивости.

**Научная новизна.** Запроектировано рекомендации технологии прогнозирования природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей полезных ископаемых отдельных уровней железорудной массы с небольшими интервалами дискретности. Рассмотрены примеры определения центрированной постоянной модели прогнозирования характеристик признаков и расчет прогнозных оценок содержания качественных показателей полезных ископаемых в массиве и железорудной массе. Для иллюстрации методики последовательных операций идентификации моделей прогнозирования природно-пространственного

размещения изменчивости содержания качественных показателей полезных ископаемых обособленных рядов содержания качественных показателей железорудного массива использовано участка рудного тела и залежей месторождений Кривбасса.

**Практическая значимость.** Рекомендуемая методика моделирования взаимосвязанных динамических рядов содержания качественных показателей полезных ископаемых и построение моделей прогнозирования природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей полезных ископаемых динамических рядов, ограничивается двумя взаимосвязанными динамическими рядами содержания качественных показателей полезных ископаемых.

**Результаты.** Рассмотрены модели прогнозирования характеристик признаков имеют высокоадаптивные свойства, высокую точность прогнозирования и возможность моделирования нестационарных динамических рядов содержания качественных показателей полезных ископаемых. За счет статистического анализа информации прогнозирования характеристик признаков отдельных уровней железорудного массива, которые связаны технологическими процессами, достигнуто обобщения методов прогнозирования изолированных рядов содержания качественных показателей полезных ископаемых на взаимосвязаны.

**Ключевые слова:** моделирование, объемно-качественные показатели, динамические ряды, месторождение, железистые кварциты.

**Sholokh M.V.** Modeling of the predictive estimation of the variability of the contents of the qualitative indices of minerals in the array and loose iron ore mass

**Purpose.** The purpose of this work is to simulate the dynamic series of natural-spatial placement of the variability of the content of qualitative indices of minerals. The construction of models for predicting the characteristics of the characteristics of dynamic series is based on methods of analysis of time series of contents of qualitative indices of minerals.

**Research methods.** Approaches are considered for the modeling of interconnected dynamic variability series of contents of qualitative indices of minerals. The simulation of interconnected dynamic rows of contents of qualitative indices of minerals is related to the generalization of the method for isolated rows. For the models of prediction of the characteristics of the dynamic series of contents of the qualitative indicators, the least squares method is used. An adaptive and discrete linear model for predicting the characteristics of the volume-qualitative features of the dynamic range of contents of the qualitative indices of minerals of multiple regression and algebraic stability criterion is constructed.

**Scientific novelty.** The recommendations of the technology of prediction of the natural-spatial location of the variability of the contents of the qualitative indices of minerals of individual levels of iron-ore mass with small intervals of discreteness were proposed. Examples of determination of the centered permanent model of prediction of characteristics of characteristics and calculation of predictive estimations of the content of qualitative indices of minerals in the array and iron ore mass are considered. To illustrate the methodology of the sequential operations of identification of models for predicting natural-spatial location of the variability of the contents of the qualitative indices of minerals of separate rows of content of qualitative indicators of iron-ore mass, the sections of the ore body and deposits of deposits of Kryvbas were used.

**Practical value.** The recommended methodology for modeling interrelated dynamic rows of content of qualitative indices of minerals and the construction of models for predicting natural-spatial location of the variability of content of qualitative indices of minerals of dynamic series is limited by two interrelated dynamical rows of content of qualitative indices of minerals.

**Results.** The considered models of prediction of characteristics of signs have highly adaptive properties, high accuracy of forecasting and the possibility of modeling non-stationary dynamic rows of contents of qualitative indices of minerals. Due to the statistical analysis of the information forecasting of the characteristics of the characteristics of individual levels of iron ore masses, the connection between the technological processes achieved a generalization of the methods of forecasting isolated rows of contents of the qualitative indices of minerals on interdependent ones.

**Key words:** modeling, volume-qualitative indicators, dynamic series, field, glandular quartzites.

УДК 625.7

**Пищикова О.В., Янова Л.О., Сахно С.І.** Актуальні проблеми викладання нормативних дисциплін цивільний захист та безпека життєдіяльності з метою розвитку професійних компетенцій майбутніх бакалаврів та магістрів усіх галузей знань та спеціальностей

**Мета.** В сучасних умовах особливого періоду, який переживає Україна викладання дисциплін «БЖД» та «ЦЗ» майбутнім бакалаврам та магістрам розглядається як один з пріоритетніших факторів забезпечення національної безпеки держави.

**Методи дослідження.** Використано методи статобробки даних, наукового узагальнення та систематизації.

**Наукова новизна.** Полягає в узагальненні ієрархії нормативно-правових актів (НПА) України з метою визначення пріоритетності виконання Постанов Кабінету Міністрів та Стандартів вищої освіти.

**Практична значимість.** Полягає у підвищенні якості надання освітянських послуг вищими навчальними закладами (ВНЗ) майбутнім бакалаврам і магістрам та обов'язкове включення в навчальні плани нормативних дисциплін «БЖД» та «ЦЗ».

**Результати.** У ЗВО України проблемі підготовки фахівців з питань ЦЗ та БЖД не приділяється достатньої уваги, що може негативно вплинути в майбутньому на стан національної безпеки країни. Політика в сфері БЖД населення порушується необґрунтованими рішеннями ЗВО, які вважають необов'язковим вивчення дисциплін, що дозволяють приймати професійні рішення в умовах аварійних, нестандартних та надзвичайних ситуаціях, не зважаючи на прямі нормативні посилання уряду щодо організації навчання майбутніх бакалаврів та магістрів саме у ЗВО. В Стандартах вищої освіти в переліку загальних та компетенцій бакалаврів та магістрів не приділено належної уваги вирішенню соціальних питань. Але дисципліни «ЦЗ» та «БЖД» є обов'язковими до включення в усі бакалаврські та магістерські навчальні програми МОН у зв'язку з Постановою № 444 Кабміну від 26.06.2013 р. «Порядок здійснення навчання населення діям в надзвичайних ситуаціях». Обов'язковість до виконання Постанов Кабміну є апіорним згідно ієра-

рхінної системи НПА України. В разі наявності суперечностей з НПА Міністерств з Постановами Кабміну перші застосуванню (повністю чи у відповідній частині) не підлягають.

**Ключові слова:** безпека життєдіяльності, цивільний захист, професійні компетенції, ієрархія НПА

**Пишикова Е.В., Янова Л.А., Сахно С.И.** Актуальные проблемы преподавания нормативных дисциплин гражданской защиты и безопасности жизнедеятельности с целью развития профессиональных компетенций будущих бакалавров и магистров

**Цель.** В современных условиях особого периода, который переживает Украина, преподавание дисциплин «БЖД» и «ГЗ» будущим бакалаврам и магистрам рассматривается как один из приоритетных факторов обеспечения национальной безопасности государства.

**Методы исследования.** Используются методы статобработки данных, научного обобщения и систематизация.

**Научная новизна.** Заключается в обобщении иерархии нормативно-правовых актов (НПА) Украины с целью определения приоритетности выполнения Постановлений Кабинета министров и Стандартов высшего образования.

**Практическая значимость.** Заключается в повышении качества предоставления образовательных услуг высшими учебными заведениями будущим бакалаврам и магистрам и обязательное включение в учебные планы нормативных дисциплин «БЖД» и «ГЗ».

**Результаты.** В вузах Украины проблеме подготовки специалистов по вопросам ГЗ и БЖД не уделяется достаточно внимания, что может негативно повлиять на будущее состояние национальной безопасности страны. Политика в сфере БЖД нарушается необоснованными решениями вузов, которые считают необязательным изучение дисциплин, позволяющих принимать профессиональные решения в условиях аварийных, нестандартных и чрезвычайных ситуаций, несмотря на прямые нормативные ссылки правительства, касательно организации обучения будущих бакалавров и магистров именно в вузе. В Стандартах высшего образования в перечне общих компетенций бакалавров и магистров не уделено должного внимания решению социальных вопросов. Однако, дисциплины «ГЗ» и «БЖД» являются обязательными для включения во все бакалаврские и магистерские учебные программы МОН в связи с Постановлением № 444 Кабмина от 26.06.2013 г. «Порядок осуществления обучения населения действиям в условиях ЧС». Обязательность к исполнению Постановления Кабмина является априори, в связи с иерархической системой НПА Украины. При наличии противоречий с НПА министерств с Постановлениями Кабмина, первые применению (полностью или в соответствующей части) не подлежат.

**Ключевые слова:** безопасность жизнедеятельности, гражданская защита, профессиональные компетенции, иерархия НПА.

**Pisichikova O., Yanova L., Sakhno S.** Current problems of teaching normative disciplines of civil protection and life safety in order to develop professional competencies of future bachelors and masters

**Purpose.** In modern conditions of a special period, which Ukraine is experiencing, the teaching of "CP" and "LS" disciplines for future bachelors and masters is considered as one of the most priority factors in ensuring national security of the country.

**Research methods.** Methods of statistical data processing, scientific generalization and systematization are used.

**Scientific novelty.** It is a generalization of the hierarchy of normative legal acts of Ukraine in order to determine the priority of the implementation of the Cabinet of Ministers and the Standards of the Higher Education.

**Practical value.** It is based on improving the quality of provision of educational services by higher education institutions to future bachelors and masters and the mandatory inclusion of these subjects in the curricula of normative disciplines.

**Results.** In higher education institutions of Ukraine, the problem of training specialists on the issues of central and local government is not given sufficient attention, which may negatively affect the state of national security in the future. The policy of the population of the civil protection and life safety is violated by unreasonable decisions of higher educational establishments, who consider it optional to study disciplines that allow them to make professional decisions in emergency, non-standard and emergency situations, notwithstanding the direct regulatory references of the government to the organization of training for future bachelors and masters it is in higher educational institutions. In the Standards of Higher Education, the list of general and competences of bachelors and masters did not pay enough attention to the solution of social issues. But these disciplines are obligatory for inclusion in all bachelor and masters study programs of the Ministry of Education and Science in connection with the Cabinet of Ministers Regulation No. 444 of June 26, 2013 "Procedure for conducting training for the population in the event of emergencies". The obligation with the Cabinet of Ministers is a priori in accordance with the hierarchical system of the National Assembly of Ukraine. In the case of contradictions with the Cabinet of Ministers of Ukraine, the first applications (completely or in the appropriate part) are not subject to.

**Key words:** safety of life, civil defense, professional competences, hierarchy

УДК 004.823

**Хруцкий А.А.** Обоснование структуры базы знаний для представления учебного материала технической дисциплины

**Целью** данной работы является обоснование и разработка структуры базы знаний для наиболее эффективного хранения учебной информации образовательной дисциплины.

**Методы исследования.** Проведён анализ лекционного материала технических дисциплин. Отмечены 4 характерных вида лекций, из которых выделены отдельные образовательные элементы, на основе которых сформированы требования к системе хранения знаний. Проведён анализ различных форм хранения знаний в различных информационных системах и выбрана фреймовая сеть, как наиболее удовлетворяющая выдвинутым ранее требованиям. Предложена и обоснована структура базы знаний на основе фреймовой сети для хранения учебной информации по технической дисциплине. Предложены подходы к формированию и возможные варианты реализации базы знаний на основе фреймовой сети. Приведён вариант реализации структуры фреймовой сети на базе реляционной базы данных.

**Практическая значимость.** Лекционный материал образовательных дисциплин не статичен и всегда пополняется новой информацией. Многочисленные средства контроля разных видов напрямую связаны с лекционным материалом и при его изменении требуется корректировка и этих заданий. В таких условиях разрабатывать и поддерживать курс дисциплины в рабочем и актуальном состоянии довольно тяжело. В связи с этим актуальной задачей развития

образования является построение и использование комплексной образовательной информационной системы, которая сможет поддерживать образовательный курс в актуальном состоянии, обновляя лекционный и контрольный материал при дополнении и изменении образовательного материала.

**Результаты.** На основе анализ лекционного материала синтезирована структура фрейма, содержащая 17 слотов, 12 из которых содержат обучающую информацию, остальные являются техническими. Реализация структуры фрейм-овой сети на основе реляционной базы данных дает возможность практически в полной мере реализовать все возможности по синтезу лекционного и контрольного учебного материала. Впервые обоснована структура базы знаний на основе фрейм-овой сети для хранения учебной информации образовательной дисциплины для комплексной образовательной информационной системы. Положительный эффект от применения разработанной базы состоит в улучшении логичности и полноты учебного материала, оптимизации его содержания и устранении несущественных сведений.

**Ключевые слова:** представление знаний; база знаний; фрейм-овая сеть; слот; фрейм; структура лекции; преподавание технических дисциплин.

**Хруцкий А.О.** Обґрунтування структури бази знань для подання навчального матеріалу технічної дисципліни

**Мета.** Обґрунтування і розробка структури бази знань для найбільш ефективного зберігання навчальної інформації освітньої дисципліни.

**Методи дослідження.** Проведено аналіз лекційного матеріалу технічних дисциплін. Відзначено 4 характерних види лекцій, з яких виділені окремі освітні елементи, на основі яких сформовані вимоги до системи зберігання знань. Проведено аналіз різних форм зберігання знань у різних інформаційних системах і обрана фреймова мережа, яка найбільш задовольняє висунутим раніше вимогам. Запропоновано і обґрунтовано структуру бази знань на основі фрейм-ової мережі для зберігання навчальної інформації з технічної дисципліни. Запропоновано підходи до формування та можливі варіанти реалізації бази знань на основі фрейм-ової мережі. Наведено варіант реалізації структури фрейм-ової мережі на базі реляційної бази даних.

**Практична значимість.** Лекційний матеріал освітніх дисциплін не є статичним і завжди поповнюється новою інформацією. Численні засоби контролю різних видів безпосередньо пов'язані з лекційним матеріалом і при його зміні потрібне коригування і цих завдань. В таких умовах розробляти і підтримувати курс дисципліни в робочому і актуальному стані досить важко. У зв'язку з цим актуальним завданням розвитку освіти є побудова і використання комплексної освітньої інформаційної системи, яка зможе підтримувати освітній курс в актуальному стані, оновлюючи лекційний і контрольний матеріал при доповненні і зміні освітнього матеріалу.

**Результати.** На основі аналізу лекційного матеріалу синтезовано структуру фрейму, що містить 17 слотів, 12 з яких містять навчальну інформацію, інші є технічними. Реалізація структури фрейм-ової мережі на основі реляційної бази даних дає можливість практично в повній мірі реалізувати всі можливості з синтезу лекційного і контрольного навчального матеріалу. Вперше обґрунтовано структуру бази знань на основі фрейм-ової мережі для зберігання навчальної інформації освітньої дисципліни для комплексної освітньої інформаційної системи. Позитивний ефект від застосування розробленої бази полягає в поліпшенні логічності та повноти навчального матеріалу, оптимізації його змісту і усунення несуттєвих відомостей.

**Ключові слова:** подання знань; база знань; фреймова мережа; слот; фрейм; структура лекції; викладання технічних дисциплін.

**Khrutskiy A.A.** Rationale for database structure for demonstrating teaching materials of a technical discipline

**Purpose.** Substantiation and development of the database structure for the most effective storage of educational information of educational discipline

**Research methods.** The lecture material of technical disciplines was analyzed. 4 characteristic types of lectures are noted, of which individual educational elements are selected, on the basis of which the requirements for the knowledge storage system are formed. The various forms of knowledge storage in various information systems were analyzed and a frame network was selected as the most satisfying requirements put forward earlier. The structure of a knowledge base based on a frame network for storing educational information on a technical discipline is proposed and justified. Approaches to the formation and possible options for implementing a knowledge base based on a frame network are proposed. An implementation option of a frame network structure based on a relational database is given.

**Practical importance.** The lecture material of educational disciplines is not static and is always updated with new information. Numerous controls tasks are directly related to the lecture material, and when it is changed, the correction of these tasks is also required. In such conditions, it is quite difficult to develop and maintain a discipline course in a working and relevant state. In this regard, the urgent task of the education development is to build and use a comprehensive educational information system that can keep the educational course up to date by updating the lecture and control material while adding and changing educational material. The purpose of this work is to substantiate and develop the structure of the knowledge base for the most efficient storage of educational information of educational discipline.

**Results.** Based on the analysis of lecture material, a frame structure was synthesized containing 17 slots, 12 of which contain training information, the rest are technical. The implementation of the frame network structure based on the relational database makes it possible to practically fully realize all the possibilities for the synthesis of lecture and control educational material. For the first time, the structure of a knowledge base based on a frame network for storing the educational information of an educational discipline for a comprehensive educational information system has been substantiated. The positive effect of the the developed base application is to improve the consistency and completeness of the training material, to optimize its content and to eliminate non-essential information.

**Key words:** knowledge representation; knowledge base; frame network; slot frame, lecture structure; teaching technical disciplines.

УДК 338.322.01

**Турило А.М., Турило А.А., Короленко С.М.** Фінанси підприємства та їх місце в його інвестиційно-витратній діяльності

**Мета.** Фінанси є невід'ємною частиною ринкової моделі господарювання, а фінанси підприємств – невід'ємною частиною господарського механізму ефективного розвитку мікросередовища. У роботі зазначено, що фінанси для будь-якого суб'єкта господарювання, у тому числі і для підприємства, дуже тісно пов'язані з інвестиційним процесом і витратною діяльністю. Мета даної роботи полягає в тому, щоб удосконалити систему і сутність окремих термінів (термінологічний апарат), пов'язаних з процесом інвестиційно-витратної діяльності на підприємстві.

**Методи дослідження.** Авторами роботи представлено науково-логічний підхід до визначення, послідовності та каузальності використання понять і термінів, пов'язаних з процесами початкового фінансування діяльності підприємства, інвестування та здійснення операційних витрат на ньому.

**Наукова новизна.** На базі аналізу літературних джерел, у тому числі Положення (стандарту) бухгалтерського обліку 16 «Витрати», в науковій статті надано комплексний ґрунтовний авторський підхід до визначення категорій «витрати» і «витрати підприємства». В ньому розкриті основні характерні риси та ознаки даних категорій, що дозволяють більш предметно і конкретно характеризувати їх фінансово-економічний зміст.

**Практична значимість.** Згідно з поставленою метою в науковій статті виконано роботу з: аналізу термінів і понять, що пов'язані з інвестиційно-витратною діяльністю підприємства; уточнення та визначення сфер використання зазначених у роботі термінів; формування необхідних оціночних критеріїв, що дозволяють установити зміст і сферу прикладання термінів та унеможливають нелогічне та необґрунтоване дублювання існуючих термінів у даній фінансово-економічній царині між собою; формування каузального підходу в процесі дослідження та управління фінансово-економічною діяльністю підприємства в аспекті творення його фінансових ресурсів та подальшого їх використання в багатогранній діяльності підприємства.

**Результати.** У цілому представлене авторами дослідження дозволить обґрунтовано використовувати терміни і поняття, що пов'язані з процесом фінансово-інвестиційно-витратної діяльності підприємства; оволодіти критеріальним апаратом стосовно термінів, що існують у даній фінансово-економічній сфері діяльності підприємства; більш поглиблено підходити до процесів планування та управління на підприємстві; удосконалити навчально-методичну базу навчальних процесів за напрямом фінанси та економіка.

**Ключові слова:** фінанси, інвестування, витрати підприємства, фінансові ресурси, застосовані ресурси, спожиті ресурси, поточні ресурси, собівартість.

**Турило А.М., Турило А.А., Короленко С.Н.** Финансы предприятия и их место в его инвестиционно-затратной деятельности

**Цель.** Финансы являются неотъемлемой частью рыночной модели хозяйствования, а финансы предприятий - неотъемлемой частью хозяйственного механизма эффективного развития микросреды. В работе отмечено, что финансы для любого предприятия, в том числе и для предприятия, очень тесно связаны с инвестиционным процессом и затратной деятельностью. Цель данной работы заключается в том, чтобы усовершенствовать систему и сущность отдельных терминов (терминологический аппарат), связанных с процессом инвестиционно-расходной деятельности на предприятии.

**Методы исследования.** Авторами работы представлен научно-логический подход к определению, последовательности и каузальности использования понятий и терминов, связанных с процессами первоначального финансирования деятельности предприятия, инвестирование и осуществления операционных расходов на нем.

**Научная новизна.** На базе анализа литературных источников, в том числе Положения (стандарта) бухгалтерского учета 16 «Расходы», в научной статье даны комплексный подробный авторский подход к определению категорий «затраты» и «расходы предприятия». В нем раскрыты основные характерные черты и признаки данных категорий, позволяющие более предметно и конкретно характеризовать их финансово-экономическое содержание.

**Практическая значимость.** Согласно с поставленной целью в научной статье выполнена работа по: анализу терминов и понятий, связанных с инвестиционно-затратной деятельностью предприятия; уточнения и определения сфер использования указанных в работе сроков; формирование необходимых оценочных критериев, позволяющих установить содержание и сферу приложения сроков и делают невозможным нелогичное и необоснованное дублирование существующих терминов в данной финансово-экономической области между собой; формирование каузального подхода в процессе исследования и управления финансово-экономической деятельностью предприятия в аспекте создания его финансовых ресурсов и дальнейшего их использования в многогранной деятельности предприятия.

**Результаты.** В целом представленное авторами исследование позволит обоснованно использовать термины и понятия, связанные с процессом финансово-инвестиционно-расходной деятельности предприятия; овладеть критеріальним апаратом по срокам, существующих в даній фінансово-економічній сфері діяльності підприємства; більш углиблено підходити к процесам планування и управления на предприятии; усовершенствовать учебно-методическую базу учебных процессов по направлению финансы и экономика.

**Ключевые слова:** финансы, инвестирование, расходы предприятия, финансовые ресурсы, применяемые ресурсы, потребленные ресурсы, текущие ресурсы, себестоимость.

**Turylo A.M., Turylo A.A., Korolenko S.M.** Finance of the enterprise and their place in its investment and costs

**Purpose.** Finance is an integral part of the market model of management, and enterprise finance is an integral part of the economic mechanism for the effective development of the microenvironment. The paper notes that finance for any enterprise, including the enterprise, is very closely related to the investment process and costly activities. The aim of this work is to improve the system and essence of individual terms (terminological apparatus) associated with the process of investment and expenditure activities in the enterprise.

**Research methods.** The authors of the work presented a scientific and logical approach to the definition, sequence and causality of using concepts and terms related to the processes of initial financing of an enterprise, investing and operating expenses on it.

**Scientific novelty.** Based on the analysis of literary sources, including the Regulation (standard) of accounting 16 “Costs”, the scientific article gives a comprehensive detailed author's approach to determining the categories of “costs” and “expenses of an enterprise”. It discloses the main characteristic features and characteristics of these categories, allowing more specifically and specifically characterize their financial and economic content.

**Practical significance.** In accordance with the purpose, a scientific article enables the analysis of terms and concepts related to the investment-costly activities of the enterprise; clarification and determination of the areas of use of the terms indicated in the work; the formation of the necessary evaluation criteria to establish the content and scope of application of the deadlines and make it impossible illogical and unreasonable duplication of existing terms in this financial and economic field among themselves; the formation of a causal approach in the process of research and management of the financial and economic activities of the enterprise in the aspect of creating its financial resources and their further use in the multifaceted activities of the enterprise.

**Results.** In general, the study presented by the authors will allow the sound use of terms and concepts associated with the process of financial, investment and expenditure activities of the enterprise; master the criteria apparatus for the terms existing in the given financial and economic sphere of the enterprise; more in-depth approach to the planning and management processes in the enterprise; to improve the educational and methodological base of educational processes in the field of finance and economics.

**Key words:** finance, investment, enterprise expenses, financial resources, used resources, consumed resources, current resources, cost price.

УДК 624.153.524

**Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Хоруженко І.В.** Дослідження напружено-деформованого стану основи під структурними фундаментами за допомогою математичного моделювання

**Мета.** Проектування оптимальних конструктивних рішень з урахуванням конкретних умов експлуатації одна з головних інженерних задач. З розвитком технологій та зі стрімкими темпами використання програмного забезпечення при проектуванні, розрахунках та конструюванні інженерних систем актуальним є впровадження в роботу програмних комплексів на основі МКЕ при моделюванні ґрунтової основи, її взаємодії з фундаментною конструкцією, аналізу роботи системи в цілому. Одним із ускладнень при математичному моделюванні складчастих фундаментів під опори ЛЕП є моделювання сумісної роботи фундаментної конструкції складної форми та ґрунтової основи, де необхідно підібрати модель ґрунтової основи, врахувати всі вихідні параметри, зімітувати роботу фундаменту до моменту повного залучення ґрунтової основи у роботу.

**Методи дослідження.** При вирішенні контактних задач застосовується метод кінцевих елементів, що активно використовується в сучасних програмних комплексах для моделюванні інженерних конструкцій, взаємодій та явищ. Вони відрізняються способами завдання моделі ґрунтової основи, та мають свої певні інструменти для зміни та коригування вихідних параметрів та аналізу. В той же час, при використанні будь-яких із програмних комплексів актуальним є також моделювання фундаментних конструкцій різних форм та видів.

**Наукова новизна.** Актуальність даної роботи пов'язана із розв'язанням поставленої задачі. Її результатом є встановлення залежності між зовнішнім навантаженням та осіданням фундаментної конструкції двох типів.

**Практична значимість.** Дослідження дають змогу оцінити роботу структурних фундаментів різного конструктивного рішення, математичне моделювання дозволяє всесторонньо проаналізувати результати та врахувати недоліки системи при подальших дослідженнях.

**Результати.** Встановлено, що при моделюванні особливу увагу слід звертати на призначення початкових параметрів системи, на вибір типу кінцевих елементів і оптимальної моделі ґрунтової основи. Було виконано моделювання взаємодії складчастого фундаменту з основою в умовах плоскої задачі за допомогою програмного комплексу LiraSap-2013. Були встановлені основні залежності між зовнішнім навантаженням та осіданням фундаментної конструкції. Аналізуючи графіки осідань обох фундаментних конструкцій було встановлено, що модель фундаменту-прототипу має більше нерівномірний характер осідань у кожній контрольній точці, в той час як криві осідань за показниками трьох різних точок оптимальної фундаментної конструкції мають практично аналогічні значення. Додатково, більше значення гранично допустимого навантаження в 14 тон було отримано для оптимальної конструкції фундаменту.

**Ключові слова:** складчастий фундамент, метод кінцевих елементів, напружено-деформований стан, контактна взаємодія, ґрунт, моделювання.

**Тимченко Р.А., Кришко Д.А., Хоруженко И.В.** Исследование напряженно-деформированного состояния основания под структурными фундаментами с помощью математического моделирования

**Цель.** Проектирования оптимальных конструктивных решений с учетом конкретных условий эксплуатации одна из главных инженерных задач. С развитием технологий и с быстрыми темпами использования программного обеспечения при проектировании, расчетах и конструировании инженерных систем актуальным является внедрение в работу программных комплексов на основе МКЭ при моделировании грунтового основания, ее взаимодействия с фундаментной конструкцией, анализа работы системы в целом. Одним из осложнений при математическом моделировании складчатых фундаментов под опоры ЛЭП является моделирование совместной работы фундаментной конструкции сложной формы и грунтового основания, где необходимо подобрать модель грунтового основания, учесть все выходные параметры, симитировать работу фундамента до момента полного вовлечения грунтового основания в работу.

**Методы исследования.** При решении контактных задач применяется метод конечных элементов, активно используется в современных программных комплексах для моделирования инженерных конструкций, взаимодействий и

явлений. На сегодняшний день существуют различные программные комплексы на основе метода конечных элементов, например, Feadam, Sage-Crisp, Plaxis, Ansys, LiraSap, Nastran, ABAQUS и др. Они отличаются способами задачи модели грунтового основания, и имеют свои определенные инструменты для изменения и корректировки исходных параметров и анализа. В то же время, при использовании любого из программных комплексов актуально также моделирование фундаментных конструкций различных форм и видов.

**Научная новизна.** Актуальность данной работы связана с решением поставленной задачи. Ее результатом является установление зависимости между внешней нагрузкой и осадкой фундаментной конструкции двух типов.

**Практическая значимость.** Исследования позволяют оценить работу структурных фундаментов различного конструктивного решения, математическое моделирование позволяет всесторонне проанализировать результаты и учесть недостатки системы при дальнейших исследованиях.

**Результаты.** Установлено, что при моделировании особое внимание следует обращать на назначение начальных параметров системы, на выбор типа конечных элементов и оптимальной модели грунтового основания. Были установлены основные зависимости между внешней нагрузкой и осадкой фундаментной конструкции. Анализируя графики осадок обоих фундаментных конструкций было установлено, что модель фундамента-прототипа имеет более неравномерный характер осадок в каждой контрольной точке, в то время как кривые осадок по показателям трех разных точек оптимальной фундаментной конструкции имеют практически аналогичные значения.

**Ключевые слова:** складчатый фундамент, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние, контактное взаимодействие, грунт, моделирование.

**Timchenko R.O., Krishko D.A., Khoruzhenko I.V.** Investigation of stress and strain state of the base under the structural foundations using mathematical modeling

**Purpose.** Designing of optimal design solutions, taking into account specific operating conditions, is one of the main engineering tasks. The development of technology along with a wide software use when designing and calculating engineering systems urges the integration of software systems based on FEM in modeling of subsoil, its interaction with foundation, and in the analysis of a system in general. One of the difficulties about mathematical modeling of folded foundations for power transmission lines is the modeling of joint operation of a foundation structure of a complex shape and subsoil, as it is necessary to choose a relevant subsoil model, consider all output parameters, simulate the operation of a foundation up to full involvement of soil into the operation.

**Research methods.** The finite element method is used in solving contact problems; it is actively used in modern software systems for modeling engineering structures, interactions and phenomena. They differ in methods of subsoil modeling, and have their own specific tools for changing and adjusting source parameters and analysis. At the same time, the application of a software system for modeling foundation structures of off-standard forms and types is also relevant.

**Scientific novelty.** The relevance of this work is related to the solution of the problem. The result is to determination a relation between the external loading and the subsidence of the foundation structure of the two types.

**Practical value.** Studies allow to evaluate the work of the structural foundations of various design solutions, mathematical modeling allows to comprehensively analyze the results and take into account the shortcomings of the system in the further studies.

**Results.** Found that during modeling particular attention should be paid to the appointment of the initial parameters of the system, to make choice in type of finite elements and the optimal model of the soil base. Main dependencies between the external loading and the subsidence of the foundation structure were established. Analyzing the sedimentation graphs of the two foundation structures, it was found that the prototype foundation model has a more uneven character of sedimentation at each control point, while the sedimentation curves of the three different points of the optimal foundation structure have practically similar values.

**Key words:** gusseted foundation, finite element method, stress-strain state, contact interaction, soil, modeling.

УДК 629.113

**Пахомов В.И., Гирин И.В.** Статистическое моделирование системы ежедневного обслуживания автомобилей

**Цель.** Основной целью работы является обеспечение эксплуатационной надежности подвижного состава автотранспортных предприятий повышением эффективности процессов технического сервиса с использованием разработанной системы моделирования условий обслуживания автомобилей с учетом изменений в процессе эксплуатации их технического состояния.

**Методы исследования.** В работе выполнены анализ и обобщение опубликованных теоретических разработок, аналитические расчеты, статистический анализ, экономико-математическое моделирование, программно-целевой метод. Методология теоретических исследований основана на применении логических и математических методов. Также применяется ряд частных методов: аксиоматический и гипотетический методы, анализ и синтез, метод интерпретации, корреляционно-регрессионный анализ, имитационное моделирование.

**Научная новизна.** Научную ценность представляет предложенная математическая модель влияния величины значений технико-эксплуатационных характеристик автотранспортных средств в зависимости от эффективности технического обслуживания автопарка, что дает возможность определить порядок комплексного анализа параметров обслуживания для каждой транспортной единицы.

**Практическая значимость.** Разработанная методика влияния величины значений эксплуатационных характеристик подвижного состава АТП, учитывающая законы распределения ЕО и распределения времени поступления автомобилей в зону ЕО, дает возможность повысить техническую готовность транспортных средств за счет корректировки периодов их технического обслуживания. Практическую ценность представляет также разработка методики выбора рациональных параметров системы ежедневного технического обслуживания автотранспорта, применение которой позволит обоснованно распределять нагрузку на подвижный состав в АТП с учетом заданных условий эксплуатации и определять приоритеты при постановке машин на ремонтные работы.

**Результаты.** Разработанные математическая модель и методика оптимизации объемов ежедневного обслуживания позволяют выполнять функциональный анализ закономерностей, действующих при реализации процессов технического сервиса с использованием диагностической системы условий эксплуатации и изменения технического состояния подвижного состава; предлагаемая расчетная методика позволяют реализовать принципы индивидуального подхода к оценке условий эксплуатации и изменения технического состояния подвижного состава и использовать выявленные ранее закономерности для повышения эффективности системы технического сервиса в АТП.

**Ключевые слова:** ежедневное обслуживание автомобилей, организация системы обслуживания.

**Пахомов В.І., Гірін І.В.** Статистичне моделювання системи щоденного обслуговування автомобілів

**Мета.** Основною метою роботи є забезпечення експлуатаційної надійності рухомого складу авто-транспортних підприємств підвищенням ефективності процесів технічного сервісу з використанням розробленої системи моделювання умов обслуговування автомобілів з урахуванням змін в процесі експлуатації їх технічного стану.

**Методи дослідження.** В роботі виконані аналіз і узагальнення опублікованих теоретичних розробок, аналітичні розрахунки, статистичний аналіз, економіко-математичне моделювання, програмно-цільовий метод. Методологія теоретичних досліджень заснована на застосуванні логічних і математичних методів. Також застосовується ряд приватних методів: аксіоматичний і гіпотетичний методи, аналіз та синтез, метод інтерпретації, кореляційно-регресійний аналіз, імітаційне моделювання.

**Наукова новизна.** Наукову цінність представляє запропонована математична модель впливу величини значень техніко-експлуатаційних характеристик автотранспортних засобів в залежності від ефективності технічного обслуговування автопарку, що дає можливість визначити порядок комплексного аналізу параметрів обслуговування для кожної транспортної одиниці.

**Практична значимість.** Розроблена методика впливу величини значень експлуатаційних характеристик рухомого складу АТП, що враховує закони розподілу ЩО і розподілу часу надходження автомобілів в зону ЩО, дає можливість підвищити технічну готовність транспортних засобів за рахунок коригування періодів їх технічного обслуговування. Практичну цінність має також розробка методики вибору раціональних параметрів системи щоденного технічного обслуговування автотранспорту, застосування якої дозволить обґрунтовано розподіляти навантаження на рухомий склад в АТП з урахуванням заданих умов експлуатації та визначати пріоритети при постановці машин на ремонтні роботи.

**Результати:** розроблені математична модель і методика оптимізації обсягів щоденного обслуговування дозволяють виконувати функціональний аналіз закономірностей, що діють при реалізації процесів технічного сервісу з використанням діагностичної системи умов експлуатації і зміни технічного стану рухомого складу; запропонована розрахункова методика дозволяє реалізувати принципи індивідуального підходу до оцінки умов експлуатації і зміни технічного стану рухомого складу і використовувати виявлені раніше закономірності для підвищення ефективності системи технічного сервісу в АТП.

**Ключові слова:** щоденне обслуговування автомобілів, організація системи обслуговування.

**Pakhomov V.I., Hirin I.V.** Statistical modeling of the daily automotive service system

**Purpose.** To ensure the operational reliability of the rolling stock of transport companies by increasing effective technical service through the system of car service modeling with the changes in the technical condition.

**Research methods.** The paper analyzes and summarizes the published theoretical developments, analytical calculations, statistical analysis, economic and mathematical modeling, program-target method. The methodology of theoretical research is based on the application of logical and mathematical methods. A number of particular methods are also used including axiomatic and hypothetical methods, analysis and synthesis, interpretation, correlation-regression analysis, imitation modeling.

**Scientific novelty.** The mathematical model of the influence of the technical and operational transport values depending on the efficiency of the technical car servicing is of scientific value. The mathematical model provides a comprehensive analysis of service parameters for each unit.

**Practical value.** The methodology of the influence of the rolling stock performance parameters of the transport companies in terms of the laws of daily autoservice distribution and arrival time of vehicles in the autoservice zone increases the technical availability of vehicles owing to the change in periods of their maintenance. Of practical value is also a methodology for choosing the rational parameters of the daily automotive service system. This allows to reasonably distribute the load on the rolling stock of the transport companies within the operating conditions and define auto service priorities.

**Results.** The mathematical model and methodology for optimizing daily maintenance volumes provide a functional analysis of the laws of technical service by using the diagnostic system of operating conditions and changing the technical condition of rolling stock; the calculation method promotes use of an individual approach to assessing the operating conditions and changes in the technical condition of rolling stock and the patterns to making the technical automotive service system more efficient.

**Key words:** daily automotive servicing, service system organisation.

УДК 004.67

**Кузнєцов Д.І., Рябчина Л.С.** Інформаційна безпека систем інтернету речей

**Мета.** Метою роботи є аналіз існуючих методів та засобів передачі інформації у системах Інтернету речей та їх подальше удосконалення та стандартизація з точки зору безпеки. Зокрема використання гетерогенних пристроїв не дає можливості коректно протистояти кіберзагрозам, так як це пов'язано із тим, що архітектура Інтернету речей має складну будову, не є універсальною та потребує вивчення і удосконалення. Аналіз безпеки в IoT є важливим, так як кінцеві суб'єкти мають довіряти технології. Унікальність полягає в тому, що повинні відбуватися автентифікація, авторизація кінцевого обладнання, зберігання та обробка інформації, в тому числі і конфіденційної та критично важливою.

**Методи досліджень.** Під час вирішення наукової задачі було використано методи теоретичного дослідження, аналізу та синтезу.

**Наукова новизна.** Науковою новизною роботи є систематизація існуючих моделей та алгоритмів взаємодії вузлів мережі Інтернет речей та розробка концепції централізованого доступу до мережі Інтернет з підвищеними вимогами безпеки, що дозволяє вдосконалити процес автентифікації, авторизації та аудиту вузлів IoT.

**Практична значимість.** Використання отриманих результатів дає більш точну оцінку щодо існуючих методів та засобів у мережах типу Інтернет речей та дозволяє підвищити криптостійкість процесу обміну даними у вищезазначених системах. Досліджено основні ризики, яким може піддаватися мережа і сплановано засоби забезпечення безпеки, починаючи з проєктування та закінчуючи інтеграцією всієї системи.

**Результати.** У статті розглянуто основні проблеми безпеки систем Інтернет речей та запропоновано рекомендації для зниження ризиків втрати і компрометування інформації, що обробляються вищезазначеними системами. Додатково було розглянуто основні поняття технології Інтернету речей, досліджено архітектуру та основні компоненти IoT. Приведено характеристики складових елементів. Також наведено рекомендації щодо управління цілісністю системи та шифрування конфіденційних даних з метою протидії їх компрометування.

**Ключові слова:** Інтернет речей, інформаційна безпека, кібербезпека, автентифікація, авторизація, криптостійкість

**Кузнецов Д.И., Рябчина Л.С.** Информационная безопасность систем интернет вещей

**Цель.** Целью работы является анализ существующих методов и средств передачи информации в системах Интернета вещей и их дальнейшее совершенствование и стандартизация с точки зрения безопасности. В частности использование гетерогенных устройств не позволяет корректно противостоять киберугрозам, так как это связано с тем, что архитектура Интернета вещей имеет сложное строение, не является универсальной и требует изучения и совершенствования. Анализ безопасности в IoT важен, так как конечные субъекты должны доверять технологии. Уникальность заключается в том, что должны происходить процессы аутентификация, авторизация конечного оборудования, хранение и обработка информации, в том числе и конфиденциальной и критически важной.

**Методы исследований.** При решении научной задачи были использованы методы теоретического исследования, анализа и синтеза.

**Научная новизна.** Научной новизной работы является систематизация существующих моделей и алгоритмов взаимодействия узлов сети Интернета вещей и разработка концепции централизованного доступа к сети Интернет с повышенными требованиями безопасности, позволяет усовершенствовать процесс аутентификации, авторизации и аудита узлов ИВТ.

**Практическая значимость.** Использование полученных результатов дает более точную оценку относительно существующих методов и средств в сетях типа Интернет вещей и позволяет повысить криптостойкость процесса обмена данными в вышеупомянутых системах. Исследованы основные риски, которым может подвергаться сеть и спланировано средства обеспечения безопасности, начиная с проектирования и заканчивая интеграцией всей системы.

**Результаты.** В статье рассмотрены основные проблемы безопасности систем Интернет вещей и предложены рекомендации для снижения рисков потери и компрометации информации, обрабатываемых вышеупомянутыми системами. Дополнительно были рассмотрены основные понятия технологии Интернета вещей, исследованы архитектуру и основные компоненты IoT. Приведены характеристики составляющих элементов. Также приведены рекомендации по управлению целостностью системы и шифрования конфиденциальных данных с целью противодействия их компрометации.

**Ключевые слова:** Интернет вещей, информационная безопасность, кибербезопасность, аутентификация, авторизация, криптостойкость.

**Kuznetsov D., Riabchyna L.** Intertnet of things systems information security

**Purpose.** The purpose of this work is to analyze the existing methods and means of information transfer in the Internet of Things systems and their further improvement and standardization from the point of view of security. In particular, the use of heterogeneous devices does not make it possible to properly counter cyber threats, since this is due to the fact that the Internet of Things architecture has a complex structure, is not universal and needs to be studied and improved. Analyzing security in IoT is important, as end-users must trust technology. The uniqueness is that authentication, authorization of the final equipment, storage and processing of information, including confidential and critical, must occur.

**Research methods.** The methods of theoretical research, analysis and synthesis were used to solve the scientific problem.

**Scientific novelty.** The scientific novelty of the work is the systematization of existing models and algorithms of interaction of the Internet of Things nodes and the development of the concept of centralized access to the Internet with increased security requirements, which allows to improve the process of authentication, authorization and audit of IoT nodes.

**Practical value.** Using the results obtained gives a more accurate assessment of the existing methods and tools in networks such as the Internet of Things and improves the cryptocurrency of the data exchange process in the above systems. The main risks to which the network may be exposed are investigated and security measures are planned, starting with the design and ending with the integration of the whole system.

**Results.** The article deals with the basic security problems of the Internet of Things systems and offers recommendations to reduce the risk of loss and compromise of information processed by the aforementioned systems. Additionally, basic concepts of Internet of Things technology were considered, architecture and basic components of IoT were investigated. The characteristics of the constituent elements are given. It also provides guidance on managing the integrity of the system and encrypting sensitive data to counteract its compromise.

**Key words:** Internet of Things, Information Security, Cybersecurity, Authentication, Authorization, Cryptographic strength.

УДК 004.451.25: [622.788: 621.867]

**Митрофанов О. В.** Комплексна математична модель для дослідження термічного оброблення обкотишів на конвеєрній випалювальній машині

**Мета.** Розробка комплексної математичної моделі і вдосконалення методів, які спрямовані на підвищення ефективності дослідження процесу термічної обробки обкотишів на конвеєрній випалювальній машині фабрики огрудкуван-

ня гірничо-збагачувального комбінату за рахунок керування газоповітряної потоками конвеєрної обпалювальної машини, що збільшує її продуктивність і скорочує енергетичні витрати.

**Методи досліджень.** Для визначення параметрів потоку газоповітряних потоків по технологічним зонам і по довжині КВМ, необхідних для термічного оброблення обкатишів, використовуючи систему рівнянь тепло - і масообміну в шарі обкатишів, теплообміну між теплоносієм газоповітряного потоку і конвеєрним візком із шаром обкатишів на ньому та газодинаміки, розроблена математична модель. Отримана модель дозволить виконати дослідження газоповітряних потоків технологічної установки.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає у розробці комплексної математичної моделі для дослідження термічного оброблення обкатишів у конвеєрній випалювальній машині при керуванні газоповітряними потоками

**Практична значимість.** Запропонована комплексна математична модель для дослідження термічного оброблення обкатишів у конвеєрній випалювальній машині, що дозволить підвищити енергоефективність роботи машини, за рахунок раціонального використання відпрацьованих газоповітряних потоків.

**Результати.** Представлена розроблена математична модель для дослідження термічного оброблення обкатишів у конвеєрній випалювальній машині, яка враховує одночасну роботу усіх технологічних зон. У моделі вхідними параметрами для кожної технологічної зони є виходи попередньої. Це дає можливість досліджувати термічне оброблення обкатишів при керуванні газоповітряними потоками у кожній технологічній зоні, виявити вплив їх на сусідні та по усій довжині машини. Комплексна математична модель термічного оброблення обкатишів включає рівняння тепло - і масообміну в шарі, теплообміну між теплоносієм газоповітряного потоку і конвеєрним візком із шаром обкатишів на ньому та газодинаміки.

**Ключові слова:** конвеєрна випалювальна машина, газоповітряні потоки, комплексна модель, математичний опис.

**Митрофанов А.В.** Комплексная математическая модель для исследования термической обработки окатышей на конвейерной обжиговой машине

**Целью** статьи является разработка комплексной математической модели и совершенствование методов, которые направлены на повышение эффективности исследования процесса термической обработки окатышей на конвейерной обжиговой машине фабрики окомкования горно-обогадательного комбината за счет управления газовоздушными потоками конвейерной обжиговой машине, что увеличивает ее производительность и сокращает энергетические затраты.

**Методы исследований.** Для определения параметров газовоздушных потоков по технологическим зонам и по длине КВМ, необходимых для термической обработки окатышей, и используя систему уравнений тепло - и массообмена в слое окатышей, теплообмена между теплоносителем газовоздушной потока и конвейерным тележкой со слоем окатышей на нем и газодинамики, разработана математическая модель. Полученная модель позволит выполнить исследование газовоздушных потоков технологической установки.

**Научная новизна** полученных результатов заключается в разработке комплексной математической модели для исследования термической обработки окатышей в конвейерной обжиговой машине при управлении газо потоками

**Практическая значимость.** Предложенная комплексная математическая модель для исследования термической обработки окатышей в конвейерной обжиговой машине, что позволит повысить энергоэффективность работы машины, за счет рационального использования отработанных газовоздушных потоков.

**Результаты.** Представлена разработанная комплексная математическая модель для исследования термической обработки окатышей в конвейерной обжиговой машине, которая учитывает одновременную работу всех технологических зон. В модели входными параметрами для каждой технологической зоны есть выходы предыдущей. Это дает возможность исследовать термическая обработка окатышей при управлении газо потоками в каждой технологической зоне, выявить влияние их на соседние и по всей длине машины. Комплексная математическая модель термической обработки окатышей включает уравнения тепло - и массообмена в слое, теплообмена между теплоносителем газовоздушной потока и конвейерным тележкой со слоем окатышей на нем и газодинамики.

**Ключевые слова:** конвейерная обжиговая машина, газовоздушные потоки, комплексная модель, математическое описание.

**Mytrefanov A.V.** Comprehensive mathematical model for studying the heat treatment of pellets on a conveyor annealing machine

**Purpose.** To develop an integrated mathematical model and improve methods that are aimed at increasing the efficiency of studying the process of heat treatment of pellets on a conveyor roasting machine of a pelletizing plant of a mining and processing plant by controlling gas-flow conveyor roasting machine, which increases its productivity and reduces energy costs.

**Research methods.** To determine the parameters of gas-air flows by technological zones and the length of CME required for heat treatment of pellets, and using the system of equations of heat and mass transfer in a layer of pellets, heat exchange between the coolant gas-air flow and a conveyor cart with a layer of pellets on it and gas dynamics, a mathematical model was developed. The resulting model will allow to carry out studies of gas-air flows of a technological installation.

The **scientific novelty** of the obtained results consists in the development of a complex mathematical model for studying the heat treatment of pellets in a conveyor roasting machine for gas flow control.

**Practical significance.** The proposed complex mathematical model for the study of heat treatment of pellets in a conveyor roasting machine, which will improve the energy efficiency of the machine, due to the rational use of exhaust gas-air flows.

**Results.** The developed integrated mathematical model for the study of heat treatment of pellets in a conveyor roasting machine, which takes into account the simultaneous operation of all technological zones, is presented. In the model, the input parameters for each technological zone are the outputs of the previous one. This makes it possible to investigate the heat treatment of pellets in the management of gas flows in each technological zone, to identify their influence on neighboring and along the entire length of the machine. A complex mathematical model of heat treatment of pellets includes the equations of heat and mass transfer in a layer, heat exchange between the coolant gas-air flow and a conveyor cart with a layer of pellets on it and gas dynamics.

**Key words:** conveyor roasting machine, gas-air flows, complex model, mathematical description.

УДК [658.562:622.7.016]: 66.085.3

**Швец Д. В.** Контроль химико-минералогических характеристик железорудного сырья при помощи учета интенсивности поглощенного гамма-излучения

**Цель.** Усовершенствование существующего ядернофизического метода контроля содержания общего железа в железной руде и продуктах переработки для повышения его точности в области высоких содержаний полезного компонента. Проведение экспериментальных исследований для определения зависимостей интенсивности рассеянного, поглощенного и интегрального гамма-излучения от содержания полезного компонента в железной руде.

**Методы исследований.** Предложена модификация существующего ядернофизического метода, основанного на регистрации интенсивности рассеянного гамма-излучения (комптоновского рассеяния).

**Научная новизна.** Впервые предложено при анализе качества железорудных проб гамма-методом контролировать как интенсивность комптоновского рассеяния, так и учитывать количество поглощенных гамма-квантов (фотоэффект) в процессе облучения горной массы источником гамма-квантов.

**Практическая значимость.** Традиционный метод контроля с учетом интенсивности комптоновского рассеяния демонстрирует недостаточную точность при анализе качества богатых железных руд и продуктов переработки. Разработанный метод позволяет повысить точность измерения содержания общего железа в рудных пробах в области высоких содержаний железа, что обусловлено высокой вероятностью возникновения фотоэффекта при повышении эффективного атомного номера исследуемой среды. Применение полученных результатов даст возможность повысить точность контроля качества железорудного сырья и продуктов переработки в условиях рудо-обогастительных фабрик, позволит стабилизировать качество концентрата, а также увеличит производительность металлургического производства.

**Результаты.** Разработан метод ядернофизического контроля качества минерального сырья, позволяющий уменьшить погрешность при определении содержания полезного компонента в железной руде с высоким содержанием металла. Предложена функциональная схема и реализована установка для определения содержания общего железа в железорудных пробах с использованием модифицированного ядернофизического метода, основанного на учете интенсивности поглощенного пробой гамма-излучения. Разработана методика проведения эксперимента для сравнения ядернофизических методов, основанных на регистрации комптоновского рассеяния и учета фотоэффекта. Осуществлены экспериментальные исследования, определены зависимости интенсивности рассеянного, поглощенного и интегрального гамма-излучения от содержания полезного компонента в железной руде, получены соответствующие аналитические выражения.

**Ключевые слова:** железная руда, комптоновское рассеяние, фотоэффект, гамма-излучение, оперативный контроль.

**Швец Д. В.** Контроль хіміко-мінералогічних характеристик залізорудної сировини за допомогою обліку інтенсивності поглинутого гамма-випромінювання

**Мета.** Удосконалення існуючого ядернофізичного методу контролю вмісту загального заліза в залізній руді і продуктах переробки для підвищення його точності в області високих вмістів корисного компонента. Проведення експериментальних досліджень для визначення залежностей інтенсивності розсіяного, поглиненого та інтегрального гамма-випромінювання від вмісту корисного компонента в залізній руді.

**Методи досліджень.** Запропоновано модифікацію існуючого ядернофізичного методу, заснованого на реєстрації інтенсивності розсіяного гамма-випромінювання (комptonівського розсіювання).

**Наукова новизна.** Вперше запропоновано при аналізі якості залізорудних проб гамма-методом контролювати як інтенсивність комптонівського розсіювання, так і враховувати кількість поглинутих гамма-квантів (фотофект) в процесі опромінення гірської маси джерелом гамма-квантів.

**Практична значимість.** Традиційний метод контролю з урахуванням інтенсивності комптонівського розсіювання демонструє недостатню точність при аналізі якості багатих залізних руд і продуктів переробки. Розроблений метод дозволяє підвищити точність вимірювання вмісту загального заліза в рудних пробах в області високих вмістів заліза, що зумовлено високою ймовірністю виникнення фотофекту при підвищенні ефективного атомного номера досліджуваного середовища. Застосування отриманих результатів надасть можливість підвищити точність контролю якості залізорудної сировини і продуктів переробки в умовах рудозбагачувальних фабрик, дозволить стабілізувати якість концентрату, а також збільшити продуктивність металургійного виробництва.

**Результати.** Розроблено метод ядернофізичного контролю якості мінеральної сировини, що дозволяє зменшити похибку при визначенні вмісту корисного компонента в залізній руді з високим вмістом металу. Запропоновано функціональну схему і розроблено установку для визначення вмісту загального заліза в залізорудних пробах з використанням модифікованого ядернофізичного методу, заснованого на обліку інтенсивності поглиненого пробой гамма-випромінювання. Розроблено методику проведення експерименту для порівняння ядернофізичних методів, заснованих на реєстрації комптонівського розсіювання і обліку фотофекту. Здійснено експериментальні дослідження, визначені залежності інтенсивності розсіяного, поглиненого і інтегрального гамма-випромінювання від вмісту корисного компонента в залізній руді, отримані відповідні аналітичні вирази.

**Ключові слова:** залізна руда, комптонівське розсіювання, фотофект, гамма-випромінювання, оперативний контроль

**Shvets D.V.** Control of chemical and mineralogical characteristics of the iron ore with the account of the intensity of the absorbed gamma-ray

**Purpose.** Improvement of the existing nuclear-physical method for monitoring the total iron content in iron ore and processed products to increase its accuracy in the field of high contents of the useful component. Conducting experimental studies to determine the dependences of the intensity of the scattered, absorbed and integrated gamma radiation on the content of the useful component in iron ore.

**Research methods.** A modification of the existing nuclear physics method based on recording the intensity of scattered gamma radiation (Compton scattering) has proposed.

**Scientific novelty.** For the first time, when analyzing the quality of iron ore samples by the gamma method, it has proposed to control both the intensity of Compton scattering and take into account the number of absorbed gamma rays (photoelectric effect) during irradiation of the rock mass with a source of gamma rays.

**Practical value.** The traditional control method, taking into account the intensity of Compton scattering, demonstrates insufficient accuracy when analyzing the quality of rich iron ores and processed products. The developed method makes it possible to increase the accuracy of measuring the total iron content in ore samples in the region of high iron contents, which is due to the high probability of a photoelectric effect with an increase in the effective atomic number of the medium under study. The application of the obtained results will make it possible to increase the accuracy of quality control of iron ore raw materials and products of processing in the conditions of ore processing plants, will allow stabilizing the quality of the concentrate, and increase the productivity of metallurgical production.

**Results.** A method of nuclear physical quality control of mineral raw materials has been developed, which allows reducing the error in determining the content of the useful component in iron ore with high metal content. A functional diagram has been proposed and installation has implemented to determine the total iron content in iron ore samples using the modified nuclear physics method, based on taking into account the intensity of gamma radiation absorbed by the sample. An experimental technique has been developed for comparing nuclear physics methods based on the detection of Compton scattering and taking into account the photoelectric effect. Experimental studies carried out, the dependences of the intensity of the scattered, absorbed and integrated gamma radiation on the content of the useful component in iron ore were determined, and corresponding analytical expressions have obtained.

**Key words:** iron ore, Compton scattering, photoelectric effect, gamma radiation, operational control.

УДК 622.647.21

**Єфіменко Л.І., Тиханський М.П., Тиханська А.М.** Структура блоку визначення технічного стану роликів стрічкового конвеєра оснащеного автоматичною системою керування

**Мета.** Метою цієї роботи є підвищення ефективності роботи автоматизованого конвеєра за рахунок визначення технічного стану роликів по температурних і вібраційних параметрах та використання результатів досліджень у системах діагностики.

**Методи дослідження.** Для вирішення цього завдання використано: аналіз літературних і патентних джерел, наукове узагальнення раніше виконаних досліджень; методи розроблені в механіці, теорії пружності; методи обробки випадкових процесів і математичної статистики; а також методи теорії автоматичного управління.

**Наукова новизна.** Технічний стан роликів у системі визначається по температурних і вібраційних параметрах, результати діагностики доповнюють один одного, що особливо важливо для довгих конвеєрів.

При діагностуванні по температурному режимі отримані значення температури поверхні стрічки у контролері порівнюють із температурою закриваючої поверхні, величину неузгодженості корегують з урахуванням охолодження матеріалу конвеєрної стрічки та поточного часу з початку діагностичного запуску конвеєра.

При діагностуванні по вібросигналу визначають амплітуду коливань даної частоти, знаходять збільшення амплітуди інформативної частоти ділянки фіксованої роликкоопори над амплітудою тієї ж частоти при холостому ході, отримане збільшення приймають за еталон, порівнюють амплітуди інформативних частот наступних роликкоопор з амплітудами тієї ж частоти на холостому ході, величину отриманої неузгодженості порівнюють із припустимим значенням, й в випадку перевищення по модулю, роблять висновок про поламки, причому номер роликкоопори з дефектними роликами відповідає номеру аналізованої стрічкової ділянки.

**Практична значимість.** Застосування способу й пристрою дозволяє оцінити кількість дефектних роликів без участі людини. Своєчасне виявлення дефектних роликів дозволяє виконувати їхню заміну під час профілактичних ремонтів, що скорочує кількість аварійних зупинок, що запобігають можливість загоряння стрічки (у вугільних шахтах), зменшує споживання електроенергії, тому що при наявності несправних роликів збільшується коефіцієнт опору руху.

**Результати.** При визначенні навантажень на ролики враховується динаміка перехідних процесів і динамічні навантаження від вантажу при транспортуванні, що відзначається на визначенні технічного стану роликів стрічкового конвеєра оснащеного автоматичною системою керування.

**Ключові слова:** стрічковий конвеєр, діагностика, методи діагностування, роликкоопори, ролики, динамічне навантаження, автоматична система керування.

**Ефименко Л.И., Тиханський М.П., Тиханская А.Н.** Структура блока определения технического состояния роликов ленточного конвейера снабженного автоматической системой управления

**Цель.** Целью данной работы является повышение эффективности автоматизированного конвейера путем определения технического состояния роликов по параметрам температуры и вибрации и использования результатов исследований в диагностических системах.

**Методы исследования.** Для решения этой задачи использовали: анализ литературных и патентных источников, научное обобщение ранее завершённых исследований; методы разработаны в механике, теории упругости; методы обработки случайных процессов и математическая статистика; а также методы автоматической теории управления.

**Научная новизна.** Техническое состояние роликов в системе определяется параметрами температуры и вибрации, диагностические результаты дополняют друг друга, что особенно важно для длинных конвейеров.

При диагностике температурного режима значения температуры поверхности ленты в контроллере сравниваются с температурой закрывающей поверхности, величину несоответствия корректируют с учетом охлаждения материала конвейерной ленты и текущего времени с начала диагностического запуска конвейера.

При диагностике по вибросигналу определяют амплитуду колебаний данной частоты, обнаруживают увеличение амплитуды информативной частоты части фиксированной роликкоопоры над амплитудой той же частоты на холостом ходу, полученное превышение принимают за эталон, сравнивают амплитуды информативных частот следующих роликкоопор с амплитудами той же частоты на холостом ходу, величину полученного несоответствия сравнивают с

допустимим значенням, а в разі перевищення по модулю, роблять висновок про дефект, причому номер роликотопори з дефектними роликами відповідає номеру досліджуваної аналізованої стробірованої області.

**Практичне значення.** Застосування методу та пристрою дозволяє оцінити кількість дефектних роликів без участі людини. Своєчасне виявлення дефектних роликів дозволяє виконати їх заміну в час профілактичного ремонту, що знижує кількість аварійних зупинок, які перешкоджають можливості збільшення ленти (в вугільних шахтах), знижує витрати електроенергії, так як при наявності несправних роликів збільшується коефіцієнт опору руслоподвиженню.

**Результати.** При визначенні навантаження на ролики враховується динаміка перехідних процесів і динамічне навантаження від вантажу в час транспортування, яке відбивається на визначенні технічного стану роликів ленточного конвеєра, обладнаного автоматичною системою управління.

**Ключові слова:** ленточний конвеєр, діагностика, методи діагностики, роликотопори, ролики, динамічне навантаження, автоматична система управління.

**Yefymenko L., Tykhanskyi M., Tykhanska A.** Structure of the unit for determining the technical condition of the conveyor belt rollers equipped with an automatic control system

**Purpose.** The purpose of this work is to increase the efficiency of the automated conveyor by determining the technical condition of the rollers in terms of temperature and vibration parameters and the use of research results in diagnostic systems.

**Research methods.** To solve this problem, we used: analysis of literature and patent sources, scientific generalization of previously performed research; methods developed in mechanics, theory of elasticity; methods of processing random processes and mathematical statistics; and also, methods of automatic control theory.

**Scientific novelty.** The technical condition of the rollers in the system is determined by temperature and vibration parameters, the results of diagnostics complement each other, which is especially important for long conveyors.

When diagnosing by temperature, the obtained values of the surface temperature of the belt in the controller are compared with the temperature of the closing surface, the magnitude of the mismatch is adjusted to take into account the cooling of the material of the conveyor belt and the current time from the beginning of the diagnostic start of the conveyor.

When diagnosed by the vibration signal determine the amplitude of oscillations of this frequency, find the increase in the amplitude of the informative frequency of the fixed roller support over the amplitude of the same frequency at idle, the resulting increase is taken as a standard, the amplitudes of the informative frequencies of the following roller supports are compared with the amplitudes of the same frequency at idle, the magnitude of the obtained mismatch is compared with the allowable value, and in case of excess in modulus, the conclusion is made of breakdowns, and the number of the roller supports with defective rollers corresponds to the number of the analyzed gated section..

**Practical value.** The use of the method and the device allows you to estimate the number of defective rollers without human involvement. The timely detection of defective rollers allows them to be replaced during preventive repairs, which reduces the number of emergency stops that prevent the tape from burning (in coal mines), reduces electricity consumption, since the presence of faulty rollers increases the resistance to movement.

**Results.** In determining the loads on the rollers, the dynamics of the transients and the dynamic loads from the load during transportation are taken into account which is noted in the determination of the technical condition of the conveyor rollers equipped with an automatic control system.

**Key words:** conveyor belt, diagnostics, diagnosis methods, roller supports, rollers, dynamic loading, automatic control system.

УДК 711.168:727

**Шимко В.А.** Сучасні аспекти будівництва та розвитку соціального житла: світовий досвід

**Мета.** Проаналізувати існуючі приклади формування об'єктів соціального житла в зарубіжних країнах та обґрунтувати доцільність будівництва житла соціального фонду на території Криворізького регіону з урахуванням проведеного аналізу.

**Методи дослідження.** В представленій роботі виконано детальний аналіз сучасних прикладів будівництва соціального або доступного житла у розвинених країнах світу, окреслені принципові методи та напрямки соціального житлового будівництва. Відмічено, що світовий досвід такого будівництва заслуговує більш ретельного вивчення та може бути основою для розвитку сучасного соціального житлового будівництва в нашій країні в цілому та особливо у східних прифронтових регіонах.

**Наукова новизна.** Акцентація саме на питаннях будівництва соціального, а саме доступного житла, складає актуальність роботи. Її метою є виявлення і позначення основних принципових методів і напрямків соціального житлового будівництва за кордоном і подальшої їх адаптації в нашій країні в цілому, а також в регіональному контексті.

**Практична значимість.** В цілому зарубіжний досвід зведення соціального житла може бути адаптований до умов м.Кривого Рогу для зняття гостроти житлової проблеми, поліпшення якості міського середовища, поліпшення менеджменту соціального житла та розвитку широкої житлової демократії та управління соціальним житлом.

Результати роботи зацікавлять всіх фахівців та спеціалістів, що задіяні у архітектурній та будівельній галузях, інвесторів та в органах самоврядування.

**Результати.** Вітчизняний досвід проектування житлових будинків соціального фонду значно відрізняється від закордонного. Зарубіжні прийоми і технології в проектуванні і будівництві соціального житла досить різноманітні, спрямовані одночасно на об'єднання мешканців в одне ціле при спільному дозвіллі зі збереженням індивідуальності, поліпшення якості міського середовища, поліпшення менеджменту соціального житла та розвитку широкої житлової демократії та управління соціальним житлом.

**Ключові слова:** сучасність, соціальне житло, доступність, житлове будівництво, інновації, світовий досвід.

**Шимко В.А.** Современные аспекты строительства и развития социального жилья: мировой опыт

**Цель.** Проанализировать существующие примеры формирования объектов социального жилья в зарубежных странах и обосновать целесообразность строительства жилья социального фонда на территории Криворожского региона с учетом проведенного анализа.

**Методы исследования.** В представленной работе выполнен детальный анализ современных примеров строительства социального или доступного жилья в развитых странах мира, указаны принципиальные методы и направления социального жилищного строительства. Отмечено, что мировой опыт такого строительства заслуживает более тщательного изучения и может быть основой для развития современного социального жилищного строительства в нашей стране в целом и особенно в восточных прифронтовых регионах.

**Научная новизна.** Акцентуация именно на вопросах строительства социального, а именно доступного жилья, в развитых странах составляет актуальность работы. Ее целью является выявление и обозначение основных принципиальных методов и направлений социального жилищного строительства зарубежом и дальнейшей их адаптации в нашей стране в целом, а также в региональном контексте.

**Практическая значимость.** В целом зарубежный опыт возведения социального жилья может быть адаптирован к условиям Кривого Рога для снятия остроты жилищной проблемы, улучшения качества городской среды, улучшения менеджмента социального жилья и развития широкой жилой демократии и управления социальным жильем.

Результаты работы заинтересуют всех специалистов и специалистов, задействованных в архитектурной и строительной отраслях, инвесторов и в органах самоуправления.

**Результаты.** Отечественный опыт проектирования жилых домов социально фонда значительно отличается от зарубежного. Зарубежные приемы и технологии в проектировании и строительстве социального жилья весьма разнообразны, направленные одновременно на объединение жителей в одно целое при совместном досуге с сохранением индивидуальности, улучшение качества городской среды, улучшения менеджмента социального жилья и развития широкой жилой демократии и управления социальным жильем.

**Ключевые слова:** современность, социальное жилье, доступность, жилищное строительство, инновации, мировой опыт.

**Shymko V.A.** Modern aspects of construction and social housing development: world experience

**Purpose.** To analyze the existing examples of the formation of social housing in foreign countries and to justify the feasibility of building housing facilities intended for social needs in Krivoy Rog region, taking into account the analysis.

**Research methods.** In the present work, a detailed analysis of modern examples of the construction of social or affordable housing in the developed countries of the world is made. The principal methods and directions of social housing construction are indicated. It is noted that the world experience of such construction deserves a more thorough study and can be the basis for the development of modern social housing construction in our country as a whole and especially in the eastern frontline regions.

**Scientific novelty.** The relevance of the work is the emphasis on the issues of construction social, namely affordable housing, in developed countries. Its purpose is to identify and designate the basic principles and directions of social housing construction abroad and their further adaptation in our country as a whole, as well as in the regional context.

**Practical value.** In general, foreign experience in the construction of social housing can be adapted to the Kryvyi Rih conditions to relieve the severity of the housing problem, improve the quality of the urban environment, to improve the management of social housing and the development of broad residential democracy and social housing management.

The results of the work will be of interest to all professionals and experts involved in the architectural and construction industries, investors and self-government bodies.

**Results.** Domestic experience in designing residential buildings intended for social needs is significantly different from foreign one. Foreign methods and technologies in the design and construction of social housing are very diverse, aimed at simultaneously uniting residents together with leisure activities while maintaining individuality, improving the quality of the urban environment, improving the management of social housing and the development of broad residential democracy and social housing management.

**Key words:** modernity, social housing, affordability, housing construction, innovation, world experience.

УДК 621.9.04:533.9: 621.791.947.55

**Нечаєв В.П., Рязанцев А.О., Чернявська О.В., Лаухіна Л.І., Лавриненко Д.О.** Вплив параметрів процесу плазмово-механічної обробки на якість поверхневого шару деталей

**Мета.** Метою даної роботи є вдосконалення технології обробки деталей з важкооброблюваних матеріалів, а саме – дослідження й наукове обґрунтування параметрів процесу плазмово-механічної обробки поверхонь деталей з легованих сталей для підвищення продуктивності обробки, забезпечення необхідної якості поверхневих шарів обробленої деталі.

**Методи дослідження.** Результати роботи з плазмово-механічної обробки отримані шляхом теоретичних і експериментальних досліджень. Теоретичні дослідження полягають у визначенні параметрів теплового поля заготовки при плазмовому нагріванні в умовах плазмово-механічного точіння й фрезерування. Експериментальні дослідження засновані на комплексному вивченні взаємозв'язку основних показників механічної обробки з факторами попереднього плазмового нагрівання припуску.

**Наукова новизна.** У результаті проведених досліджень були отримані дані про стан параметрів якості обробленої поверхні заготовки при нагріванні плазмовою дугою. Виявлена залежність виду мікроструктури від глибини поверхневого шару заготовки, установлений розподіл залишкових напружень по глибині поверхневого шару. Вивчені особливості схем розташування зон зі зміненою мікроструктурою і їх взаємозв'язок з режимами нагрівання й різання в конкретних умовах плазмово-механічної обробки.

**Практичне значення.** Розроблений процес плазмово-механічного точіння, фрезерування та рекомендації з вибору параметрів нагрівання та різання дозволяють збільшити продуктивність обробки заготовок із середньо легованих сталей при забезпеченні заданих параметрів якості обробленої поверхні.

**Результати.** Встановлено, що попереднє плазмове нагрівання при механічній обробці забезпечує протікання специфічного термічного циклу в матеріалі припуску, у результаті чого змінюються твердість і пластичність оброблюваного матеріалу. Зміна механічних властивостей припуску приводить до зниження питомих навантажень на різучий клин, до зниження інтенсивності його адгезійного зношування й tenditного руйнування, до стабілізації його округлення, що позитивно позначається в цілому на висоті мікронерівностей і ступені наклепу обробленої поверхні.

**Ключові слова:** плазмова дуга, мікроструктура, залишкові напруження, мікротвердість, шорсткість поверхні.

**Нечаев В.П., Рязанцев А.А., Чернявская О.В., Лаухина Л.И., Лавриненко Д.О.** Влияние параметров процесса плазменно-механической обработки на качество поверхностного слоя деталей

**Цель.** Целью данной работы является усовершенствования технологии обработки деталей из труднообрабатываемых материалов, а именно – исследование и научное обоснование параметров процесса плазменно-механической обработки поверхностей деталей из легированных сталей для повышения производительности обработки, обеспечения необходимого качества поверхностных слоев обработанной детали.

**Методы исследования.** Результаты работы по плазменно-механической обработке получены путем теоретических и экспериментальных исследований. Теоретические исследования состоят в определении параметров теплового поля заготовки при плазменном нагреве в условиях плазменно-механического точения и фрезерования. Экспериментальные исследования основаны на комплексном изучении взаимосвязи основных показателей механической обработки с факторами предварительного плазменного нагрева припуска.

**Научная новизна.** В результате проведенных исследований были получены данные о состоянии параметров качества обработанной поверхности заготовки при нагреве плазменной дугой. Выявлена зависимость вида микроструктуры от глубины поверхностного слоя заготовки, установлено распределение остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя. Изучены особенности схем расположения зон с измененной микроструктурой и их взаимосвязь с режимами нагрева и резания в конкретных условиях плазменно-механической обработки.

**Практическое значение.** Разработанный процесс плазменно-механического точения и фрезерования, и рекомендации по выбору параметров нагрева и резания позволяют увеличить производительность обработки заготовок из средне легированных сталей при обеспечении заданных параметров качества обработанной поверхности.

**Результаты.** Установлено, что предварительный плазменный нагрев при механической обработке обеспечивает протекание специфического термического цикла в материале припуска, в результате чего изменяются твердость и пластичность обрабатываемого материала. Изменение механических свойств припуска приводит к снижению удельных нагрузок на режущий клин, к снижению интенсивности его адгезионного изнашивания и хрупкого разрушения, к стабилизации его округления, что положительно сказывается в целом на высоте микронеровностей и степени наклепа обработанной поверхности.

**Ключевые слова:** плазменная дуга, микроструктура, остаточные напряжения, микротвердость, шероховатость поверхности.

**Nechaev V.P., Ryazantsev A.O., Cherniavskaya O.V., Laukhina L.I., Lavrynenko D.O.** Influence of the parameters of the plasma-assisted machining process on the quality of the surface layer of parts

**Purpose.** The goal of this work is to improve the technology of machining details from difficult-to-machine materials, that includes research and scientific substantiation parameters of plasma-assisted machining of surfaces of alloyed steels details process for productivity increase of processing, provide the required quality of the surface layers of the machined part.

**Research methods.** The results of the work of plasma-assisted machining were obtained by theoretical and experimental researches. Theoretical researches include determining the parameters of the thermal field of the work piece during plasma heating in plasma-mechanical milling conditions. Experimental researches are based on a comprehensive study of the main indicators of milling interconnection with factors of pre-plasma heating allowance.

**Scientific novelty.** As a result of the research, we obtained data of the on the state of quality parameters of the processed surface of the workpiece when heated by a plasma arc. The dependence of the type of microstructure on the depth of the surface layer of the workpiece is revealed, the distribution of residual stresses along the depth of the surface layer is established. The features of the arrangement of zones with a changed microstructure and their correlation with the heating and cutting modes under specific conditions of plasma-assisted machining were studied.

**Practical value.** The developed process of plasma-mechanical milling and turning and recommendations on the choice of heating and cutting parameters make it possible to increase the performance rate of processing workpieces of medium-alloyed steel while ensuring the specified quality parameters of the machined surface.

**Results.** We found that plasma preheating during milling of planes ensures a specific thermal cycle execution in allowance materials, as a result the hardness and plasticity of the material with processed are changed. Changes in mechanical properties allowance lead to specific load decrease on the cutting wedge, to a decrease in the intensity of this adhesive depreciation and brittle destruction, to the stabilization of its rounding, which has a positive effect on the surface roughness and the degree of cold work of machined surface.

**Key words:** plasma arc, microstructure, retained stress, microhardness, surface roughness.

УДК 004.42:616.1

**Савчук А. О., Шаповалова Н. Н., Доценко І. О.** Застосування методів машинного навчання в медичних консультативно-діагностичних системах

**Мета.** Розробити і теоретично обґрунтувати ефективність застосування методів машинного навчання у ранній діагностиці серцево-судинних захворювань на догоспітальному етапі. Об'єктом дослідження є програмний засіб виявлення серцево-судинних захворювань; предметом дослідження – розробка програмного модуля консультативно-діагностичної системи з використанням апарату машинного навчання.

**Методи досліджень.** Для вирішення поставлених завдань використовувалися наступні методи: загальнонаукові методи теоретичного дослідження: аналіз комплексу ознак серцево-судинних захворювань за їх основними класами, синтез отриманих даних і перетворення їх у векторну модель, формалізація методів отримання інформативних ознак,

моделювання процесу класифікації отриманих даних за певними типами ознак, узагальнення; методи емпіричного дослідження: вивчення досвіду в області поставленого завдання, тестування отриманої моделі; методи об'єктно-орієнтованого проектування та програмування.

**Наукова новизна.** Теоретично обґрунтовано необхідність процедури відбору сукупності клінічних ознак і лабораторних досліджень, як таких, які є найбільш інформативними для раннього діагностування серцево-судинних захворювань. Процедуру виокремлення таких ознак реалізовано на основі стратегії навчання з вкладеною технікою відбору ознак lasso.

**Практична значимість** виконаної роботи полягає в значному прискоренні процесу ранньої діагностики серцево-судинних захворювань на догоспітальному етапі за рахунок відбору інформативних клінічних ознак на стадії пре-процесінгу даних. Досягнуто задовільного рівня якості моделі визначення приналежності пацієнта до групи ризику серцево-судинних захворювань за рахунок використання методу машинного навчання – градієнтного бустінга. В якості метрик якості обрано долю вірних відповідей, точність і повноту, баланс оптимальних значень метрик знайдено на основі використання гармонічного середнього між точністю і повнотою, – *F*-міри.

**Результати.** Розроблено програмний модуль консультативно-діагностичної системи, який дозволяє оперативно проводити ранню діагностику серцево-судинних захворювань на основі методу машинного навчання і є доцільним для використання у медико-діагностичних центрах.

**Ключові слова:** серцево-судинні захворювання, рання діагностика, машинне навчання, градієнтний бустінг, регуляризація, точність, повнота.

**Савчук А. О., Шаповалова Н. Н., Доценко І. О.** Применение методов машинного обучения в медицинских консультативно-диагностических системах

**Цель.** Разработать и теоретически обосновать эффективность применения методов машинного обучения в ранней диагностике сердечно-сосудистых заболеваний на догоспитальном этапе. Объектом исследования является программное средство выявления сердечно-сосудистых заболеваний; предметом исследования – разработка программного модуля консультативно-диагностической системы с использованием аппарата машинного обучения.

**Методы исследований.** Для решения поставленных задач использовались следующие методы: общенаучные методы теоретического исследования: анализ комплекса признаков сердечно-сосудистых заболеваний по их основными классами, синтез полученных данных и преобразование их в векторную модель, формализация методов получения информативных признаков, моделирование процесса классификации полученных данных с определенными типами признаков, обобщения; методы эмпирического исследования: изучение опыта в области поставленной задачи, тестирование полученной модели; методы объектно-ориентированного проектирования и программирования.

**Научная новизна.** Теоретически обоснована необходимость процедуры отбора совокупности клинических признаков и лабораторных исследований, как таких, которые являются наиболее информативными для раннего диагностирования сердечно-сосудистых заболеваний. Процедура выделения таких признаков реализована на основе стратегии обучения с вложенной техникой отбора признаков lasso.

**Практическая значимость** выполненной работы состоит в значительном ускорении процесса ранней диагностики сердечно-сосудистых заболеваний на догоспитальном этапе за счет отбора информативных клинических признаков на стадии пре-процессинга данных. Достигнут удовлетворительный уровень качества модели определения принадлежности пациента к группе риска сердечно-сосудистых заболеваний за счет использования метода машинного обучения – градиентного бустинга. В качестве метрик качества избраны мера верных ответов, точность и полнота, баланс оптимальных значений метрик найден на основе использования гармоничного среднего между точностью и полнотой, – *F*-меры.

**Результаты.** Разработан программный модуль консультативно-диагностической системы, который позволяет оперативно проводить раннюю диагностику сердечно-сосудистых заболеваний на основе метода машинного обучения и целесообразен для использования в медико-диагностических центрах.

**Ключевые слова:** сердечно-сосудистые заболевания, ранняя диагностика, машинное обучение, градиентный бустинг, регуляризация, точность, полнота.

**Savchuk A. O., Shapovalova N. N., Dotsenko I. O.** Application of methods of machine education in medical advisory and diagnostic system

**Purpose.** To develop and theoretically substantiate the effectiveness of the application of machine learning methods in the early diagnosis of cardiovascular diseases at the prehospital stage. The object of research is a software tool for detecting cardiovascular diseases; the subject of research is the development of a software module for a consultative diagnostic system using a machine learning apparatus.

**Research methods** To solve the tasks, the following methods were used: general scientific methods of theoretical research: analysis of the complex of signs of cardiovascular diseases according to their main classes, synthesis of the obtained data and converting them into a vector model, formalization of methods for obtaining informative signs, modeling of the classification process of the received data with certain types of signs generalizations; methods of empirical research: the study of experience in the field of the task, testing the resulting model; methods of object-oriented design and programming.

**Scientific novelty.** Theoretically substantiated the need for a procedure for selecting a set of clinical signs and laboratory tests, such as those that are most informative for the early diagnosis of cardiovascular diseases. The procedure for isolating such signs is implemented on the basis of a learning strategy with an embedded lasso trait selection technique.

**Practical value** of the work is to significantly accelerate the process of early diagnosis of cardiovascular diseases at the prehospital stage by selecting informative clinical signs at the pre-processing stage of the data. A satisfactory level of quality has been achieved in the model for determining the patient's belonging to the risk group for cardiovascular diseases through the use of machine learning - gradient boosting. The measure of correct answers, accuracy and completeness were chosen as quality metrics, the balance of the optimal metrics was found on the basis of using a harmonious average between accuracy and completeness, the *F*-measure.

**Results.** A software module for the consultative diagnostic system has been developed, which allows you to quickly conduct early diagnosis of cardiovascular diseases based on the machine learning method and is suitable for use in medical diagnostic centers.

**Key words:** cardiovascular diseases, early diagnosis, machine learning, gradient boosting, regularization, accuracy, completeness.

УДК 622.7: 004.94

**Савицький О.І., Тимошенко М.А.** Розробка автоматизованої системи керування секцією збагачення залізної руди з використанням віртуальних аналізаторів при моделюванні засобами програмованого контролера

**Мета.** Метою даної роботи є створення моделі ділянки секції збагачувальної фабрики з використанням віртуальних аналізаторів при моделюванні засобами програмованого контролера для моніторингу та контролю основних показників роботи технологічних механізмів та стану оброблюваного продукту на різних етапах операцій збагачення. Складність, інерційність, нестационарність та динамічність технологічних процесів, що відбуваються на збагачувальній фабриці, наявність складних зв'язків та рециклів між технологічними механізмами обумовлюють застосування нестандартного підходу для створення моделі секції, а саме розглядання моделі з точки зору застосування програмованих логічних контролерів і, відповідно, використання для створення моделі середовища програмування ПЛК. В умовах мультиагентного керування модель повинна розбиватись на окремі частини для кожного агента керування.

**Методи дослідження.** Підтверджено можливість застосування нетрадиційного програмного середовища для моделювання роботи секції збагачувальної фабрики. У той час коли для створення моделі об'єкту керування зазвичай використовуються пакети чисто математичного характеру, дана стаття розглядає можливість застосування для поставленої мети середовища для програмування ПЛК, а саме Unity Pro XL фірми Schneider Electric.

**Наукова новизна.** Розв'язання поставленої задачі складає актуальність роботи. Її метою є створення моделі секції фабрики збагачення залізної руди з використанням віртуальних аналізаторів при моделюванні засобами програмованого контролера з ціллю контролю основних показників роботи технологічних агрегатів та стану пульпи на різних етапах збагачення.

**Практична значимість.** Обґрунтовано застосування середовища програмування ПЛК для створення моделі секції збагачувальної фабрики. Створено попередню спрощену модель об'єкту керування, що може бути модернізована і доповнена для створення системи керування технологічним процесом з урахуванням більшої кількості параметрів управління.

**Результати.** Розроблена модель з використанням віртуальних аналізаторів при моделюванні засобами програмованого контролера дозволяє контролювати найважливіші параметри перебігу збагачувальних процесів та стану оброблюваного продукту. При створенні моделі враховувалися лише найголовніші параметри, які найлегше вимірювати та контролювати у реальних умовах, тому модель є спрощеною. Напрямок подальших досліджень є удосконалення моделі моніторингу та перетворення її у повноцінну модель системи керування.

**Ключові слова.** Збагачення, залізна руда, автоматизація, моделювання, ПЛК, Unity Pro XL, віртуальні аналізатори.

**Савицкий А.И., Тимошенко М.А.** Разработка автоматизированной системы управления секцией обогащения железной руды с использованием виртуальных анализаторов при моделировании средствами программированного контроллера

**Цель.** Целью данной работы является создание модели участка секции обогатительной фабрики с использованием виртуальных анализаторов при моделировании средствами программированного контроллера с целью мониторинга и контроля основных показателей работы технологических механизмов и состояния обрабатываемого продукта на различных этапах операций обогащения. Сложность, инерционность, нестационарность и динамичность технологических процессов, происходящих на обогатительной фабрике, наличие сложных связей и рецикла между технологическими механизмами предопределяет применение нестандартного подхода для создания модели секции, а именно рассмотрение модели с точки зрения применения программируемых логических контроллеров и, соответственно, использование для создания модели среды программирования ПЛК. В условиях мультиагентного управления модель должна разбиваться на отдельные части для каждого агента управления.

**Методы исследования.** Проведен анализ необходимости применения для моделирования процессов обогащения средств создания компьютерных моделей в средах программирования ПЛК. Использовано компьютерное моделирование для достижения поставленных целей.

**Научная новизна.** Подтверждена возможность применения нетрадиционной программной среды для моделирования работы секции обогатительной фабрики с использованием виртуальных анализаторов при моделировании средствами программированного контроллера. В то время как для создания модели объекта управления обычно используются пакеты чисто математического характера, данная статья рассматривает возможность применения для поставленной цели среды для программирования ПЛК, а именно Unity Pro XL фирмы Schneider Electric.

**Практическая значимость.** Обосновано применение среды программирования ПЛК для создания модели секции обогатительной фабрики. Создан предварительную упрощенную модель объекта управления, который может быть модернизирован и дополнен для создания системы управления технологическим процессом с учетом большего количества параметров управления.

**Результаты.** Разработанная модель с использованием виртуальных анализаторов при моделировании средствами программированного контроллера позволяет контролировать важнейшие параметры течения обогатительных процессов и состояния обрабатываемого продукта. При создании модели учитывались только главные параметры, которые легче измерять и контролировать в реальных условиях, поэтому модель является упрощенной направлением дальнейших исследований является совершенствование модели мониторинга и превращения ее в полноценную модель системы управления.

**Ключевые слова.** Обогащение, железная руда, автоматизация, моделирование, ПЛК, unity pro xl, виртуальные анализаторы.

**Savytskyi O.I., Tymoshenko M.A.** Development of automation control system for iron ore enrichment section with use of soft sensors in terms of plc programming

**Purpose.** The purpose of this work is to create a model section of the section of the dressing factory with use of soft sensors in terms of plc programming in order to monitor and control the main indicators of the work of technological mechanisms and the state of the processed product at various stages of enrichment operations. The complexity, inertia, non-stationary and dynamical nature of the technological processes taking place at the enrichment factory, the presence of complex connections and recycling between the technological mechanisms, involves the use of a non-standard approach to create a section model, namely the consideration of the model in terms of the use of programmable logic controllers and, accordingly, use to create a plc programming environment model. In terms of multiagent control the model should be ripped to parts for each control agent.

**Research methods.** The analysis of necessity of application for simulation of processes of enrichment of means of creation of computer models in plc programming environments is carried out. Computer simulation is used to achieve the goals.

**Scientific novelty.** The possibility of using an unconventional software environment for modeling the work of the section of the concentrating factory has been confirmed. At that time, when a purely mathematical package is commonly used to create a management object model, this article is considering the use of a PLC programming environment, namely Unity Pro XL, from Schneider Electric.

**Practical value.** The use of the plc programming environment to create a model of the operation of the enrichment plant is substantiated. A preliminary simplified model of the control object was created that can be upgraded and supplemented to create a process control system based on a greater number of control parameters.

**Results.** the developed model with use of soft sensors in terms of plc programming allows controlling the most important parameters of the process of enrichment processes and the state of the processed product. When creating the model, only the most important parameters were taken into account which are easier to measure and control in real terms, so the model is simplified. The direction of further research is to improve the model of monitoring and transform it into a complete model of the control system.

**Key words.** Enrichment, iron ore, automation, modelling, plc, unity pro xl, soft sensors.

УДК 62-233.3

**Гулівець О.А., Бондарець А.О., Олійник С.Ю.** Пристрій для демпфування динамічних навантажень у зацепленні коліс зубчастих передач

**Мета.** Метою даної роботи є створення високоефективного та надійного в роботі пристрою для зменшення динамічних навантажень у зацепленні коліс зубчастих передач.

**Методи досліджень.** Для досягнення поставленої мети застосовано метод конструкційного демпфування коливань навантаження зубчастої передачі на основі використання пружних елементів, які установлені між зубчастим колесом та півмуфтою.

**Наукова новизна.** На основі виконаних досліджень розроблено оригінальний метод конструкційного демпфування динамічних навантажень у зацепленні коліс зубчастих передач.

**Практична значимість.** Використання розробленого пристрою в приводах механізмів і машин, де виникають короткочасні значні перенавантаження, які залежать від режиму роботи двигуна та виконуючого механізму, дозволить суттєво зменшувати динамічні навантаження в зацепленні коліс зубчастих передачах, спрощувати їх виготовлення, монтаж та демонтаж.

**Результати.** Зубчасті передачі у приводах ряду механізмів внаслідок особливостей їх робочого процесу зазнають значних короткочасних перевантажень, які суттєво впливають на довговічність їх роботи. Тому розробка пристроїв для зменшення динамічних навантажень в зацепленні коліс передач є актуальною науково-практичною задачею.

В даній роботі на основі аналізу існуючих конструкцій пружних зубчастих передач сформульовані вимоги до конструкцій пристроїв, призначених для зменшення динамічних навантажень в зацепленні коліс зубчастих передач. Цим вимогам в найбільш повній мірі відповідає запропонований пристрій для демпфування динамічних навантажень у зацепленні зубчастих коліс передач. Запропонований пристрій складається з зубчастого колеса та півмуфти, які з'єднані пружними елементами. Зубчасте колесо з метою надійного центрування його вінця в радіальному та осьовому напрямі установлене на валу посередині через два радіально-упорні підшипники, а півмуфта нерухомо з'єднана з валом. Установка пружних елементів, якими з'єднується зубчасте колесо з півмуфтою, виконана так, щоб забезпечувалось їх одночасне навантаження при передаванні обертового моменту в обидва боки обертання. Пружні елементи гумові, а їх робочі поверхні армовані металічними пластинками з відігнутими назовні краями. З метою запобігання появі резонансу крутих коливань пружні елементи виконані зі змінним поперечним перерізом.

**Ключові слова:** зубчасте колесо, зубчаста передача, динамічні навантаження, демпфування, пружні елементи, коливання.

**Гулівець А.А., Бондарець А.А., Олейник С.Ю.** Устройство для демпфирования динамических нагрузок в зацеплении колес зубчатых передач

**Цель.** Целью данной работы является создание высокоэффективного и надежного в работе устройства для снижения уровня динамических нагрузок в зацеплении колес зубчатых передач.

**Методы исследований.** Для достижения поставленной цели применен метод конструкционного демпфирования колебаний нагрузок в зубчатой передаче на основе использования упругих элементов, которые установлены между зубчатым колесом и полу муфтой.

**Научная новизна.** На основании выполненных исследований разработан оригинальный метод конструкционного демпфирования динамических нагрузок в зацеплении колес зубчатых передач.

**Практическая значимость.** Использование разработанного устройства в приводах механизмов и машин, где возникают значительные кратковременные перегрузки, которые зависят от режима работы двигателя и исполнительного механизма, позволит существенно уменьшить динамические нагрузки в зацеплении колес зубчатых передач, упростить их изготовление, монтаж и демонтаж.

**Результаты.** Зубчатые передачи в приводах ряда механизмов вследствие особенностей их рабочего процесса подвергаются значительным кратковременным перегрузкам, которые существенно влияют на долговечность их работы. Поэтому разработка устройств для уменьшения динамических нагрузок в зацеплении колес передач является актуальной научно-практической задачей. В данной работе на основании анализа существующих конструкций упругих зубчатых передач сформулированы требования к конструкциям устройств, предназначенных для уменьшения динамических нагрузок в зацеплении колес зубчатых передач. Этим требованиям в наибольшей мере отвечает предлагаемое устройство для демпфирования динамических нагрузок в зацеплении зубчатых колес передач. Предлагаемое устройство состоит из зубчатого колеса и полумуфты, которые соединены упругими элементами. Зубчатое колесо с целью надежного центрирования его венца в радиальном и осевом направлении установлено на валу опосредованно через два радиально-упорных подшипника, а полумуфта неподвижно соединена с валом. Установка упругих элементов, посредством которых зубчатое колесо соединяется с полумуфтой, выполнена так, чтобы обеспечивалось их одновременное нагружение при передаче вращающего момента в обоих направлениях вращения. Упругие элементы выполнены из резины, а их рабочие поверхности армированы металлическими пластинками с отогнутыми наружу краями. С целью предотвращения появления резонанса крутильных колебаний упругие элементы выполнены с переменным поперечным сечением.

**Ключевые слова:** зубчатое колесо, зубчатая передача, динамические нагрузки, демпфирование, упругие элемент, колебания.

**Gulivets O.A., Bondarets A.O., Oliynyk S.Yu.** Device for damping dynamic loads in gearing of gear transmission wheels

**Purpose.** The aim of this work is to create a highly efficient and reliable device to reduce the level of dynamic loads in gearing of gear transmission wheels.

**Research methods.** In order to achieve this goal, the method of structural damping of load fluctuations in the gear transmission based on the use of elastic elements which are installed between the gear wheel and the coupling half is used.

**Scientific novelty.** Based on the studies, an original method has been developed for structural damping of dynamic loads in gearing of gear transmission wheels.

**Practical value.** The use of the developed device in drive of mechanisms and machines, where significant short-term overloads occur, which depend on the operating mode of the engine and the actuator, will significantly reduce dynamic loads in gearing of gear transmission wheels, simplify their manufacture, installation and dismantling.

**Results.** Tooth gears in the drives of a number of mechanisms due to the peculiarities of their working process are subject to significant short-term overloads, which significantly affect the durability of their work. Therefore, the development of devices for reducing dynamic loads in gearing of gear wheels is an actual scientific and practical task. In this paper, on the basis of the analysis of existing designs of elastic gears, requirements are formulated for the design of devices designed to reduce dynamic loads in gearing of gear transmission wheels. These requirements are best met by the proposed device for damping dynamic loads in gearing of gear wheels. The proposed device consists of a gear wheel and a coupling half, which are connected by elastic elements. The gear wheel with the aim of reliably centering its crown in the radial and axial direction is mounted on the shaft indirectly through two angular contact bearings, and the coupling half is fixedly connected to the shaft. The installation of the elastic elements by means of which the gear wheel is connected to the coupling half is made so that they are simultaneously loaded while transmitting torque in both directions of rotation. The elastic elements are made of rubber, and their working surfaces are reinforced with metal plates with the edges bent outward. In order to prevent the appearance of resonance of torsional vibrations, the elastic elements are made with a variable cross section.

**Key words:** gear wheel, gear transmission, dynamic loads, damping, elastic element, oscillations.

УДК 622.78

**Рудь Ю.С., Білоножко В.Ю., Бондарець А.О.** Підвищення техніко-економічних характеристик технологічного обладнання агломераційних фабрик гірничо-збагачувальних комбінатів

Технологічні процеси гірничо-збагачувальних комбінатів, особливо агломераційних фабрик, зв'язані з великими енергетичними витратами, які необхідні для фізико-механічного перетворення залізорудної сировини в кінцевий продукт – агломерат. При цьому мають місце значні енергетичні втрати. Тепло спаленого в технологічних машинах газу, коксу, а також газів, нагрітих в процесі виробництва продукції, викидається в атмосферу або використовується частково та неефективно. Це призводить до колосальних енергетичних втрат в обсягах гірничо-металургійного промислового комплексу, а також створює серйозні проблеми екологічного характеру.

**Мета.** Аналіз проблеми енергозбереження в гірничо-металургійному промисловому комплексі і розробка конструктивних рішень, які забезпечують використання технологічного тепла для підвищення його техніко-економічних характеристик. Рішення проблеми показано на прикладі агломераційних фабрик гірничозбагачувальних комбінатів.

**Методи досліджень.** Аналітичний аналіз процесів рекуперації технологічного тепла агломераційних фабрик і розробка нових технологій спікання шихти.

**Наукова новизна.** Проведений аналіз проблеми енергозбереження в гірничо-металургійному промисловому комплексі показав, що для рекуперації тепла можливо використовувати два джерела агломераційного виробництва: 1)

тепло газів, які засмоктуються ексгаустером через вакуум-камери при спіканні шихти; 2) тепло газів, які перекачуються димососом через шар агломерату при його охолодженні.

**Практичне значення.** При нормальних умовах експлуатації тепло, одержане при рекуперації, може бути використане для підвищення техніко-економічних характеристик технологічного обладнання агломераційних фабрик гірничо-збагачувальних комбінатів шляхом використання тепла газів і пари, що відходять від вакуум-камер, що разом складає 64,9% від загального значення витратної частини теплового балансу або 1050-1730 кДж/кг (250-412 ккал/кг).

**Результати.** Забезпечується зростання продуктивності агломераційних конвеєрних машин за рахунок інтенсифікація процесу спікання при підігрівання вихідної шихти до температури 300-350° С перед її запалюванням. За рахунок рекуперації технологічного тепла, яке створюється в процесі спікання шихти, росте коефіцієнт корисної дії. При цьому досягається значна економія газу за рахунок використання технологічного тепла, одержаного в процесі рекуперації тепла відхідних газів.

**Ключові слова:** агломераційна конвеєрна машина, рекуперації технологічного тепла відхідних газів, техніко-економічні характеристики.

**Рудь Ю. С., Белоножко В. Ю., Бондарец А.А.** Повышение технико-экономических характеристик технологического оборудования агломерационных фабрик горно-обогащительных комбинатов

Технологические процессы горно-обогащительных комбинатов, особенно агломерационных фабрик, связанные с большими энергетическими затратами, которые необходимы для физико-механического преобразования железорудного сырья в конечный продукт - агломерат. При этом имеют место значительные энергетические потери. Тепло сожженного в технологических машинах газа, кокса, а также газов, нагретых в процессе производства продукции, выбрасывается в атмосферу или используется частично и неэффективно. Это приводит к колоссальным энергетическим потерям в объемах горно-металлургического промышленного комплекса, а также создаст серьезные проблемы экологического характера.

**Цель.** Анализ проблемы энергосбережения в горно-металлургическом промышленном комплексе и разработка конструктивных решений, обеспечивающих использование технологического тепла для повышения его технико-экономических характеристик. Решение проблемы показано на примере агломерационных фабрик горно-обогащительных комбинатов.

**Методы исследований.** Аналитический анализ процессов рекуперации технологического тепла агломерационных фабрик и разработка новых технологий спекания шихты.

**Научная новизна.** Проведенный анализ проблемы энергосбережения в горно-металлургическом промышленном комплексе показал, что для рекуперации тепла можно использовать два источника агломерационного производства: 1) тепло газов, которые засасываются эксгаустером через вакуум-камеры при спекании шихты; 2) тепло газов, которые перекачиваются димососом через слой агломерата при его охлаждении.

**Практическое значение.** При нормальных условиях эксплуатации тепло, полученное при рекуперации, может быть использовано для повышения технико-экономических характеристик технологического оборудования агломерационных фабрик горно-обогащительных комбинатов путем использования тепла газов, отходящих от вакуум-камер и пара, которые вместе составляют 64,9% от общего значения расходной части теплового баланса или 1050-1730 кДж/кг (250-412 ккал/кг).

**Результаты.** Обеспечивается рост производительности агломерационной конвейерной машины за счет интенсификации процесса спекания в результате подогрева исходной шихты к ее зажиганию до температуры 300-350 ° С. За счет рекуперации технологического тепла, которое создается в процессе спекания шихты, растет коэффициент полезного действия оборудования. При этом достигается значительная экономия газа за счет использования технологического тепла, полученного в процессе рекуперации тепла отходящих газов.

**Ключевые слова:** агломерационная конвейерная машина, рекуперации технологического тепла отходящих газов, технико-экономические характеристики.

**Rud Yu. S., Belonozhko V. Yu., Bondarets A.A.** Improvement of technical and economic characteristics of technological equipment of agglomeration plants of mining plant

The technological processes of mining and processing plants, especially sinter plants, associated with high energy costs, which are necessary for the physical and mechanical conversion of iron ore into the final product - sinter. In this case, significant energy losses occur. The heat of gas, coke, and also gases heated in the process of production is burnt in technological machines, is emitted into the atmosphere or is used partially and inefficiently. This leads to enormous energy losses in the volumes of the mining and metallurgical industrial complex, and also creates serious environmental problems.

**Purpose.** To analyze the problem of energy conservation in the mining and metallurgical industrial complex and to develop constructive solutions that ensure the use of process heat to increase its technical and economic characteristics. The solution to the problem is shown on the example of agglomeration plants of mining and processing plants.

**Research methods.** Analytical analysis of the process of recovery of technological heat of sintering factories and development of new technologies of sintering of the charge.

**Scientific novelty.** The analysis of the problem of energy conservation in the mining and metallurgical industrial complex showed that two sources of sinter production can be used for heat recovery: 1) the heat of gases that are sucked in by the exhauster through vacuum chambers during sintering of the charge; 2) the heat of gases that are pumped by the smoke exhauster through a layer of sinter when it is cooled.

**Practical value.** Under normal operating conditions, the heat obtained during recovery can be used to improve the technical and economic characteristics of the technological equipment of sinter plants of mining and processing plants by using the heat of gases coming from vacuum chambers and steam, which together account for 64.9% of the total value expenditure of the heat balance or 1050-1730 kJ/kg (250-412 kcal/kg).

**Results.** Increase in the productivity of the sinter conveyor machine is provided due to the intensification of the sintering process as a result of heating the initial charge to its ignition to a temperature of 300-350 ° C. Due to the recovery of process heat that is created during the sintering of the charge, the efficiency of the equipment increases. At the same time, significant gas savings are achieved through the use of process heat obtained in the process of heat recovery of exhaust gases.

**Key words:** agglomeration machine, grate, temperature, grate life, low cycle and thermal strength.

УДК 681.5:621.311.1

**Грамм О.О., Савицький О.І.** Автоматизоване керування енергетичними потоками гірничого підприємства з нечітким прогнозуванням рівня споживання електричної енергії

**Мета.** Метою даної роботи є моделювання і порівняння нейро-нечітких систем прогнозування рівня споживання електричної енергії для визначення залежності між кількістю вхідних змінних нейро-нечіткої системи і точністю прогнозування та виявлення оптимальних параметрів системи прогнозування, які забезпечать зниження середньої процентної похибки прогнозування, що дозволить здійснити подальшу оптимізацію системи прогнозування шляхом зміни вагових коефіцієнтів нечітких правил для підвищення якості автоматизованого керування енергетичними потоками гірничого підприємства.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставленої задачі у роботі використовуються методи теорії систем автоматичного керування виробництвом, методи оптимізації систем автоматичного керування і методи нечіткої логіки.

**Наукова новизна.** У роботі удосконалено нейро-нечітку систему прогнозування рівня споживання електричної енергії шляхом визначення оптимальної кількості вхідних змінних системи та оптимізації нечітких правил механізму нечіткого вводу-виводу, що дозволило зменшити значення середньої процентної похибки прогнозування на 1,06% у порівнянні з відомими системами.

**Практична значимість.** Практичне значення роботи полягає у розробці нейро-нечіткої системи прогнозування рівня споживання електричної енергії, що при використанні його в умовах впровадження єдиного енергетичного ринку приведе до зниження витрат на електричну енергію підприємством та дозволить максимально зменшити ризики виходу рівня споживання енергії за об'єми замовлення та пов'язані з цим фінансові втрати.

**Результати.** Серед розроблених у даній роботі нейро-нечітких систем прогнозування рівня споживання електричної енергії найкращі результати було показано системою з чотирма вхідними змінними (час, температура, історичне споживання електричної енергії, генерація реактивної енергії), яка в результаті оптимізації нечітких правил механізму нечіткого вводу-виводу дозволило досягти значення середньої відсоткової похибки прогнозування на рівні 1,31%, та дає можливість для подальшої оптимізації системи прогнозування шляхом зміни вагових коефіцієнтів нечітких правил методами алгоритмів пошуку вирішення задач оптимізації.

**Ключові слова:** автоматизації, прогнозування, попит, електроенергія, енергетична біржа, нечітка логіка, похибка прогнозування.

**Грамм А.А., Савицкий А.И.** Автоматизированное управление энергетическими потоками горного предприятия с нечётким прогнозированием уровня потребления электрической энергии

**Цель.** Целью данной работы является моделирование и сравнение нейро-нечётких систем прогнозирования уровня потребления электрической энергии для определения зависимости между количеством входных переменных нейро-нечёткой системы и точностью прогнозирования и определения оптимальных параметров системы прогнозирования, которые обеспечат снижение средней процентной ошибки прогнозирования, что позволит совершить последующую оптимизацию системы прогнозирования путём изменения весовых коэффициентов нечетких правил для повышения качества автоматизированного управления энергетическими потоками горного предприятия.

**Методы исследования.** Для решения поставленной задачи в работе используются методы теории систем автоматического управления производством, методы оптимизации систем автоматического управления и методы нечеткой логики.

**Научная новизна.** В работе усовершенствовано нейро-нечеткую систему прогнозирования уровня потребления электрической энергии путём определения оптимального количества входных переменных системы и оптимизации нечетких правил механизма нечеткого ввода-вывода, что позволило уменьшить значение средней процентной ошибки прогнозирования на 1,06% в сравнении с существующими системами.

**Практическое значение.** Практическое значение работы состоит в разработке нейро-нечёткой системы прогнозирования уровня потребления электрической энергии, при использовании которой в условиях единого энергетического рынка приведёт к снижению затрат на энергоснабжение предприятия и позволит максимально уменьшить риски выхода уровня потребления энергии за объёмы заказа, и связанные с этим финансовые потери.

**Результаты.** Среди разработанных в этой работе нейро-нечётких систем прогнозирования уровня потребления электрической энергии самые лучшие результаты показаны системой с четырьмя входными переменными (время, температура, историческое потребление электрической энергии, генерация реактивной энергии) которая в результате оптимизации нечетких правил механизма нечеткого ввода-вывода позволило достичь значение средней процентной ошибки прогнозирования на уровне 1,31%, и позволяет произвести дальнейшую оптимизацию системы прогнозирования путём изменения весовых коэффициентов нечетких правил методами алгоритмов поиска решения задач оптимизации.

**Ключевые слова:** автоматизация, прогнозирование, спрос, электроэнергия, энергетическая биржа, нечеткая логика, ошибка прогнозирования

**Hramm O.O., Savytskyi O.I.** Automated management of energy flows of mining enterprise with fuzzy forecast of electric energy consumption level

**Purpose.** To simulate and compare neuro-fuzzy systems for predicting the level of electrical energy consumption to determine the relationship between the number of input variables of the neuro-fuzzy system and the accuracy of forecasting and determine the optimal parameters of the forecasting system that will reduce the average percentage forecast error, which will allow for subsequent optimization forecasting systems by changing weight coefficients of fuzzy rules to improve quality of automated control of the energy flows of the mining enterprise.

**Research methods.** To solve this problem, the methods of the theory of automatic production control systems, optimization methods of automatic control systems and methods of fuzzy logic are used.

**Scientific novelty.** The work improves the neuro-fuzzy system for predicting the level of electric energy consumption by determining the optimal number of input variables of the system and optimizing the fuzzy rules of the fuzzy I / O mechanism, which allowed us to reduce the value of the average percentage forecast error by 1.06% compared to existing systems.

**Practical value.** The practical significance of the work is to develop a neuro-fuzzy system for predicting the level of electric energy consumption, using it in a single energy market will reduce the cost of energy supply to the enterprise and will minimize the risks of exceeding the level of energy consumption beyond the volume of the order, and the associated financial losses.

**Results.** Among the neuro-fuzzy systems for predicting the level of electric energy consumption developed in this work, the best results are shown by a system with four input variables (time, temperature, historical electric energy consumption, reactive energy generation) which, as a result of optimization of fuzzy rules of the fuzzy input-output mechanism, made it possible to achieve the value of the average percentage forecasting error at the level of 1.31%, and allows further optimization of the forecasting system by changing the determination of weighted coefficients of fuzzy rules by methods of search algorithms for solving optimization problems.

**Key words:** automation, forecasting, demand, electricity, energy exchange, fuzzy logic, forecasting error.

**Збірник наукових праць**

*В і с н и к*

*Криворізького національного університету*

**Випуск 49**

Редактор, коректор  
Комп'ютерний набір, верстка

Наумова Н.В.  
Підпригора Н.П.

Здано в набір 23.12.19. Підписано до друку 27.12.19 за рекомендацією Вченої Ради  
ДВНЗ «Криворізький національний університет», протокол № 4 від 26.12.2019 року

Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 19,1. Тираж 100 прим.

**Замовл. № 11. Укр., рос.,англ.**

Надруковано:

ФОП Сінельников Дмитро Анатолійович  
Свідоцтво ДК № 6780 від 29.05.2019р.  
50050, м. Кривий Ріг, пр.Металургів, 30/49.  
тел. (067) 777-17-33

*Адреса видавництва:*

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

*ДВНЗ «Криворізький національний університет», 2019.  
Вип. 49, С. 3-167*