

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет

В і с н и к
Криворізького національного
університету

Збірник наукових праць

Випуск 50

Кривий Ріг 2020

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 № 50 рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет Вченою радою Криворізького національного університету (протокол № 7 від 14.05.2020 року).

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

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

Моркун В.С., Котов І.А. Формування оцінки економічної ефективності інтелектуалізації оперативного управління нормальним режимом енергосистеми на основі інкорпорації професійних онтологій	3
Чубаров В.А., Костенко В.В. Проблема некоректної комутації Ethernet кадрів у мережевих комутаторах рівня доступу	9
Фролов О.О., Пикало В.М. Удосконалення методики визначення раціонального діаметру свердловин для буропідричних робіт	15
Банах А. В., Полтавець М. О. Пріоритетний підхід до управління розвитком містобудівних систем	20
Marusenkova T. A gating algorithm with reduced computational complexity for linear Kalman filters in embedded systems	25
Хворост М. В., Воронов Р. В. Спостерігач стану тягової електромеханічної системи з двома асинхронними двигунами, що живляться від одного інвертора	31
Воденнікова О.С., Матяшева О.Б., Воденнікова Л.В., Бобошко Д.Ю. Дослідження теплофізичних властивостей компонентів шихти для виплавки малофосфористого шлаку	36
Сінчук О.М., Краснопольський Р.І., Бойко С.М. Аспекти формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації гірничорудних підприємств	41
Засельський В. Й., Швед С.В., Засельський І. В., Шепеленко М. І. Функціонування робочого органу змішувача при горизонтальному русі шару матеріалу на конвеєрі	45
Кравцова Д.Ю., Реброва С.В., Дубровський С.С. Методика та устаткування для дослідження полімерного композиційного матеріалу на стійкість абразивному зношуванню	50
Куліковська О. Є., Атаманенко Ю. Ю., Копайгора О. К. Результати аналізу базових функціональних характеристик мобільних додатків для землевпорядкування і кадастру	55
Моркун В.С., Кравченко О.М. Моделювання процесу очищення виробів складної конфігурації високоенергетичним ультразвуком	62
Kutova N.G., Shakhno A.Y., Demianenko K.O. Determination of the influence of factors on the state of personnel incentives of the industrial enterprises	68
Пахомов В.І., Гірін І.В., Гірін В.С. Дослідження та розробка заходів, спрямованих на зниження токсичності викидів промислового автотранспорту	73
Луценко С.А. Определение объемов ликвидации вскрышного отставания при изменении производительности карьера по руде	78
Римарчук Б.І., Шепель О.Л., Худик М.В. Про питання зниження гірничого тиску при випуску руди з обвалених блоків	82
Письменний С.В. Підвищення вмісту заліза в видобутій рудній масі при відпрацюванні багатих залізних руд в умовах розвитку гірського тиску	87
Федоренко П.Й., Долгих О.В., Долгих Л.В. Системи програм для опрацювання матеріалів зйомок кар'єру з БПЛА	93
Моркун В. С., Моркун Н. В., Тронь В. В., Гапоненко А. А., Гапоненко І. А., Паранюк Д. І. Аналіз процесу поширення ультразвукових хвиль в гірській породі для обґрунтування акустичного каротажу бурових свердловин	99
Шоповалова Н. Н., Рибальченко О. Г., Білашенко С. В., Сайтгареев Н. Х. Нейромережевий метод раннього виявлення DDoS-атак	106
Савельєв С.Г., Плотніков В.В., Бабаєвська О.В. Застосування електровпливу для ефективного дроблення матеріалів в умовах металургійної переробки	112
Zhosan A.A. The method of synthesizing a nonparametric discrete model of a blackbox-type dynamic object with the scalar input and output	118
Єфіменко Л.І., Тиханський М.П., Тиханська А.М. Автоматичне керування конвеєрними установками з адаптацією за технічним станом його обладнання	122
Турило А. А., Турило А. М. Процеси капіталізації, зростання ринкової вартості та інноваційності корпорації в аспекті значимості і впливу на них соціально-психологічного чинника (капіталу)	126
Пахомов В.И., Гирич И.В., Гирич В.С. Моделирование технологических процессов сервисного центра карьерных самосвалов с использованием программы ANYLOGIC	131
Саяпін В.Г., Кузнецов Д.І. Структура і архітектура системи керування та будови Microgrid з використанням джерел відновлювальної енергії	138
Сінчук І.О., Козакевич І.А., Барановська М.Л., Берідзе Т.М., Пересунько І.І. Превентивна оцінка і основні напрями підвищення енергоефективності підземних залізничних підприємств	142
Турило А.А., Ртищев С.А. Економічна оцінка вибору оптимального банку для кредитних та депозитних операцій у кризовий час	147

<i>Азарян А. А., Швец Д. В.</i> Гамма-излучение как источник информации для контроля содержания железа в железорудном сырье	153
<i>Губин Г.Г., Саитгареев Л.Н., Ярош Т.П.</i> Магнитные свойства и флокулообразование частиц железорудных минералов окисленных руд	159
<i>Вдовиченко І.Н.</i> Системний аналіз ClickHouse - колоночної СУБД для online обробки аналітичних запитів	165
<i>Горбачов Ю.Г., Хруцький А.О., Громадський А.С., Ліфенцов О.С.</i> Обґрунтування параметрів експериментального стенду для дослідження вібраційних машин та процесу вібротранспортування	169
<i>Буркова Л. А., Адамовська В. С., Ярова А. Б.</i> Територіальна громада як базовий суб'єкт місцевого самоврядування: тенденції розвитку та напрямки вдосконалення	173
<i>Лобов В. Й., Л Єфіменко І., Тиханський М.П.</i> Нечітке керування термічною обробкою залізрудних обкотишів у зоні висушування випалювальної машини конвеєрного типу	179
<i>Ковбик К.М.</i> Шляхи впровадження штучного зміцнення масиву гірських порід при розробці родовищ корисних копалин покладів криворізького залізрудного басейну, в умовах вторинного обводнення, як додатковий захід до дренажу на основі зарубіжного досвіду	186
<i>Зоценко М.Л., Михайловська О.В., Олексієнко О.Б.</i> Технологічне рішення утилізації відходів нафтогазового комплексу	190
АНОТАЦІЇ ..	
<i>А н о т а ц і ї</i>	195

УДК 004.89:620.91

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., І.А. КОТОВ, канд. техн. наук, доцент
Криворізький національний університет

ФОРМУВАННЯ ОЦІНКИ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ НОРМАЛЬНИМ РЕЖИМОМ ЕНЕРГОСИСТЕМИ НА ОСНОВІ ІНКОРПОРАЦІЇ ПРОФЕСІЙНИХ ОНТОЛОГІЙ

Метою статті є виклад практичних результатів оцінки економічної ефективності впровадження програмних засобів системи підтримки прийняття рішень (СППР) оперативно-диспетчерського персоналу (ОДП) електроенергетичної системи (ЕЕС). У статті розглянуті завдання комплексної оцінки середніх річних обсягів трудовитрат і фінансових витрат зміни ОДП для варіантів без використання і з використанням програмного комплексу СППР, проведений розрахунок економічної ефективності розробки і впровадження комп'ютерних засобів СППР в середу автоматизованої системи диспетчерського управління (АСДУ) ЕЕС, заснованих на використанні інкорпорації професійних онтологій. Проблема впровадження програмних засобів інтелектуалізації управління режимами ЕЕС є актуальною.

Методи дослідження полягають у використанні моделі впровадження і функціонування програмного комплексу СППР в середу діючої АСДУ ЕЕС. Розглянуто дві моделі оцінки економічної ефективності АСДУ – без використання СППР і з впровадженням інтелектуальних програмних засобів в апаратно-програмний оперативний інформаційно-управляючий комплекс (ОГУК) АСДУ.

Наукова новизна полягає в формалізації і використанні нових деталізованих критеріїв оцінки обсягів трудовитрат зміни ОДП, які дозволяють інтегрально оцінювати як часові, так і кількісні показники трудовитрат керуючого персоналу. Наочно показані зміни річних трудовитрат при впровадженні програмних засобів інтелектуалізації управління ЕЕС на основі інкорпорації професійних онтологій.

Практична значимість роботи полягає в формуванні комплексу кількісних показників трудових і фінансових витрат при реалізації інтелектуальних засобів підтримки керуючих рішень, що дає можливість практично оцінити економічну ефективність впровадження засобів СППР, заснованої на базі знань (БЗ) професійних онтологій диспетчерського управління.

Результати роботи полягають в оцінці витрат на впровадження СППР в середу АСДУ ЕС, розрахунку середніх річних обсягів трудовитрат зміни ОДП для варіантів без використання і з використанням програмного комплексу СППР, визначенні річних витрат автоматизованої обробки даних зміни ОДП для варіантів без використання і з використанням програмного комплексу СППР, розрахунку економічної ефективності розробки і впровадження комп'ютерних засобів СППР в середу діючої АСДУ ЕЕС, заснованих на використанні інкорпорації фахових онтологій.

Ключові слова: енергосистема, онтологія, база знань, інкорпорація, ефективність, управління, трудомісткість

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-3-9

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Для підвищення ефективності диспетчерського управління енергосистемою необхідна інтелектуалізація АСДУ шляхом впровадження засобів СППР. Очевидно, що ефективність СППР визначається ступенем скорочення періоду циклу управління. Ця обставина справедлива як для планових, так і для аварійних режимів. У зв'язку з цим необхідне використання методик оцінки економічної ефективності, адекватних зазначеним умовам. З урахуванням професійної області реалізації СППР (в даному випадку, - інтелектуалізації енергосистем), необхідно розглядати економічну ефективність впровадження комплексу для двох випадків – оперативного диспетчерського керування нормальними режимами ЕЕС і випадку ліквідації аварійних ситуацій.

Аналіз досліджень і публікацій. Згідно [1], економічна ефективність - це міра вигідності економічних витрат на створення і використання СППР. Економічна ефективність оцінюється зіставленням показників економічної результативності інформаційної системи, підсистеми або проекту з вартісними витратами на реалізацію цієї системи, підсистеми або проекту [2-5]. Конкретний метод розрахунку економічної ефективності, крім іншого, залежить від цілей аналізу і методу фінансування [6, 7]. Розгляд аспектів економіки інформаційних систем і предметної області завдань, що вирішуються в роботі, дозволив виділити підгрупу загальних методів для оцінки економічної ефективності СППР [2, 8]. Кожен метод обумовлює використання комплексу характерних метрик [9, 10]. На основі зазначених метрик конкретизувалися показники економічної ефективності СППР, заснованої на інкорпорації професійних онтологій, в середі АСДУ.

Постановка завдання. У роботі поставлені такі завдання: провести розрахунок комплексних витрат на розробку програмного комплексу СППР; оцінити витрати на впровадження СППР в середу діючої АСДУ ЕЕС; оцінити витрати при базовому варіанті управління режимом

ЕЕС – без використання програмного комплексу СППР; оцінити витрати при варіанті використання програмного комплексу СППР для інтелектуалізації управління режимом ЕЕС; визначити річні витрати автоматизованої обробки даних зміни ОДП для варіантів без використання і з використанням програмного комплексу СППР; зробити висновки щодо ефективності розробки і впровадження комп'ютерних засобів СППР в середу АСДУ ЕЕС, заснованих на використанні інкорпорації професійних онтологій.

Викладення матеріалу та результати. Витрати розподіляються по етапах життєвого циклу СППР і, в загальному випадку, включають в себе статті на розробку, впровадження, обладнання, налагодження, супровід, первинне заповнення бази та інші. За основу взяті дані досліджень порталів <https://dou.ua> і <https://jobs.dou.ua> по Україні для мови розробки C++ за 2019 рік. Наведемо результати розрахунків.

Витрати на оплату праці розробників, грн

$$C_{OT} = \sum_i \sum_j p_{ij} T_i K = 177959,00, \quad (1)$$

де p_{ij} – годинна ставка виконавця j -й категорії для i -го етапу робіт, грн/год; T_i – трудомісткість i -го етапу робіт, год; K – коефіцієнт збільшення зарплати $K = 1,7$.

Загальна трудомісткість проектування і впровадження склала $T_{np} = 342$, год.

Зробимо оцінку витрат на експлуатацію засобів розробки СППР. Для розробки досить одного робочого місця. Загальні вартісні витрати на електроенергію, грн

$$C_0 = C_{MЧ} \cdot T_{np} = t_0 \cdot P_{ПОМ} \cdot T_{np} = 153,90, \quad (2)$$

де $C_{MЧ}$ – вартість електроенергії за одну годину розробки системи, грн; T_{np} – час проектування, год; t_0 – вартість 1 кВт.г електроенергії, грн; $P_{ПОМ}$ – одинична споживана потужність робочого місця розробника, кВт.

Витрати на амортизацію, грн

$$C_A = a_c \cdot T_{np} = \frac{C_{ПОМ}}{N_{РЧ} \cdot N_{РД} \cdot N_{СЛ}} \cdot T_{np} = 855,00, \quad (3)$$

де a_c – годинна ставка амортизації, грн/год; $C_{ПОМ}$ – вартість одного робочого місця, грн; $N_{РЧ}$ – кількість робочих годин у зміні; $N_{РД}$ – кількість робочих днів в 2019 році в Україні; $N_{СЛ}$ – нормативну кількість років служби робочого місця, років.

Витрати на експлуатацію засобів розробки СППР, грн

$$C_{експ} = C_0 + C_A = 1008,90. \quad (4)$$

Загальна вартість витрат на розробку, грн

$$C_{\Sigma розр} = C_{OT} + C_{експ} = 178967,90. \quad (5)$$

Оцінимо витрати на впровадження СППР в середу діючої АСДУ. Витрати на установку, інсталяцію та адаптацію СППР в комплексі АСДУ, грн

$$C_U = k \cdot T_U \cdot p_A \cdot K = 408,00, \quad (6)$$

де k – кількість робочих місць; T_U – трудомісткість інсталяції та адаптації СППР, год; p_A – годинна ставка адміністратора СППР, грн/год; K – коефіцієнт збільшення зарплати, $K = 1,7$.

Вартість навчання оперативного диспетчерського персоналу енергосистеми, грн

$$C_{ОБ} = (N_{gr} \cdot p_{ОБ} + p) \cdot T_{ОБ} \cdot K = 1632,00, \quad (7)$$

де N_{gr} – кількість груп навчання; $p_{ОБ}$ – годинна ставка працівника, який проводить навчання, грн/год; p – годинна ставка працівника ОДП, що проходить навчання, грн/год; $T_{ОБ}$ – трудомісткість навчання персоналу ОДП, год.

Загальна вартість розробки і впровадження СППР складає, грн

$$C_{СППР} = C_{\Sigma розр} + C_U + C_{ОБ} = 181008,00. \quad (8)$$

Оцінимо витрати при базовому варіанті управління (без використання СППР) і варіанті після впровадження СППР. За основу візьмемо результати дослідження, проведеного безпосередньо на робочих місцях групи диспетчерів ЦДС Центральної ЕЕС [11]. Згідно [11], було обстежено 11 чоловіків у віці від 29 до 70 років. Дослідження проводились в штатній ситуації на початку і в кінці 12-годинної денної зміни за допомогою електроенцефалографічного комплексу NeuroCom Standard (ХАІ-медика, Харків).

Для числової оцінки трудовитрат ОДП використане формулювання отриманого і переробленого інформаційного сигналу, яке запропоновано в [11, 12]. В якості інформаційного сигналу

досліджуються слово, число, символ, мнемоніка, простий малюнок, проста схема і т.ін. [12].

Введемо наступні формальні критерії оцінки обсягів трудовитрат зміни ОДП: n_{on} – середня за зміну кількість операцій, шт.; n_s – кількість за зміну отриманих і перероблених інформаційних сигналів, у. о.; $t_{on/3m}$ – середня за зміну трудомісткість однотипної операції ОДП, год; $t_{lon/3m}$ – середня за зміну трудомісткість однієї операції ОДП, год; $d_{n/t} = n_{on}/12$ – середня за зміну інтенсивність операцій, шт./год⁻¹; $d_{s/t} = n_s/12$ – середня за зміну годинна щільність інформаційних сигналів, у.е./год; $d_{on/t} = n_{on/3m}/12$ – середня за зміну годинна щільність тривалості дій, год/год; $d_{t/s} = n_{on/cm}/n_s$ – середня за зміну, тривалість дій на один інформаційний сигнал, год/у.о.; $n_{on/200}$ – середня річна інтенсивність потоку операцій, шт./рік; $n_{s/200}$ – середня річна інтенсивність потоку отриманих і перероблених інформаційних сигналів, у. е./рік; $t_{on/200}$ – річна тривалість потоку дій ОДП щодо поточної операції, час/рік; $d_{s/on,200} = n_{s/200} / t_{on/200}$ – середня річна щільність інформаційних сигналів за часом поточної операції, у.о./рік.

В цілому прийнято: масштаб енергосистеми – Обленерго; кількість робочих циклів на рік (з урахуванням відпустки) – 68; кількість робочих змін в році – 136; робочих годин в році – 1632.

При аналізі враховується підмножина операцій і показників функціонування ОДП, що безпосередньо залежать від комп'ютерних засобів підтримки прийняття рішень.

Перш за все, виділимо характерні трудовитрати ОДП при управлінні і оперативному прийнятті рішень без СППР [11, 13, 14]. Зведемо їх в табл. 1.

Таблиця 1

Середні річні обсяги трудовитрат зміни ОДП (2 диспетчера) без використання СППР

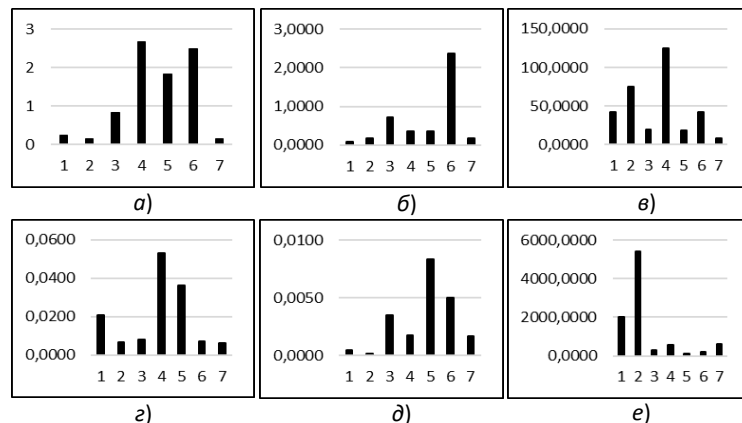
С _{оп}	n_{on}	n_s	$t_{on/cm}$	$t_{lon/cm}$	$d_{n/t}$	$d_{s/t}$	$d_{on/t}$	$d_{t/s}$	$n_{on/200}$	$n_{s/200}$	$t_{on/200}$	$d_{s/on,200}$
C1	1,00	500	0,2500	0,2500	0,0833	41,6667	0,0208	0,0005	136,00	68000,00	34,0000	2000,0000
C2	2,00	900	0,1667	0,0834	0,1667	75,0000	0,0069	0,0002	272,00	122400,00	22,6712	5398,9202
C3	8,72	240	0,8333	0,0956	0,7267	20,0000	0,0080	0,0035	1185,92	32640,00	113,3288	288,0115
C4	4,20	1500	2,6667	0,6349	0,3500	125,0000	0,0529	0,0018	571,20	204000,00	362,6712	562,4930
C5	4,20	220	1,8333	0,4365	0,3500	18,3333	0,0364	0,0083	571,20	29920,00	249,3288	120,0022
C6	28,40	500	2,500	0,0880	2,3667	41,6667	0,0073	0,0050	3862,40	68000,00	340,0000	200,0000
C7	2,15	100	0,1667	0,0775	0,1792	8,3333	0,0065	0,0017	292,40	13600,00	22,6712	599,8800

У табл. 1 прийнято наступне кодування операцій (дій) ОДП під час чергування (С_{оп}): C1 - Аналіз змісту заявочного комплексу; C2 - Аналіз мнемонічної схеми системи, добового графіка навантажень системи і режимів роботи обладнання системи; C3 - Аналіз рапортів операторів підприємств нижчого рівня; C4 - Підготовка режимних заходів, щодо відключення обладнання та допуску бригад для ремонту; C5 - Зняття ремонтних бригад з об'єктів, а також виконання відповідних режимних заходів; C6 - Контроль перепадів активної потужності, завантаження устаткування і потокорозподілу; C7 - Аналіз позапланових ситуацій, формування позапланових заявок. З табл. 1 слідує інтегральні за рік показники обсягів трудовитрат зміни ОДП за видами характерних операцій без використання комп'ютерних засобів підтримки прийняття рішень

$$n_{s/200} = 538560.0000, \text{ у.о./рік}; t_{on/200}^{\Sigma} = 1144.6712, \text{ год/рік}; d_{s/on,200}^{\Sigma} = 470.4932, \text{ у.о./рік}.$$

Розподіл показників за видами операцій без використання СППР приведено на рис. 1.

Рис. 1. Розподіл показників трудовитрат зміни ОДП за видами операцій без використання комп'ютерних засобів підтримки прийняття рішень: а – середня за зміну трудомісткість однотипної операції ОДП, б – середня за зміну інтенсивність операцій, в – середня за зміну годинна щільність інформаційних сигналів, г – середня за зміну годинна щільність тривалості дій, д – середня за зміну, тривалість дій на один інформаційний сигнал, е – середня річна щільність інформаційних сигналів за часом поточної операції



У табл. 2 наведені обсяги трудовитрат зміни ОДП з використанням комп'ютерних засобів підтримки прийняття рішень на основі онтологій.

Середні річні обсяги трудовитрат зміни ОДП (2 диспетчера) з використанням СППР

C_{OP}	n_{on}	n_s	$t_{on/зм}$	$t_{1on/зм}$	$d_{n/t}$	$d_{s/t}$	$d_{on/t}$	$d_{t/s}$	$n_{on/год}$	$n_{s/год}$	$t_{on/год}$	$d_{s/on, год}$
C1	1,00	420	0,1400	0,1400	0,0833	35,0000	0,0117	0,0003	136,00	57120,00	19,0400	3000,0000
C2	2,00	580	0,0850	0,0425	0,1667	48,3333	0,0035	0,0001	272,00	78880,00	11,5600	6823,5294
C3	8,72	240	0,8333	0,0956	0,7267	20,0000	0,0080	0,0035	1185,92	32640,00	113,3288	288,0115
C4	4,20	850	1,1100	0,2643	0,3500	70,8333	0,0220	0,0013	571,20	115600,00	150,9600	765,7658
C5	4,20	180	1,2400	0,2952	0,3500	15,0000	0,0246	0,0069	571,20	24480,00	168,6400	145,1613
C6	28,40	220	1,2500	0,0440	2,3667	18,3333	0,0037	0,0057	3862,40	29920,00	170,0000	176,0000
C7	2,15	35	0,0533	0,0248	0,1792	2,9167	0,0021	0,0015	292,40	4760,00	7,2488	656,6604

З табл. 2 слідує інтегральні за рік показники обсягів трудовитрат зміни ОДП за видами характерних операцій з використанням комп'ютерних засобів підтримки прийняття рішень,

$$n_{s/год}^{\Sigma} = 343400.0000, \text{ у.о./рік}; t_{on/год}^{\Sigma} = 640.7776, \text{ год/рік}; d_{s/on, год}^{\Sigma} = 535.9114, \text{ у.о./рік}.$$

Розподіл показників за видами операцій з використанням комп'ютерних засобів підтримки прийняття рішень приведено на рис. 2.

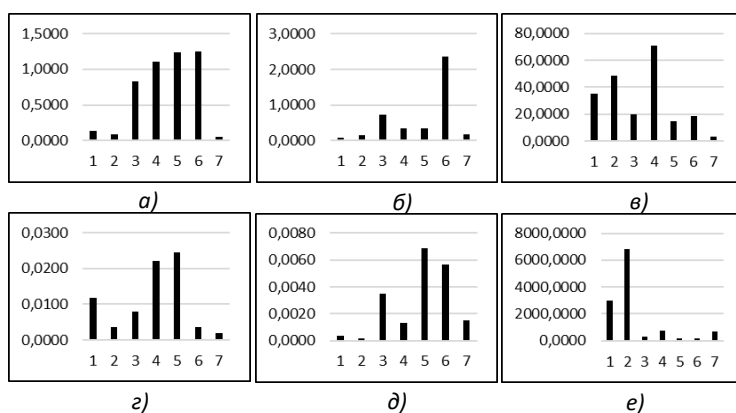


Рис. 2. Розподіл показників трудовитрат зміни ОДП за видами операцій з використанням комп'ютерних засобів підтримки прийняття рішень (розшифровка рисунків а – е аналогічна рис. 1)

Оцінимо економічний ефект від впровадження засобів СППР, приведений до одного року для зміни ОДП. Трудовитрати будемо оцінювати в кількості оброблюваних умовних одиниць інформаційних сигналів. Врахуємо, що в контексті цієї роботи, після впровадження СППР в середу АСДУ під інформаційним сигналом необхідно розуміти атомарний концепт онтологічної бази даних. Скористаємося наступними виразами.

Загальні часові операційні трудовитрати зміни ОДП, год.

$$T_{on} = \sum_{j=1}^{N_{gp}} \sum_{i=1}^{N_{on}} t_{onij}, \quad (9)$$

де t_{onij} – часові трудовитрати на i -у операцію в j -ої групі операцій; N_{on} – кількість операцій в поточній групі операцій; N_{gp} – кількість груп операцій.

Витрати на оплату праці зміни ОДП, грн

$$C_{mp} = p \cdot T_{on} \cdot (1+k), \quad (10)$$

де p – тарифна ставка виконавця (зміна ОДП), приведена до однієї години, грн; k – коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальне страхування, непрямі і накладні витрати ($k = 0,7$).

Вартість амортизації засобів автоматизації діяльності ОДП, грн

$$C_A = \alpha \cdot T_{on}, \quad (11)$$

де α – годинна норма амортизації ($\alpha = 1,3333$), грн

Вартість автоматизованої обробки даних, грн

$$C_{ao} = c_{ao}^{\Sigma} \cdot T_{on}, \quad (12)$$

де $c_{ao}^{\Sigma} = 3,3833$, грн.

Загальні річні витрати зміни ОДП на обробку даних, грн

$$C_{zag} = C_{mp} + C_A + C_{ao}. \quad (13)$$

Зробимо оцінку річних витрат на автоматизовану обробку даних зміною ОДП за базовим варіантом і варіантом з впровадженням та використанням комп'ютерних засобів розробленої СППР. Результати розрахунків зведені в табл. 3 і в табл. 4.

Таблиця 3

Річні витрати автоматизованої обробки даних зміни ОДП без використання СППР

C_{OP}	$N_{on/200}$	$N_{s/200}$	$T_{lon/cm}$	$d_{on/t}$	$d_{s/on,200}$	T_{on}	C_{mp}	C_A	C_{ao}	$C_{заг}$
C1	136	68000	0,25	0,02	2000,0000	34,00	7649,83	45,33	115,03	7810,19
C2	272	122400	0,17	0,01	5398,9202	22,67	5100,91	30,23	76,70	5207,84
C3	1185,92	32640	0,83	0,01	288,0115	113,33	25498,41	151,10	383,43	26032,94
C4	571,2	204000	2,67	0,05	562,4930	362,67	81599,21	483,55	1227,03	83309,78
C5	571,2	29920	1,83	0,04	120,0022	249,33	56097,73	332,43	843,55	57273,72
C6	3862,4	68000	2,50	0,01	200,0000	340,00	76498,30	453,32	1150,32	78101,94
C7	292,4	13600	0,17	0,01	599,8800	22,67	5100,91	30,23	76,70	5207,84
Разом	6891,12	538560	-	-	-	1144,67	-	-	-	262944,25

Таблиця 4

Річні витрати автоматизованої обробки даних зміни ОДП з використанням СППР

C_{OP}	$N_{on/200}$	$N_{s/200}$	$T_{lon/cm}$	$d_{on/t}$	$d_{s/on,200}$	T_{on}	C_{mp}	C_A	C_{ao}	$C_{заг}$
C1	136,00	57120,00	0,14	0,01	3000,0000	19,04	4283,90	25,39	64,42	4373,71
C2	272,00	78880,00	0,04	0,00	6823,5294	11,56	2600,94	15,41	39,11	2655,47
C3	1185,92	32640,00	0,10	0,01	288,0115	113,33	25498,41	151,10	383,43	26032,94
C4	571,20	115600,00	0,26	0,02	765,7658	150,96	33965,25	201,27	510,74	34677,26
C5	571,20	24480,00	0,30	0,02	145,1613	168,64	37943,16	224,85	570,56	38738,56
C6	3862,40	29920,00	0,04	0,00	176,0000	170,00	38249,15	226,66	575,16	39050,97
C7	292,40	4760,00	0,02	0,00	656,6604	7,25	1630,94	9,66	24,52	1665,13
Разом	6891,12	343400	-	-	-	640,78	-	-	-	147194,04

На основі даних табл. 3 і табл. 4 оцінимо динаміку показників трудовитрат ОДП без впровадження і з використанням СППР в нормальних умовах роботи. Ілюстрації наведені на рис. 3.

Рис. 3. Порівняльні діаграми динаміки показників трудовитрат ОДП при використанні СППР в нормальних умовах роботи: *a* – середня річна інтенсивність потоку отриманих та перероблених інформаційних сигналів, *б* – середня за зміну годинна щільність тривалості операцій, *в* – середня за зміну трудомісткості однієї операції ОДП, *г* – загальні річні витрати зміни ОДП на обробку даних

Як видно з рис. 3, впровадження та використання СППР призводить до скорочення трудовитрат зміни ОДП (рис. *a* і *б*, значного скорочення вартісних витрат – *в* і підвищення середньої річної щільності оброблюваних інформаційних сигналів по поточних операціях – *г*). Оцінимо економічну ефективність впроваджуваних засобів СППР. Для цієї мети розрахуємо трудові і вартісні показники ефективності впровадження комп'ютерних засобів СППР [15, 16].

Абсолютне зменшення вартісних витрат, грн

$$\Delta C = C_1 - C_2 = 115750,21. \quad (14)$$

Коефіцієнт відносного зниження вартісних витрат, %

$$K_C = \frac{\Delta C}{C_1} 100\% = \frac{115750,21}{262944,25} 100\% = 44,02. \quad (15)$$

Індекс зниження вартісних витрат

$$I_C = \frac{C_1}{C_2} = \frac{262944,25}{147194,04} = 1,79. \quad (16)$$

Термін окупності впровадження комп'ютерної системи СППР, років

$$T_{ок} = \frac{C_{СППР}}{\Delta C} = \frac{181008,00}{115750,21} = 1,5638. \quad (17)$$

Розрахунковий коефіцієнт ефективності

$$E_p = \frac{1}{T_{ок}} = \frac{1}{1,5638} = 0,6395. \quad (18)$$

Отримані розрахункові дані дозволяють зробити наступні висновки про ефективність розробки та впровадження комп'ютерних засобів СППР, заснованих на використанні інкорпорації професійних онтологій. Результати досліджень дозволяють знизити трудові і вартісні витрати в розрахунку на одну зміну ОДП в 1,8 рази, домогтися абсолютного скорочення вартісних витрат на 116000 грн на рік, скоротити час виконання типових операцій і підняти продуктивність праці майже в 2 рази. Програмна інновація характеризується коротким терміном окупності і високим коефіцієнтом ефективності – 0,64 при нормативному 0,1 – 0,33. Отже, є очевидною економічна доцільність впровадження СППР в середовище АСДУ в нормальних режимах роботи ЕЕС.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Запропоновано спосіб формування оцінки економічної ефективності інтелектуалізації оперативного управління нормальним режимом енергосистеми на основі інкорпорації професійних онтологій. Сформульовано основні аналітичні показники середніх річних обсягів трудовитрат зміни ОДП. Зроблено розрахунок основних економічних показників оцінки економічної ефективності впровадження програмного комплексу СППР, заснованого на інкорпорації професійних онтологій, в середу діючої АСДУ.

Напрямок подальших досліджень полягає в дослідженні економічної ефективності використання СППР для управління режимом ЕЕС в аварійних ситуаціях. Планується розробка моделі БЗ для можливості програмування її взаємодії з енергооб'єктами в режимі реального часу.

Список літератури

1. **Васильків Н.М.** Опорний конспект лекцій з дисципліни “Ефективність інформаційних систем” з освітньо-кваліфікаційного рівня “Спеціаліст” для спеціальності “Економічна кібернетика” / Н.М. Васильків – Тернопіль: Економічна думка – 2005 – 98 с.
2. **Рыжко А.Л.** Экономика информационных систем: учебное пособие / А.Л. Рыжко, Н.М. Лобанова, Н.А. Рыжко, Е.О. Кучинская – М.: Финансовый университет, 2014. – 204 с.
3. **Липаев В.В.** Техничко-экономическое обоснование проектов сложных программных средств: серия "Управление качеством" / В.В. Липаев – М.: СИНТЕГ – 2004 – 270 с.
4. **Липаев В.В.** Экономика производства программных продуктов: изд. 2-е. / В.В. Липаев. — М.-Берлин: Директ-Медиа – 2015 – 460 с.
5. **Липаев В.В., Потапов А.И.** Оценка затрат на разработку программных средств / В.В. Липаев, А.И. Потапов – М.: Финансы и статистика – 1988 – 224 с.
6. **Рыжко А.Л.** Экономика отрасли информационных систем: учеб. пособие для СПО / А.Л. Рыжко, Н.А. Рыжко, Н.М. Лобанова, Е.О. Кучинская – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт – 2019 – 176 с.
7. **Меняев М.Ф.** Информационный менеджмент: учебник / М.Ф. Меняев – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана – 2017 – 301 с.
8. **Горюнова В.В.** Оценка системы поддержки принятия решений для управления логистикой МЧС // В.В. Горюнова – Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности" – № 1 (65) – 2016 [URL: <http://ipb.mos.ru/ttb/>]
9. **Бунова Е.В., Буслаева О.С.** Оценка эффективности внедрения информационных систем // Е.В. Бунова, О.С. Буслаева – Вестник АГТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика – 2012 – № 1 – С. 158 – 164
10. ISO/IEC 25010:2011 [ISO/IEC 25010:2011] Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models – Technical Committee: [ISO/IEC JTC 1/SC7](https://www.iso.org/standard/55861.html) Software and systems engineering – 2011 – 34 p.
11. **Сна Т.А., Кальниш В.В., Кудієвський Я.В.** Гігієнічна і психофізіологічна оцінка професійної діяльності диспетчерів енергосистем при аварійній ситуації // Т.А. Сна, Кальниш В.В., Кудієвський Я.В. – Державна установа «Інститут медицини праці ім. Ю.І. Кундієва НАМН України» – 1(17) – Київ – 2009 – С. 42 – 48
12. **Сна Т.А.** Гігієнічна і психофізіологічна оцінка професійної діяльності диспетчерів енергосистем // Сна Т.А. – Державна установа «Інститут медицини праці ім. Ю.І. Кундієва НАМН України» – 1(13) – Київ – 2008 – С. 13 – 19
13. **Меркурьев Г.В.** Оперативно-диспетчерское управление энергосистемами: Методическое пособие / Г.В. Меркурьев – СПб.: Центр подготовки кадров энергетики – 2002 – 117 с.
14. **Сна Т.А., Кальниш В.В.** Професійно важливі якості диспетчерів енергосистем // Т.А. Сна, В.В. Кальниш – Державна установа «Інститут медицини праці ім. Ю.І. Кундієва НАМН України» – 4(24) – Київ – 2010 – С. 11 – 20
15. **Смирнова Г.Н., Сорокин А.А., Тельнов Ю.Ф.** Проектирование экономических информационных систем: Учебник/ Г.Н. Смирнова, А.А. Сорокин, Ю.Ф. Тельнов – Под ред. Ю.Ф. Тельнова – М.: Финансы и статистика – 2002 – 512 с.
16. **Анисифоров А.Б., Анисифорова Л.О.** Методики оценки эффективности информационных систем и информационных технологий в бизнесе: Учебное пособие / А.Б. Анисифоров, Л.О. Анисифорова – СПб.: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет – 2014 – 97 с.

УДК 004.77

В.А. ЧУБАРОВ^{*}, канд. техн. наук, доц., В.В. КОСТЕНКО, аспірант
Криворізький національний університет

ПРОБЛЕМА НЕКОРЕКТНОЇ КОМУТАЦІЇ ETHERNET КАДРІВ У МЕРЕЖЕВИХ КОМУТАТОРАХ РІВНЯ ДОСТУПУ

Метою роботи є мінімізація впливу помилкової комутації Ethernet кадрів мережеских комутаторів на якість обслуговування абонентів та автоматизація процесу виявлення моментів, коли в Ethernet комутаторі виникає hash conflict.

Методи дослідження. В представленій роботі виконано детальний технічний аналіз факторів і умов, які впливають на ефективність комутації Ethernet кадру в комутаційній матриці. На основі експерименту доведено, що у результаті помилкової комутації відбуваються втрати Ethernet кадрів, інформація потрапляє в інший порт абонента, що викликає спрацювання комерційного обмеження, яке накладається на порт, з урахуванням обраного абонентом тарифного плану, а також зниження якості обслуговування сервісу, який надається абоненту.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає в тому, що даний метод дозволить мінімізувати вплив помилкової комутації без фізичної перебудови топології діючої комп'ютерної мережі і заміни частини, або усього мережевого обладнання як рівня доступу, також і рівня агрегації. Додаткові фінансові витрати на придбання обладнання при цьому не передбачені.

Практична значимість. Виключення ймовірності втрати пакетів в комутаторі через помилкове потрапляння не запитаної інформації в порт абонента, в результаті чого могла відбуватись деградація якості обслуговування абонентів.

Результати. На підставі виконаних досліджень та встановлених залежностей запропонована організація поділу, сегментування і логічної ізоляції абонентського трафіку, який може потрапляти в абонентські порти в разі помилкової комутації Ethernet кадрів. Одночасно з моніторингом бази даних завантаження портів, було ухвалено рішення включення команди show flood_fdb у базу даних подій. Таким чином, щоразу, коли комутатор сам у себе своїми засобами виявляє конфлікт hash, у базу даних потрапляє й фіксується ця подія. Це дозволяє автоматизувати процес виявлення моментів, коли в комутаторі виникає hash conflict.

Ключові слова. Ethernet кадр, MAC-адреси, hash конфлікт, комутаційна матриця.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-9-15

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сутність проблеми в тому, що відбувається некоректна комутація Ethernet кадру через hash конфлікт у комутаційній матриці. Конфлікт hash виникає тоді, коли через організацію внутрішньої логіки комутатора деякі MAC-адреси вважаються рівними один одному. У результаті такої "помилки" у таблицю комутації попадає тільки перший MAC, а кадри, призначені конфліктуючим MAC, поширюються по всій мережі. Уперше цей конфлікт, і його наслідки були помічені у провайдерських мережеских структурах рівня доступу ще в 2010-2012 роках. Деяким системним адміністраторам проблема вже була відома і вирішувалася вона різними способами. На офіційному форумі технічної підтримки комутаторів D-Link є коментар, який містить технічні подробиці цієї проблеми [1]. В даній статті описано природу та проблематику цього явища і запропонований варіант зменшення впливу цієї проблеми на якість обслуговування рівня доступу.

Аналіз досліджень і публікацій. У роботах [6-9] висвітлюється дана проблема й наводяться деякі варіанти її вирішення. При тому як шляхом зміни алгоритмів хешування, так і шляхом зміни алгоритмів прийняття рішень. Проведено дослідження, що спрямовані на оптимізацію алгоритмів фільтрації кадрів. У статті [11] доводиться, що розвиток методів і алгоритмів фільтрації трафіку в міжмережеских мостах і комутаторах є актуальною як з практичної, так і з теоретичної точки зору. Всі дослідження в вищенаведених матеріалах, звичайно ж, або мінімізують проблему, або повністю її усувають, але при цьому з точки зору практики, жоден з методів не може бути реалізованим. Причини в наступному - при вирішенні проблеми хешування пропонується змінити його алгоритм і при цьому практична частина передбачає розробку принципово нового чіпа ASIC, і в роботі це реалізовано на ПЛІС. Якщо такий метод реально застосувати на практиці, при тому як на проектованій мережі, так і на діючій, то на проектованій доведеться замовляти мережеве обладнання з чіпами, де алгоритм вже реалізований. З урахуванням індивідуальних розробок це є економічно не вигідним, та й не виключено, що в даному алгоритмі відсутні інші, ще більш серйозні помилки. На реально діючій мережі (не в лабораторних умовах) при високих навантаженнях і індивідуальних особливостях, тестування не проводилося. А в разі застосування на діючій мережі, це взагалі не піддається реалізації ніяк, тому, що в цьому

випадку, виникає необхідність повної заміни обладнання на всіх мережних рівнях. А це неможливо з багатьох причин. Пропонований метод *vlan per user*, хоч і не усуває проблему повністю, а тільки зменшує вплив хибних комутацій Ethernet кадрів, за те його впровадження, не передбачає заміну обладнання, а лише передбачає перестроювання логічної топології.

Постановка завдання. Основним показником продуктивності комутаторів є кількість оброблених кадрів в одиницю часу і час затримки кадру. Кадри, які надходять в один порт Ethernet комутатора, повинні передаватися в інший порт тільки в тому випадку, якщо вони призначені для мережі, підключеної до іншого порту. Трафік, тобто Ethernet кадри, призначені для мережі, яка підключена до інших абонентських портів, не повинні туди потрапляти. У разі, коли Ethernet комутатор застосовується на рівні доступу в Інтернет сервіс провайдерів, то обов'язково присутня комерційна складова, а саме: на кожен порт комутатора накладається обмеження за кількістю переданої інформації за одиницю часу. У тому разі, якщо відбулася помилкова комутація Ethernet кадру, інформація потрапляє в інший порт абонента, що може викликати спрацювання комерційного обмеження, яке накладається на порт, з урахуванням обраного абонентом тарифного плану. Це в свою чергу може викликати втрату пакету тієї корисної інформації, яку абонент отримував на момент помилкової комутації Ethernet кадру з метою економії фізичної пам'яті таблиці MAC адрес в мережних комутаторах, MAC адреса потрапляючи в комутатор в складі ethernet кадру, не записується і не зберігається в пам'яті в тому вигляді як є, а зберігаються тільки деякі hash функції які обчислюються на основі MAC адреси і VLAN. Чіп-сети всіх сучасних моделей схильні до цієї проблеми. Оскільки основних виробників присутній всього два: Broadcom і Marvell, то у багатьох вендорів виникає вказана проблема в тій чи іншій мірі на різних серіях комутаторів. І повністю усунути цю проблему можна тільки розробкою по суті нового чіпа, з повною переробкою всього апаратного та схематичного рішення всіх комутаторів. Це призведе до чималого подорожчання отриманого пристрою. Тому завдання в тому, що б не усувати hash конфлікт, а мінімізувати його вплив на продуктивність і якість обслуговування комп'ютерної мережі в цілому, застосувавши розподіл підключених мережних пристроїв на частини, аж до *vlan per user*.

Викладення матеріалу та результати. Проблема "конфлікту hash" на мережних комутаторах D-Link рівня доступу.

Причина "конфлікту MAC". У пам'яті комутатора MAC-адреси не зберігаються у своєму натуральному вигляді. Зберігаються лише деякі значення hash-функції, обчислені на основі MAC і VLAN[3]. Виглядає це приблизно так: $val1 = \text{hashfunc}(\text{mac1} + \text{vlan1})$. Інший запис для іншої пари mac2 і vlan2 буде, відповідно, $val2 = \text{hashfunc}(\text{mac2} + \text{vlan2})$.

На рис 1. наведена схема для більш детального розуміння причини "конфлікту MAC" у пам'яті комутатора.

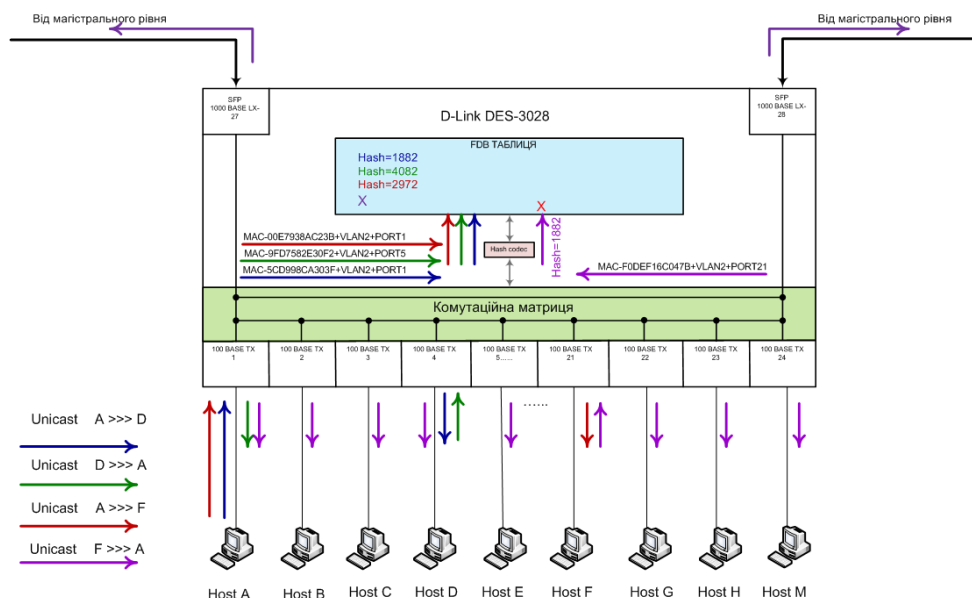


Рис 1. Схема комутатора для більш детального розуміння причини "конфлікту MAC" у пам'яті FDB таблиці

При цьому для зберігання подібних значень пам'ять виділяється в умовах найсуворішої економії. Із цього випливає, що унікальність кожного запису реалізована з деякими допущеннями. Тому ймовірність того, що val2 буде рівно val1 суттєво відрізняється від нуля. Якщо таке відбувається, то mac2 вважається рівним mac1. Із усіх таких MAC-адрес комутатором буде вивчений тільки перший, тому що відмінностей між ними комутатор не бачить.

З модельного ряду D-Link моделі в порядку убудування ймовірності конфлікту можна розташувати так:

DES-3028 (чипсет BCM 5347), DES-1228/ME/A1 (чипсет BCM 5347, апаратний аналог 3028);

DES-3200-28/A1/B1 (чипсет BCM 53262), DES-1228/ME/B1 (чипсет BCM 53262), DES-1210-28/ME/B2 (чипсет BCM 53262);

DES-3528, DES-3526;

DES-3200-28/C1.

Можливо, варто було б помістити серію 35xx і 3200-28/C1 в один ряд, але точних описаних даних у літературі знайти не вдалося.

Офіційні коментарі від інженерів D-Link говорять, що чипсети всіх сучасних моделей піддаються даним проблемам. Оскільки основних виробників усього два: Broadcom і Marvell, то в багатьох вендорів спостерігається дана проблема тією чи іншою мірою на різних серіях комутаторів. Чипсети минулих моделей, мали 2-х рівневий хеш, а не однорівневий як нові, тому на них практично відсутня дана проблема, на що вказують тести вендора D-Link. Виробники чипсетів збільшили швидкість роботи FDB(Forward DataBase) таблиці, але як побічний ефект одержали проблему з хешами. Також багато чого залежить від того, як реалізована пам'ять під FDB таблицю й скільки біт відпущене під один хеш запис.

Наявність проблеми хешування MAC зовсім не говорить про те, що дану модель застосувати неможливо. Кожна модель комутатора має свою маркетингову нішу й припускає її правильне використання. Наприклад моделі DES-3028 і DES-3200 більшою мірою розраховані на використання з операторською моделлю QinQ. Модель DES-3528 розрахована на корпоративний сегмент, де ціна встаткування має менше значення ніж необхідний функціонал. Модель Des-1210-xx розрахована на використання з операторською моделлю без QinQ.

Як видно із проведених тестів [3] у моделі DES-3028 найнижча стійкість хеш функції до довгих послідовностей (найбільший відсоток колізій утворених хешей), тому при використанні даної конкретної моделі було рекомендовано уникати їх багатокаскадних послідовних з'єднань. В інших моделях дана проблема відсутня.

При експлуатації даних комутаторів, підтверджується, що на моделі DES-3028 проблема виражена гостро, на DES-3200-28/A1/B1 - проблема проявляється менше, а на інших моделях (з перерахованих) може бути помічена тільки при явно помилковому проектуванні мережі.[9]

Діагностика й виявлення проблеми.

а) Пристрій у мережі доступний, MAC-адреса коректна (див. біт для групового розсилання), але на порту не виявляється.

б) За допомогою спеціального функціонала enable flood_fdb. Комутатор почне стежити за MAC-адресами й вести в пам'яті копію (тобто цей функціонал - винятково моніторинг) конфліктів. Переглянути таблицю конфліктів можна командою show flood_fdb, приклад виконання якої наведений у таблиці 1.

Таблиця 1

Приклад show flood_fdb - конфлікт FDB

Value	VLAN ID	MAC Address	Time Stamp
3865	24	00-22-B0-04-6A-17*	9978796
3865	1511	00-1A-79-11-85-E4	9978796
2438	115	00-D0-5C-78-2D-70	2716954

Однакове value указує на конфлікт. Зірочка говорить про те, що MAC-адреса присутня у таблиці комутації. Таким чином, "проблемним" у даному прикладі є MAC 00-1A-79-11-85-E4.

В DES-3200-28/C1 такого механізму немає, тому що вважається, що дана модель не піддана проблемі "конфлікт hash".

Наслідки й варіант розв'язку конфлікту MAC-адреси. Самою очевидною проблемою, звичайно ж, буде відсутність усіх "пересічних" MAC-адрес у таблиці комутації. При одержанні кадра, адресованого такому MAC-у, комутатор не зможе визначити порт призначення DLF (Destination Lookup Failure) і кадр буде відправлений в усі порти, які є учасниками даного VLAN, крім того у порт, звідки даний кадр був отриманий. Тим самим комутатор (світч) перетворюється в концентратор (хаб), тобто не справляється зі своїм основним завданням - комутацією трафіка. Чим більше пересічних MAC-адрес у мережі, тим більше зайвого трафіка по ній переміщається. Якщо трафік поширюється на абонентів, які оплачують різні тарифні плани, то у випадку "конфлікту hash" трафік абонента з більшою смугою, потрапить у порт абонента з меншою смугою. Частина кадрів при такій ситуації може втрачатися й кінцевий споживач не одержує необхідну якість надаваного сервісу.

Це й було виявлено засобами моніторингу навантаження на абонентські порти рівня доступу. Скрін навантаження абонентського комутатора, де зіставлені графіки завантаження портів у момент проблеми, надано на рис 2.

З рис 2. видно, що в моменти часу з 4 до 6 ранку, з 12:00 по 12:15 а так само з 14:00 по 14:15 трафік у всіх графіках ідентичний по своїй структурі. Отже, природа виникнення цього трафіка є саме конфлікт hash MAC-адрес на комутаторі рівня доступу.

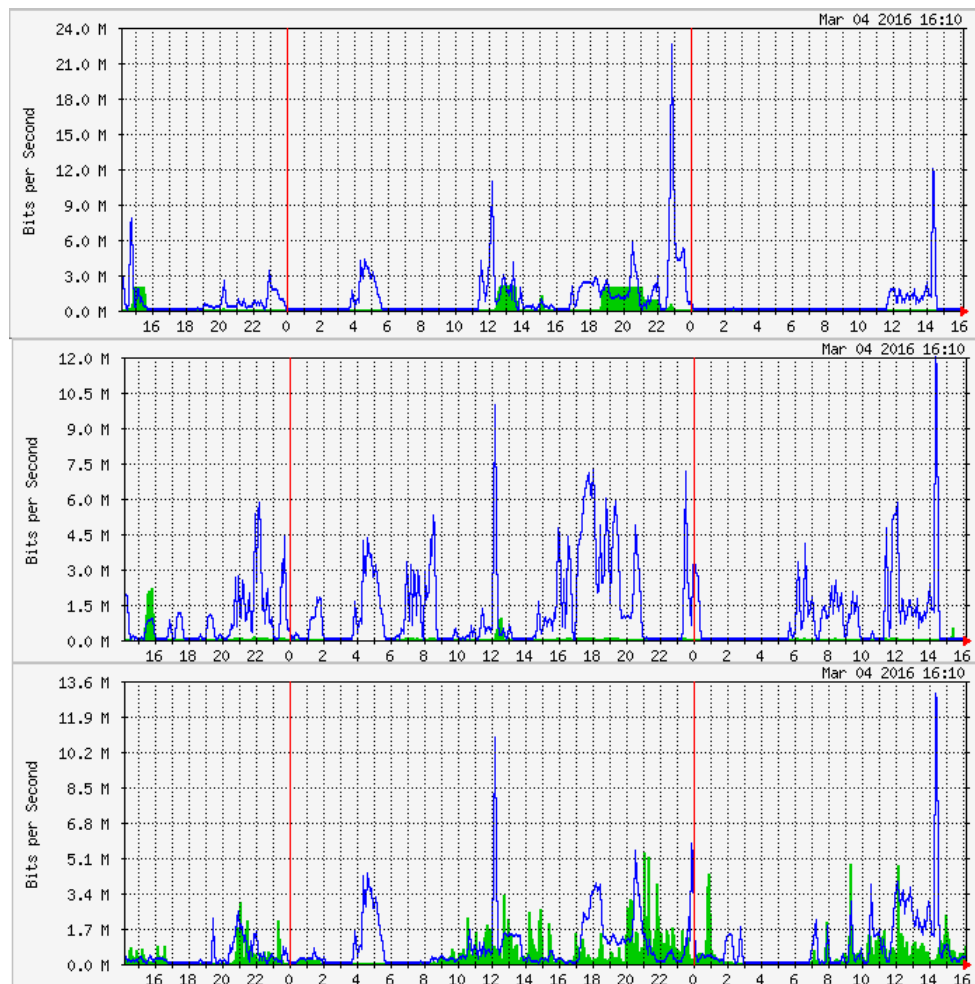


Рис 2. Графіки завантаження портів у момент проблеми конфлікту hash

Одночасно з моніторингом бази даних завантаження портів, було ухвалене рішення включення команди `show flood_fdb` у базу даних подій.

Таким чином, щоразу коли комутатор сам у себе своїми засобами виявляє конфлікт hash, у базу даних попадає й фіксується ця подія. На рис 3. зображений фрагмент інформації з фіксації конфлікту hash засобами самого комутатора і поява запису про цей конфлікт в базі даних подій комутатора.

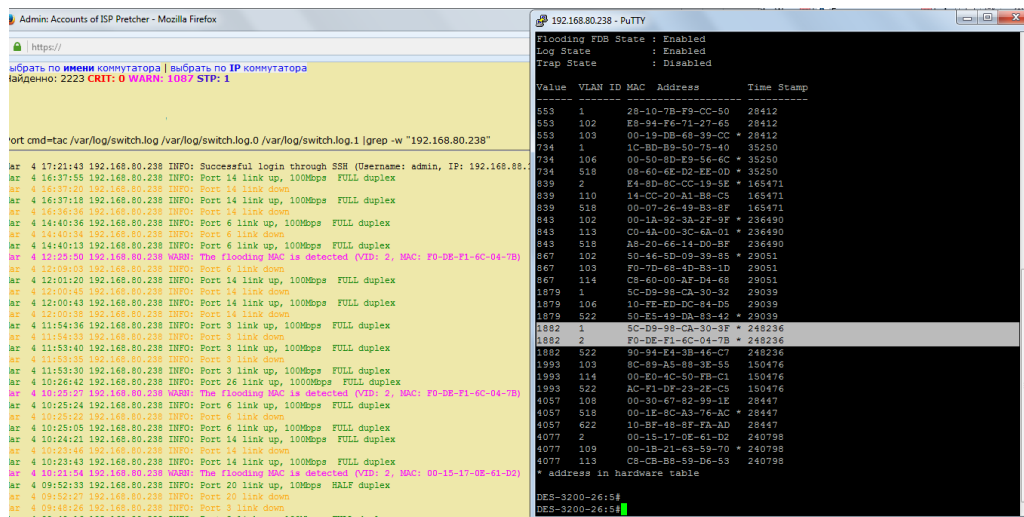


Рис 3. Фрагмент інформації з фіксації конфлікту hash засобами самого комутатора і поява його в базі даних подій

При детальному аналізі й зіставленні отриманих фактів, удалось з'ясувати, що час на графіках завантаження портів у момент проблеми збігається із часом у таблиці подій. У такий спосіб вдається знаходити мережні пристрої, яких з'являються конфлікти hash.

Як варіант розв'язку, пропонується зменшити вплив конфлікту на якість надаваного сервісу. Пропонується фізичне виключення проблемних комутаторів з кільцевої топології й включення їх по окремому фізично незалежному оптичному лінку. А у випадку неможливості такого розв'язку або відсутності вільних волокон, пропонується сегментація мережі на Vlan-и меншого розміру, аж до vlan-per-user. Широкомовний домен при цьому поменшається, кількість переданого по мережі трафіка теж. На рисунку 4 наведена схема зміненої фізичної топології мережі рівня доступу з метою мінімізації конфлікту hash на якість надаваного сервісу.

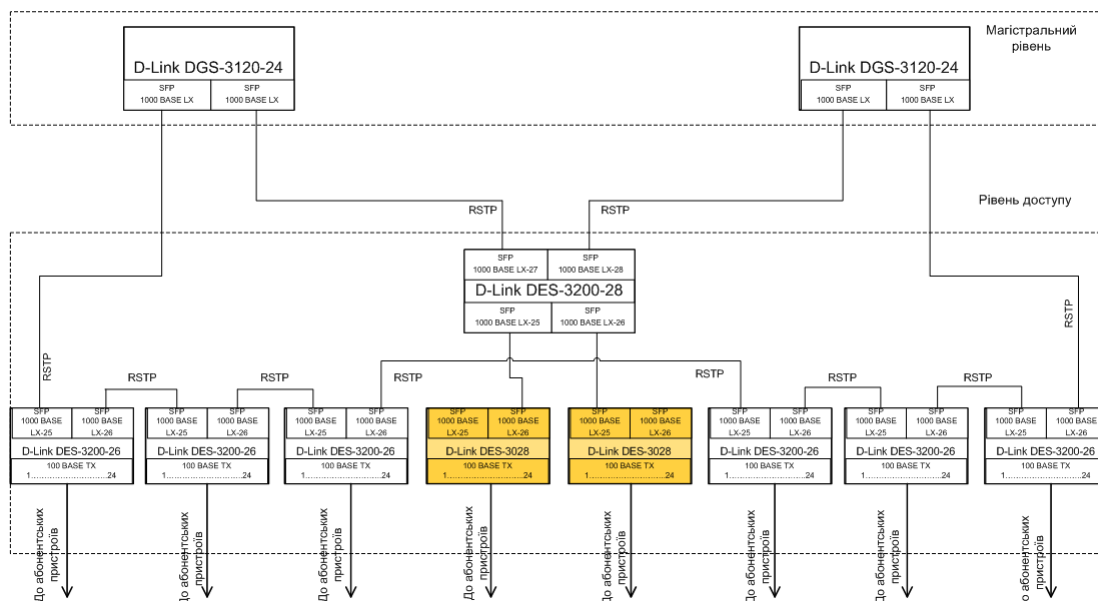


Рис 4. Схема зміненої фізичної топології мережі рівня доступу з метою мінімізації конфлікту hash

У випадку vlan-per-user проблема буде зведена до мінімуму, але не виключена повністю. І причина тому є присутність ще двох VLAN, які не можуть бути зменшені до мінімальної кількості VLAN-ів. Це виникає у зв'язку з присутністю керуючого (management) і мультикаст (mvr) VLAN-ів. Оскільки конфлікти за простою відбуваються між різними VLAN, то перетинання з абонентським MAC може викликати "флуд трафіку" керуючого VLAN-у або погіршення роботи IPTV.

На рис. 5 наведений приклад конфлікту hash між різними VLAN.

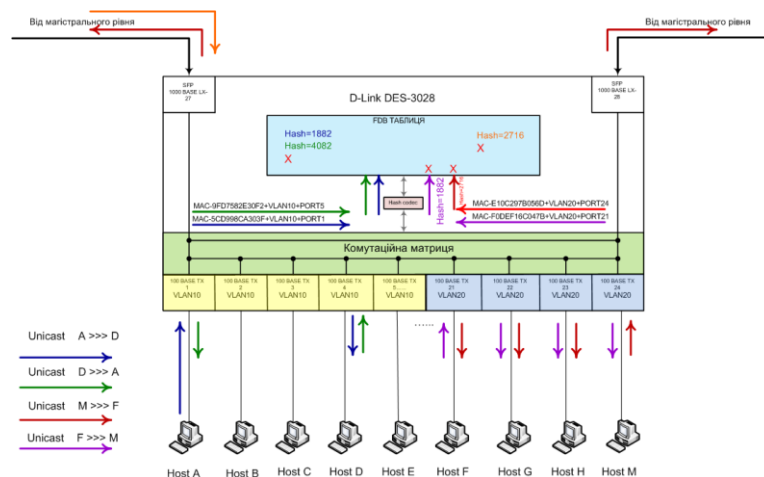


Рис 5. Приклад конфлікту hash між різними VLAN.

З рис 5. варто зробити висновок, що MAC E1-0C-29-7B-05-6D і F0-DE-F1-6C-04-7B із-за конфлікту hash не можуть потрапити до FDB таблиці.

Отже, конкретно для цих MAC-адрес комутатор буде працювати в режимі HUB і отже трафік усередині сегмента конкретно цього VLAN (у наведеному випадку VLAN20) буде поширюватися на всі порти.

Наступна проблема - сам механізм виявлення таких конфліктів (enable flood_fdb), де проводяться обчислення, аналогічні тим, що виконуються в ASIC (Application-Specific Integrated Circuit) [3]. Тобто це не добування проблемної адреси з комірок пам'яті, а обчислення, що проводиться паралельно роботі чипа. Тільки в цьому випадку витрачаються вже ресурси CPU. Звідси випливає, що великий потік трафіка може привести до непотрібного навантаження на CPU комутатора. На практиці, на жаль, так і виходить. У моделі DES-3028 навантаження на CPU може доходити до 100% тим самим роблячи пристрій недоступним. При тому, якщо комутатор виступає в ролі релей-агента, то абоненти перестають одержувати адреси від DHCP. На DES-3200-28/A1/B1 ситуація трохи відрізняється - комутатор з деякою ймовірністю не може відповісти на ARP-запит. Коли час життя ARP (Address Resolution Protocol) на маршрутизаторі минає, комутатор на якийсь час стає недоступним. А оскільки моніторинг за працездатністю всіх комутаторів рівня доступу виконаний за принципом перевірки їх доступності, то результатом може стати періодично повторювана "аварія" на карті моніторингу мережі. Це у свою чергу може ввести в оману службу моніторингу, в обов'язки якої входить контроль над працездатністю комп'ютерної мережі в цілому.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Визначені наслідки впливу конфлікту hash на якість обслуговування кінцевих мережевих пристроїв абонентів повністю усунути неможливо. Але є можливість максимально зменшити їх вплив, а саме використовувати сегментацію мережі аж до vlan-per-user. Паралельно з цим треба виконати фізичне виключення проблемних комутаторів з кільцевої топології й включення їх по окремому фізично незалежному оптичному лінку. А при проектуванні нових сегментів комп'ютерної мережі, використовувати комутатори де застосовується метод дворівневого hash. Виробник таких комутаторів в більшості випадків заявляє, що проблема hash-conflict зведена до мінімуму. Напрямком подальших досліджень є необхідність автоматизувати процес виявлення hash conflict та забезпечити інформацією службу моніторингу.

Список літератури

1. des-3200 ХЭШ [Електронний ресурс] Режим доступу до статті: <http://forum.dlink.ru/viewtopic.php?p=653278#p653278>
2. Memory management unit architecture for switch fabric EP 1168727 A2 [Електронний ресурс] Режим доступу до статті: http://nag.ru/upload/images/15587/img_EP1168727A2.pdf
3. Проблема хеш коллизий [Електронний ресурс] Режим доступу до статті: <http://nag.ru/articles/reviews/15587/raz-tablitsa-dva-tablitsa.html>
4. Брюс Шнайер (Bruce Schneier), «Прикладная криптография», 2е издание, ISBN 0-471-11709-9, гл.18, Одно-направленные хэш-функции
5. Росс Андерсон (Ross Anderson), «Security Engineering» (англ.), Wiley, ISBN 0-471-38922-6

6. **Маков С.В., Шрайфель И.С., Литюк В.И.** Метод фильтрации трафика в Ethernet-мостах и условия его применения // Электротехнические и информационные комплексы и системы, научно-технический и теоретический журнал. - М.: Изд-во РГУТиС - №4, т. 6.- 2010. - С. 22-27

7. **Маков С.В., Шрайфель И.С.** Оценка эффективности фильтрации трафика в межсетевых мостах и коммутаторах [Электронный ресурс] // Сервис в России и за рубежом. - Вып.5(24). - 2011г. URL; <http://www.mgus.ru/files/electronicjournal/number24/5.doc>

8. **Маков С.В.** Быстрая фильтрация кадров в мостах Ethernet с адаптивным вычислением хеш-функции // Современные проблемы радиоэлектроники: Сборник научных трудов. - Росж)в-на-Дону.: РИСТ ГОУ ВПО «ЮРГУЭС». - 2010. - С. 80-82

9. **Ткачев В.Н.** Современные проблемы в развитии кампусных информационных сетей общежитий ХНУРЭ / В.Н. Ткачев, С.Р. Полчаников. - Сборник тезисов Международной научно-технической конференции, посвященной 75-летию В.В. Свиридова "Информационные системы и технологии" (ИСТ-2012). - Морское-Харьков: 2012. - 152 с.

10. **О.Г. Король Л.Т. Пархуць, С.П. Евсеев.** Метод каскадного формирования мас-кодов с использованием модулярных преобразований Научные ведомости 2013. №15 (158). Выпуск 27/1

11. **Маков, Сергей Владимирович** Разработка и исследование эффективности методов построения таблиц фильтрации кадров в мостах и коммутаторах вычислительной техники [Электронный ресурс] <https://www.dissercat.com/content/razrabotka-i-issledovanie-effektivnosti-metodov-postroeniya-tablits-filtratsii-kadrov-v-most>

Рукопис подано до редакції 18.03.2020

УДК 622.235

О.О. ФРОЛОВ, д-р техн. наук, проф., В.М. ПИКАЛО, студ.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ДІАМЕТРУ СВЕРДЛОВИН ДЛЯ БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ

Мета. Метою роботи є встановлення найбільш раціонального діаметра свердловинного заряду вибухової речовини для конкретних гірничо-геологічних умов відпрацювання родовища.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети в представлених дослідженнях використано: метод комплексного аналізу – для аналізу та узагальнення попередніх наукових досліджень щодо вибору та встановлення найбільш раціональних діаметрів свердловинних зарядів на кар'єрах; аналітичний та графоаналітичний методи – для удосконалення методики визначення діаметра свердловинного заряду при проведенні буропідривних робіт на кар'єрах в гірських масивах з різним ступенем тріщинуватості.

Наукова новизна. Наукова новизна результатів досліджень полягає в тому, що, на підставі представленої аналітичної залежності, отримано графічні залежності зміни вартості буропідривних робіт для різних діаметрів свердловинного заряду вибухової речовини. Вони дозволяють встановити найбільш раціональні діаметри свердловин в кар'єрі при заданих умовах з урахуванням різного ступеня тріщинуватості гірського масиву.

Практична значимість. Результати досліджень дозволяють для встановлених гірничо-геологічних та технологічних умов розробки родовища корисних копалин визначити раціональний діаметр вибухових свердловин на основі врахування техніко-економічних показників роботи підприємства.

Результати. За результатами виконаних досліджень встановлено, що діаметр свердловинного заряду є одним з найбільш важливих параметрів регулювання ступеня дроблення, а його вибір залежить від міцності та тріщинуватості порід. Запропоновано удосконалену методику визначення раціонального діаметру свердловин для буропідривних робіт на кар'єрах. Отримано вираз, який пов'язує вартісні показники буріння і підривання з основними технологічними показниками буропідривних робіт, в тому числі з діаметром свердловинного заряду. Для гірничо-геологічних умов кар'єру побудовані залежності між діаметром свердловинного заряду ВР та вартістю буропідривних робіт для різних гірських порід з різним ступенем тріщинуватості. Встановлені раціональні діаметри свердловинного заряду при виконанні бурових робіт станками СБШ-250 для порід різної категорії тріщинуватості

Ключові слова: буропідривні роботи, діаметр свердловини, питомі витрати, гірський масив, вибухова речовина, тріщинуватість, кар'єр.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-15-20

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Ефективне керування процесом вибухового руйнування скельних гірських масивів є однією з найважливіших науково-технічних задач гірництва. Вирішення її забезпечує зменшення витрат як на проведення буропідривних робіт (БПР) в кар'єрі зокрема, так і на видобуток корисних копалин в цілому.

Багаторічний практичний досвід виконання БПР на кар'єрах свідчить про те, що отримання необхідної якості вибухового подрібнення скельних порід тільки за рахунок збільшення питомої витрати вибухових речовин (ВР) є неефективним. Це призводить до збільшення об'єму переподрібненої гірничої маси та зниження міцнісних властивостей товарної продукції для кар'єрів будівельних матеріалів. Зважаючи на це, виникає потреба у розробці та удосконаленні інших способів керування вибуховим руйнуванням, які дозволять отримувати потрібну якість руйнування гірських масивів без збільшення витрат на БПР [1-4]. Тому удосконалення методики визначення раціонального діаметру вибухових свердловин на кар'єрах є актуальною науково-технічною задачею, тим більше, що діаметр свердловинного заряду ВР визначає основні параметри буропідривної роботи.

Як зазначають науковці та фахівці з гірництва, доцільність використання певного діаметру свердловин повинна обґрунтовуватися у кожному конкретному випадку техніко-економічним розрахунком з урахуванням необхідного ступеня дроблення гірської породи, проробки підосви уступу, продуктивності бурового устаткування та інших гірничо-технічних факторів.

Аналіз досліджень і публікацій. До основних параметрів регулювання ступеня дроблення, згідно [5], належать діаметр заряду, величина лінії опору по підосві уступу, відстань між зарядами, довжина і маса заряду, які взаємопов'язані між собою через розрахункову питому витрату ВР. Основними з них є розрахункова питома витрата ВР і діаметр заряду, інші параметри є похідними і залежать від величини витрати ВР. Зміна одного з параметрів тягне за собою зміну інших, які можуть вплинути на результат вибуху. Змінюючи діаметр заряду, можна досягнути такого розміщення свердловин, при якому усі окремі тріщинуватого масиву попадуть в зону регульованої дроблення. Тому діаметр заряду відноситься до одного з найбільш важливих параметрів регулювання ступеня дроблення. Крім того, при менших діаметрах зарядів зменшуються заколи за лінію зарядів у глиб масиву, зменшується відносний об'єм переподрібнення породи навколо заряду і відбувається поширення енергії по масиву з меншими втратами [6]. Однак на деяких підприємствах при зменшенні діаметра заряду з 200 до 100 мм не було отримано істотного зниження витрат на буропідривні роботи (БПР). Це пояснюється тим, що питомі витрати на обурювання масиву свердловинами зменшеного діаметру значно вище.

В [7] досліджено вплив діаметру заряду на ефективність відкритих гірничих робіт Кривбасу. Було рекомендовано для залізородних кар'єрів, які характеризуються виконанням робіт в сильно- та середньотріщинуватих гірських масивах, застосовувати свердловини діаметром 300 мм, як найбільш ефективними за технологічними та енергетичними показниками.

Як зазначають автори роботи [8], резервом підвищення ефективності комплексу буропідривної роботи в кар'єрі на великих глибинах може бути перехід на застосування свердловин оптимального діаметру. Для цього була розроблена математична модель визначення діаметру свердловини, яка базується на загальних аспектах вибухової справи, а саме: якість дроблення на певній відстані від заряду пропорційна потоку енергії, що проходить через одиничну площу поверхні; енергія заряду визначається теплою вибуху та ін.

В той же час деякі науковці зазначають, що якість подрібнення гірського масиву хоча залежить від діаметру заряду, однак він є не визначальним з поміж наведених параметрів [9].

У роботах Кутузова приведені наступні рекомендації щодо вибору необхідного діаметра заряду. У крупноблочних породах при однаковій питомій витраті ВР із зменшенням діаметра свердловинного заряду ступінь дроблення гірничої маси підвищується; у мілкоблочних породах зміна діаметра заряду істотно не впливає на ступінь дроблення. Тому при виборі діаметра заряду необхідно більш ретельно і зважено підходити до цього питання, оскільки одночасно визначається як спосіб буріння, так і тип бурового верстата, тобто ті фактори, що впливають на ефективність і вартість буріння. Зазвичай, витрати на бурові роботи зі збільшенням діаметру знижуються, а економія коштів, яку можна отримати від застосування свердловин меншого діаметру, зазвичай перекривається підвищеними витратами бурових робіт.

Постановка задачі. За результатами аналізу наукових досліджень і публікацій встановлено, що діаметр свердловинного заряду відноситься до одного з найбільш важливих параметрів регулювання ступеня дроблення, а його вибір суттєво залежить від міцності та тріщинуватості гірських порід. Однак, існуючий стан досліджень не надає однозначного обґрунтованого теоретичного рішення щодо визначення раціонального діаметру свердловинного заряду. Тому на кар'єрах зазвичай користуються даними практичного досвіду, що є прийнятними для конкрет-

них умов. У зв'язку з цим метою роботи є встановлення найбільш раціонального діаметра свердловинного заряду вибухової речовини для конкретних гірничо-геологічних умов відпрацювання родовища.

Викладення матеріалу та результати. З метою отримання найбільш раціональних значень діаметрів свердловинних зарядів для ведення вибухових робіт на кар'єрах використовуємо методику, в основі якої закладена техніко-економічна оцінка параметрів БПР [10, 11]

В цілому загальні питомі витрати на буропідривні роботи становлять

$$C_{\text{БПР}} = C_{\text{Б}} + C_{\text{ПР}}, \quad (1)$$

де $C_{\text{Б}}$ – питомі витрати на виконання бурових робіт, грн; $C_{\text{ПР}}$ – питомі витрати на вибухові роботи, грн.

Якщо розглянути витрати на буріння та підривання з урахуванням технологічних і техніко-економічних показників, то формула (1) набуде вигляду

$$C_{\text{БПР}} = \frac{4qc_{\text{бур}}}{10^{-6}\pi d^2 \Delta k_{\text{в}}} + c_{\text{ВР}}q, \quad (2)$$

де q – питома витрата ВР, кг/м³; $c_{\text{бур}}$ – питомі витрати на буріння 1 м свердловин, грн/м; d – діаметр свердловинного заряду, мм; Δ – щільність заряджання вибухової речовини в заряді, кг/м³; $k_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання об'єму свердловини (в середньому приймають $k_{\text{в}}=0,65-0,75$); $c_{\text{ВР}}$ – вартість 1 кг вибухової речовини з урахуванням витрат на заряджання, грн/кг.

Питому витрату ВР, з урахуванням діаметру свердловинного заряду [12] та при умові дроблення масиву на куски розміром не більше 500 мм, можна представити у вигляді, кг/м³

$$q = 0,13\gamma\sqrt[4]{f} \left(0,6 + 3,3 \cdot 10^{-3} d_0 d\right) \sqrt[5]{\left(\frac{500}{d_{\text{н}}}\right)^2}, \quad (3)$$

де γ – щільність породи, т/м³; f – коефіцієнт міцності за шкалою Протодіяконова; d_0 – середній розмір природної окремоті в масиві, м; d – діаметр свердловинного заряду, мм; $d_{\text{н}}$ – максимально допустимий розмір шматка зруйнованої гірничої маси, мм.

Як бачимо, у формулі (3) враховані основні фактори, які характеризують здатність гірського масиву до вибухового руйнування, зокрема міцність та тріщинуватість порід.

Загальні витрати на БПР (2) з урахуванням питомої витрати ВР (3) будуть становити [13]

$$C_{\text{БПР}} = 0,13\gamma\sqrt[4]{f} \left(0,6 + 3,3 \cdot 10^{-3} d_0 d\right) \sqrt[5]{\left(\frac{500}{d_{\text{н}}}\right)^2} \left(\frac{4c_{\text{бур}}}{10^{-6}\pi d^2 \Delta k_{\text{в}}} + c_{\text{ВР}}\right). \quad (4)$$

В результаті математичних перетворень остаточно отримано [13]

$$C_{\text{БПР}} = \gamma\sqrt[4]{f} \sqrt[5]{\left(\frac{500}{d_{\text{н}}}\right)^2} \cdot \left(7,8 \cdot 10^{-2} c_{\text{ВР}} + 4,29 \cdot 10^{-4} d_0 d c_{\text{ВР}} + \frac{0,31 \cdot 10^6 c_{\text{бур}}}{\pi d^2 \Delta k_{\text{в}}} + \frac{1,72 \cdot 10^3 d_0 c_{\text{бур}}}{\pi d \Delta k_{\text{в}}}\right). \quad (5)$$

Якщо підставити у вираз (5) чисельні значення діаметра заряду, то можна, для гірських масивів різних за міцністю і тріщинуватістю, при умові встановлення усіх інших показників, визначити загальні витрати на БПР. Значення мінімальних витрат будуть відповідати найбільш ефективному діаметру свердловинного заряду.

Для гірничо-геологічних умов кар'єру «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ» були проведені розрахунки щодо встановлення залежності між діаметром свердловинного заряду ВР та вартістю буропідривних робіт для різних гірських порід з різним ступенем тріщинуватості. В межах родовища переважають наступні скельні породи: магнетитові кварцити, силікат-магнетитові кварцити (руда), окиснені кварцити, мало рудні неокиснені кварцити і некондиційно окиснені кварцити, породи сланцевих горизонтів. Їхні основні характеристики наведено в табл. 1.

Значення середнього розміру природної окремоті в масиві d_0 від категорії тріщинуватості становлять: для I категорії тріщинуватості – $d_0=0,1$ м; для II категорії – $d_0=0,3$ м; для III категорії – $d_0=0,75$ м; для IV категорії – $d_0=1,25$ м; для V категорії тріщинуватості – $d_0=2,0$ м.

Усереднені техніко-економічні показники буропідривних робіт кар'єру приймемо наступні: максимально допустимий розмір шматка зруйнованої гірничої маси – $d_{\text{н}}=1200$ мм; середнє значення коефіцієнту використання об'єму свердловини – $k_{\text{в}}=0,7$;

середня щільність заряджання ВР Анемікс 70 – $\Delta=1250 \text{ кг/м}^3$;
вартість ВР Анемікс 70 – $c_{\text{ВР}}=16,1 \text{ грн/кг}$.

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості гірських порід на кар'єрі «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ»

Типи руд та гірських порід	Об'ємна вага, т/м^3	Межа міцності порід на одно- вісне стиснення, МПа
Магнетитові кварцити	3,5	170-200
Силікат-магнетитові кварцити (руда)	3,25	180-250
Окиснені кварцити	3,3	40-150
Мало рудні неокиснені кварцити і некондиційно окиснені кварцити	3,15	110-140
Породи сланцевих горизонтів	3,15	110-120

Виконано розрахунки при умові застосування бурових верстатів типу СБШ-250. Середні питомі витрати на буріння 1 м свердловин прийнято $c_{\text{бур}}=280 \text{ грн/м}$.

На рис. 1-5 наведені графічні залежності вартості БПР від діаметру свердловини для різних порід при різних категорії тріщинуватості, що отримані у відповідності до формули (5).

З графічних залежностей рис. 1 видно, що I категорії тріщинуватості магнетитових кварцитів більш доцільним буде діаметр 400 мм, оскільки вартість БПР буде мінімальною $C_{\text{БПР}}=9,01 \text{ грн}$. Для II категорії порід найбільш доцільний діаметр 350 мм при мінімальній вартості БПР $C_{\text{БПР}}=12,14 \text{ грн}$. Відповідно, для III категорії – $d=250 \text{ мм}$, $C_{\text{БПР}}=18,21 \text{ грн}$; для IV категорії тріщинуватості порід – $d=250 \text{ мм}$, $C_{\text{БПР}}=24,37 \text{ грн}$; для V категорії – $d=200 \text{ мм}$, $C_{\text{БПР}}=33,33 \text{ грн}$.

Аналіз рис. 2 показує, що для силікат-магнетитових кварцитів порід I категорії тріщинуватості найбільш доцільним буде діаметр 400 мм, оскільки вартість БПР буде мінімальною $C_{\text{БПР}}=8,90 \text{ грн}$. Для II категорії найбільш доцільний діаметр 350 мм при мінімальній вартості БПР $C_{\text{БПР}}=11,99 \text{ грн}$. Відповідно, для III категорії – $d=250 \text{ мм}$, $C_{\text{БПР}}=17,97 \text{ грн}$; для IV категорії – $d=250 \text{ мм}$, $C_{\text{БПР}}=24,06 \text{ грн}$; для V категорії тріщинуватості порід – $d=200 \text{ мм}$, $C_{\text{БПР}}=32,91 \text{ грн}$.

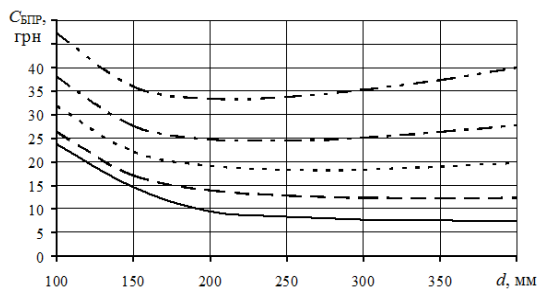


Рис. 1. Залежність питомої вартості буропідричних робіт від діаметру свердловини в магнетитових кварцитах при різних категорії тріщинуватості

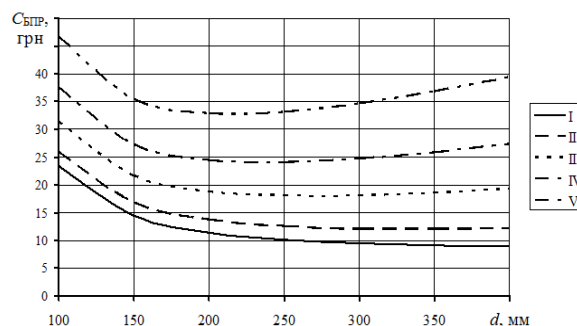


Рис. 2. Залежність питомої вартості буропідричних робіт від діаметру свердловини в силікат-магнетитових кварцитах (руда) при різних категорії тріщинуватості

Для окиснених кварцитів (рис. 3) I категорії тріщинуватості оптимальним буде діаметр свердловинного заряду $d=400 \text{ мм}$, тому що вартість БПР є мінімальною, а саме $C_{\text{БПР}}=7,34 \text{ грн}$. Для II категорії порід оптимальний діаметр 350 мм при мінімальній вартості БПР $C_{\text{БПР}}=9,88 \text{ грн}$. Відповідно, для III категорії – $d=250 \text{ мм}$, $C_{\text{БПР}}=14,82 \text{ грн}$; для IV категорії – $d=250 \text{ мм}$, $C_{\text{БПР}}=19,83 \text{ грн}$; для V категорії – $d=200 \text{ мм}$, $C_{\text{БПР}}=27,13 \text{ грн}$.

Для малорудних неокиснених кварцитів (рис. 4) для I категорії тріщинуватості мінімальна вартість БПР становить $C_{\text{БПР}}=7,17 \text{ грн}$, що відповідає оптимальному діаметру $d=400 \text{ мм}$. Для II категорії тріщинуватості мінімальна вартість БПР складає $C_{\text{БПР}}=9,66 \text{ грн}$ при діаметрі $d=350 \text{ мм}$. Відповідно, для III категорії порід – мінімальне значення $C_{\text{БПР}}=14,49 \text{ грн}$, а оптимальний діаметр $d=250 \text{ мм}$; для IV категорії – відповідно $C_{\text{БПР}}=19,39 \text{ грн}$ та $d=250 \text{ мм}$; для V категорії тріщинуватості мініальному значенні $C_{\text{БПР}}=26,52 \text{ грн}$ буде відповідати $d=200 \text{ мм}$.

В породах сланцевих горизонтів для I категорії тріщинуватості найбільш доцільним буде діаметр 400 мм, тому що мінімальна вартість БПР дорівнює 7,33 грн (рис. 5). Для II категорії тріщинуватості оптимальне значення діаметру свердловинного заряду – $d=350 \text{ мм}$ для мінімальної вартості БПР $C_{\text{БПР}}=9,87 \text{ грн}$ III категорії тріщинуватості буде відповідати мінімальній вартості БПР 14,81 грн значення діаметру 250 мм. IV категорія характеризується наступними

значеннями – $C_{БПР}=19,82$ грн; $d=250$ мм. В V категорії тріщинуватості гірських порід – мінімальна вартість БПР становить 27,11 грн для діаметру заряду 200 мм.

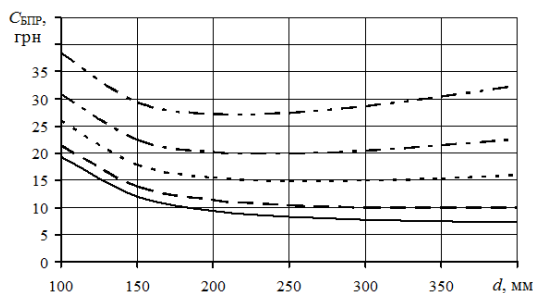


Рис. 3. Залежність вартості буропідричних робіт від діаметру свердловини в окиснених кварцитах для різних категорій тріщинуватості

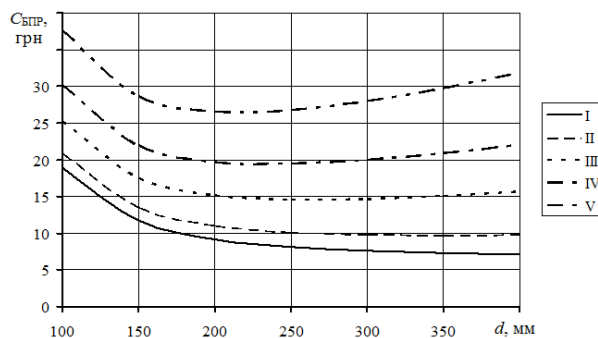


Рис. 4. Залежність вартості буропідричних робіт від діаметру свердловини в малорудних неокиснених кварцитах при різних категорій тріщинуватості

Таким чином, якщо узагальнити дані рис. 1-5 при бурінні свердловин СБШ-250, то видно, що для I категорії тріщинуватості масивів для переважної більшості порід найбільш доцільним буде діаметр заряду $d=400$ мм. Для II категорії – $d=350$ мм, для III категорії тріщинуватості – $d=250$ мм, для IV категорії – $d=250$ мм, V категорії (практично монолітних) – $d=200$ мм.

Висновки та напрямок подальших досліджень. За результатами виконаних досліджень встановлено, що діаметр свердловинного заряду є одним з найбільш важливих параметрів регулювання ступеня дроблення, а його вибір залежить від міцності та тріщинуватості порід.

Запропоновано удосконалити методику визначення раціонального діаметру свердловин для БПР. Отримано вираз, який пов'язує вартісні показники буріння і підривання з основними технологічними показниками БПР, в тому числі з діаметром свердловинного заряду ВР.

Для гірничо-геологічних умов кар'єру «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ» були проведені розрахунки щодо встановлення залежності між діаметром свердловинного заряду ВР та вартістю буропідричних робіт для різних гірських порід з різним ступенем тріщинуватості.

Встановлено, що при виконанні бурових робіт станками СБШ, для I категорії тріщинуватості для усіх гірських порід родовища раціональним є діаметр заряду $d=400$ мм, для II категорії – $d=350$ мм, для III категорії – $d=250$ мм, для IV категорії – $d=250$ мм, V категорії – $d=200$ мм.

Результати досліджень дозволяють продовжити вивчення впливу діаметру свердловинних зарядів на результати дроблення скельних гірських масивів з різним ступенем тріщинуватості. при проведенні буропідричних робіт на кар'єрах

Список літератури

1. Тищенко С.В. Особенности механизма разрушения горных пород дифференцированными скважинными зарядами взрывчатых веществ / С.В. Тищенко, Г.И. Еременко, К.А. Федин // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2012. – № 32. – С. 25 – 28.
2. Фролов О. О. Керування енергетичними потоками при вибуховому руйнуванні різноміцнісних масивів гірських порід на кар'єрах / Дис. ... докт. техн. наук: 05.15.03. – К., 2014. – 369 с.
3. Шапурін О.В. Оптимізація комбінованого буріння свердловин з утворенням котловин великого діаметру / О.В. Шапурін, П.М. Синичич // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2015. – Вип. 39. – С. 107-113.
4. Несмашный Е.А. Оценка эффективности применения эмонита для разрушения горных пород на первомайском карьере СевГОКа / Е.А. Несмашный, В.В. Перегудов, А.И. Перевертайло // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2010. – № 25. – С. 28 – 32.
5. Кутузов Б. Н. Взрывные работы. – М., «Недра», 1974. – 368 с.

6. **Фролов О. О.** Проблема вибору діаметру свердловинних зарядів для ведення буропідричних робіт на кар'єрах / О. О. Фролов, Ю. С. Мальцева // Матеріали конференції "Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі" - Кривий Ріг: ДВНЗ "Криворізький національний університет". – 2017. – С. 37 – 38.
7. **Шапурин А.В.** О влиянии диаметра заряда на эффективность открытых горных работ / А.В. Шапурин, А.С. Левуцкий, В.П. Темный // Разработка рудных месторождений: сб. научн. трудов. – 2010. – №93. – С. 23-27.
8. **Мец С.Ю.** Эффективный комплекс буровзрывных работ при отработке уступов увеличенной высоты / С.Ю. Мец, А.Ю. Антонов // Гірничий вісник: зб. наук. праць. – 2014. – № 97. – С. 7 – 11.
9. **Шапурин О.В.** Дослідження взаємозв'язків між властивостями гірських порід, їх енергонасичення при підриванні і кускуватості у розвалі / О.В. Шапурин, В.М. Серебреніков, Є.М. Швець // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2012. – № 30. – С. 18 – 23.
10. **Кутузов Б. Н.** Выбор рационального диаметра взрывных скважин на карьерах / Б. Н. Кутузов, А. А. Вареничев // Горн. журн. – 1976. – № 8. – С. 47-51.
11. **Мальцева Ю.С.** Проблемы выбора рационального диаметра скважинных зарядов на карьерах / Ю.С. Мальцева А.А. Фролов // Материалы 7-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Опыт прошлого – взгляд в будущее» – Тула: Тульский государственный университет. – 2017. – С. 30-35.
12. **Фролов О. О.** Визначення ефективного діаметру свердловинного заряду з урахуванням техніко-економічної оцінки буропідричних робіт / О. О. Фролов, Ю. С. Мальцева // Вісник Криворізького національного університету: Зб. Наук. Праць. – 2018. – Вип.46. – С. 9 – 14.
13. **Фролов О.О.** Техніко-економічне обґрунтування вибору діаметру свердловинного заряду для проведення буропідричних робіт на кар'єрах / О.О. Фролов, І.Д. Литвинчук // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2018. – №2(82). – С. 277-281.

Рукопис подано до редакції 25.03.2020

УДК 69.06:658.012.2:711.001.2

А. В. БАНАХ, М. О. ПОЛТАВЕЦЬ, кандидати техн. наук, доценти
Запорізький національний університет

ПРІОРИТЕТНИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ РОЗВИТКОМ МІСТОБУДІВНИХ СИСТЕМ

Мета. Розробка моделі перспективного управління розвитком містобудівних систем і розміщення містобудівних об'єктів на основі загальних законів і принципів системології та пріоритетного підходу до управління задля забезпечення надійності містобудівних систем.

Методи. У дослідженні використано методи системології, методи системного аналізу, методи системотехнічного обґрунтування, методи теорії систем, методи теорії моделювання, методи теорії управління.

Наукова новизна. Запропоновано пріоритетний підхід до управління розвитком містобудівних систем на основі загальних законів і принципів в системології. Розроблено відповідну комплексну структурно-логічну модель управління складними системами, до яких відноситься і містобудівні, виходячи з умов забезпечення надійності складних систем.

Практична значимість. Результати дослідження можуть використовуватися при розробці оптимізаційних заходів з підвищення перспективної надійності складних систем у контексті системологічного розуміння, в тому числі при управлінні розвитком містобудівних систем. Розроблена структурно-логічна комплексна модель допоможе відповідним фахівцям реалізовувати стратегію управлінської діяльності та прийняття управлінських рішень щодо розвитку містобудівних систем і розміщення містобудівних об'єктів.

Результати. Визначено, що проблеми містобудування вимагають урахування нетрадиційних підходів до моделювання процесів і зв'язків управління для визначення «єдиного знаменника», який містив би сумісність, наскрізну інформаційну підтримку, єдину моделюючу основу. Запропоновано пріоритетний підхід до моделювання процесів управління розвитком містобудівних систем і розміщення об'єктів містобудування, що має доступну форму, структурну і функціональну цілісність, інтегрує рішення в комплексну модель з єдиною логікою та особливостями. Складові частини моделі сполучено, узгоджено та складають єдину управлінську систему. Ув'язка різнохарактерних завдань інтеграції процесів управління розвитком здійснюється шляхом узгодження міжсистемних зв'язків за усіма блоками моделі. Сформовано модель управління розвитком містобудівних систем, виходячи з умов раціонального обґрунтування і нагальних завдань галузі, яка може застосовуватися також для прийняття рішень щодо розміщення об'єктів містобудування.

Ключові слова: містобудування, системологія, складна система, інформаційні модулі, функції управління, стан системи, надійність системи, моделювання

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-20-25

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Резерви вирішення

більшості питань сфери управління розвитком містобудівних систем знаходяться не тільки на стиках і нічийних зонах окремих підсистем, а й у комплексі їх функціональних взаємозв'язків. Порушення системної методології організації та побудови теоретичної і практичної діяльності в сфері містобудування призводить до роз'єднаності підходів в функціональних та інформаційних аспектах, відсутності єдності моделюючого простору та наскрізної інформаційної підтримки при рішенні комплексу завдань підготовки і сумісності [1]. У цих умовах предметні області основних управлінських функцій утворюють підсистеми по базових видах діяльності, які вимагають якісної реалізації менеджерами різних рівнів з урахуванням функціонального призначення, термінів, витрат, прибутків, перерозподілу ресурсів, змін і ризиків, інформації та комунікації, запасів і раціоналізації.

Аналіз досліджень і публікацій. Важливою відмінністю сучасної епохи є науково-технічний розвиток – вищий етап науково-технічного прогресу, стрибок від одного стану науки до іншого. Прикладом цього процесу є бурхлива поява нових наукових дисциплін, що виникають на стиках і нічийних зонах, створення «гібридних» наукових напрямів на основі багатосторонніх зв'язків, поява нових методів і принципів досліджень, що показують ефективні результати, наприклад, «синтетичні» дисципліни – фізична хімія, біоніка (біокібернетика), інженерна біологія, хемотроніка та ін. [2].

Усі ці нововведення – результат спільної дії двох зовні протилежних процесів: диференціації (або спеціалізації, розділення) та інтеграції (взаємозв'язку, об'єднання) наук, процесів, які властиві науково-технічному розвитку. Розділення наук поєднується з процесом їх інтеграції, що усе більш посилюється, синтезом наукових знань, комплексним підходом, перенесенням методів і принципів дослідження з однієї області в іншу, взаємопроникненням методів.

Інтеграція свідчить, що багато проблем можуть отримати правильне тлумачення, якщо враховуватимуть вимоги різних наук – суспільних, технічних, природничих. Для реального глибокого дослідження проблем потрібний синтез, інтеграція висновків різних фахівців – інженерів, філософів, економістів, соціологів, психологів. Тут важливе розуміння сенсу спільності гносеологічних і логічних засад замість різноманіття наук.

З огляду на це можна виділити наступні особливості сучасного наукового пізнання [4]:

диференціація і інтеграція в розвитку науки, її широта і глибина;

придбання все більшої суворості і точності;

нестримний розвиток сучасної науки;

зростання небезпеки суб'єктивізму в наукових дослідженнях;

наукові досягнення стають результатом колективних зусиль – індивідуальний (мануфактурний) період виробництва наукової інформації змінився на «машинний» період;

дослідження об'єктів і явищ ведеться без попередніх їх розподілів на частини, а у взаємодії всіх їх частин; об'єкти вивчають як ціле, тільки подумки виділяють ті або інші його сторони.

Таким чином, вивчення об'єктів сучасності вимагає системного підходу до них, в якому спільно беруть участь представники суспільних, природних і технічних наук. Має місце тенденція до синтезу знань, що отримуються різними галузями науки. «Глухота спеціалізації» не доходить до представників інших наук через відсутність «узагальненого слуху». Рух за синтезом знань відбувається як під знаком загальної теорії систем, так і під знаком ідей прикладних дисциплін «системних досліджень». Метою є розвиток «узагальненого слуху» [6].

Отже, сказане вище дозволяє відмітити, що доцільність системно-філософського дослідження проблем науково-технічного прогресу, проблем, пов'язаних з бурхливим розвитком науки складних систем, сьогодні обумовлена не стільки тим, що техніка спільно з наукою займає значне місце як в громадському, матеріальному, так і в духовному житті усього людства і вже фактично змінила вигляд земної кулі, скільки тим, що саме сьогодні, на високому рівні розвитку науки і техніки набагато ясніше стали деякі важливі характеристики технічних систем. З'ясувалося, зокрема, що прогрес змушує переглядати деякі важливі характеристики науки та її зв'язки з технікою, а саме – обумовленість розвитку самої науки і наукових досліджень успіхами і можливостями техніки. В цих умовах техніка часто визначним чином впливає на багато економічних, виробничих, соціальних, наукових, екологічних і навіть політичних рішень.

Об'єктом системного дослідження є складні системи, що складаються зі взаємопов'язаних

елементів у єдине ціле з усіма зв'язками і властивостями. Останнім часом має місце швидкий розвиток поняття «система», «системологія».

Система («складене з частин», «з'єднання»; від «сполучаю», «складаю») – це відокремлена сукупність елементів, що взаємодіють між собою, яка утворює деяку цілісність, володіє певними інтегральними властивостями, що дозволяє їй виконувати в довіллі певну функцію [4].

Системологія («ціле», «складене з частин»; «слово», «думка», «сенс», «поняття») – це теорія складних систем; фундаментальна інженерна наука, що встановлює загальні закони потенційної ефективності складних матеріальних систем як технічної, так і біологічної природи [9].

Для соціально-економічних, організаційно-технологічних, виробничих та інших складних систем, де істотну роль грає кінцева мета функціонування системи, існує визначення – це цілеспрямована сукупність елементів або комплекс вибірково залучених елементів, які взаємно сприяють досягненню заданого корисного результату, який приймається основним системоутворюючим чинником [9, с. 293].

Проблема співвідношення цілого та його часток не нова і постійно супроводжує людські роздуми [7]. Суттєвий збиток приносять надмірні дробові ділення досліджень учених, які представляють ту чи іншу науку, ще більшою перешкодою є вузький розподіл окремих областей знань серед різних фахівців (відділів, служб), а останні, що найтіснішим чином відносяться і нерозривно пов'язані з проблемою, залишаються осторонь. Тому вони ніколи не створюють чого-небудь видатного.

В середині XX століття, разом з відцентровими силами вузької спеціалізації, почали наростати доцентрові сили з інтеграції різних галузей науки. Загальносистемний рух привів до зародження загальної теорії систем, кібернетики, теорії дослідження операцій, системного аналізу, системотехніки [1-3, 6-8].

Внутрішня архітектоніка містобудівних систем і процесів управління їх розвитком складається з неоднорідних елементів, де кожен несе своє функціональне та специфічне навантаження в досягненні результату. Тому до складу функціональних систем слід включити такі неоднорідні підсистеми, як інженерні дослідження (вишукування), планування та техніко-економічне обґрунтування, інженерна підготовка територій, розпланувальні та функціональні рішення містобудівних проектів, засоби їх реалізації та управління ними, благоустрій території, утримання міської забудови, комплексна реконструкція територій. Ці підсистеми діляться на низку неоднорідних складових (елементів), які розглядаються розрізнено і поза єдиною функціональною системою, що створюється для досягнення спільного корисного результату [1].

В термінах результату стала можливою розробка теорії функціонально-планувальної надійності систем (яку можна застосувати й до містобудівних). Структура систем, склад їх елементів, якісні та кількісні зв'язки між елементами, необхідні вхідні та вихідні дані є атрибутами системотехніки. Підхід не має бути жорстко детермінованим, а повинен володіти гнучкістю перебудови задля досягнення мети. Визначення надійності в термінах результату для забезпечення заданого результату в необхідних випадках передбачає структурну перебудову системи та функціональну підміну одних елементів (ненадійних, таких, що відмовили) іншими елементами, що виконували раніше інші функції [6].

Постановка задачі. Завдання розміщення об'єктів містобудування та розвитку містобудівних систем є проблемами, рішення якої знаходиться на стику і в нічийних зонах у комплексі взаємопов'язаних функціональних підсистем. Для врахування впливу взаємозв'язків і взаємодії необхідно розробити моделі, адекватні умовам завдання, розкрити інформаційні, функціональні та інші міжсистемні зв'язки, які разом сприяють досягненню системою заданого результату.

Викладення матеріалу та результати. Послідовність дій перспективного розвитку в управлінні містобудівними системами відображається через перелік повних функцій управління. Тобто, якщо керівник хоче управляти об'єктом, він повинен самостійно вирішити весь перелік дій повних функцій управління. Повні функції управління – це система стереотипів (тобто трафаретних, звичних дій) стосунків і перетворень між інформаційним модулями цієї системи.

Повні функції управління можуть бути реалізовані тільки в інтелектуальній схемі управління, яка припускає творчість системи управління, наявність інтелекту керівника, який зобов'язаний вирішити наступні завдання:

завдання перше (χ_1) – виявлення чинників середовища, які впливають на містобудівну сис-

тему (без творчого підходу це зробити неможливо);

завдання друге (χ_2) – формування векторів цілей (це також творчий процес);

завдання третє (χ_3) – формування нових концепцій управління (як усе це зробити, якими новітніми засобами користуватися, якими перспективними силами);

завдання четверте (χ_4) – вдосконалення методології прогнозу та корекції при вирішенні завдань стійкості проти передбачуваності за схемою «предиктор – коректор»;

завдання п'яте (χ_5) – здатність керуючої системи самотужки виробляти новий інформаційний модуль на основі системології управління.

Усвідомлення процесу управління розвитком містобудівної системи можливе шляхом використання повних функцій управління та поєднання всіх інформаційних модулів за подоби тих, що використовуються у складних соціально-економічних, виробничих та ін. системах [10].

Повні функції управління означають циркуляцію інформації та її перетворення в процесі управління. Тобто, завжди, коли розглядається будь-який об'єкт (система), завжди зберігається схема, яка розглядалася раніше – від самого початку управління об'єктом (системою) й до самого закінчення. Повні функції управління – це послідовність дій суб'єкту управління:

дія перша (X_1) – розпізнавання чинника середовища, тобто зовнішнього по відношенню до системи чинника, який впливає на систему, з якою стикається інтелект;

дія друга (X_2) – формування стереотипу розпізнавання, тобто можливості розпізнавання чинника середовища на майбутнє;

дія третя (X_3) – формування вектору цілей відносно кожного чинника середовища і внесення частинного вектору до загального вектору;

дія четверта (X_4) – формування цільової функції (концепції) управління на основі рішення задачі стійкості за передбачуваністю;

п'ята дія (X_5) – організація структури, що управляє і несе цільову функцію управління;

шоста дія (X_6) – контроль, спостереження діяльності структури системи в процесі управління;

сьома дія (X_7) – підтримка працездатності структури в процесі управління або її ліквідація (при необхідності).

Інформаційний модуль – це інформаційний стан системи, який в ту чи іншу сторону змінює міру елементу системи, що призводить до нового матеріального змісту цього елементу [5]. Будь-яка передача інформації від одного елементу системи до іншого є керуючим впливом:

перший інформаційний модуль (ψ_1) – оцінка стану управління об'єктом;

другий інформаційний модуль (ψ_2) – визначення власного стану суб'єкту управління;

третій інформаційний модуль (ψ_3) – визначення стану об'єктів, з якими є взаємодія;

четвертий інформаційний модуль (ψ_4) – стан довкілля, в якому виконується взаємодія;

п'ятий інформаційний модуль (ψ_5) – стан структури, яка здійснює управління (суб'єкт);

шостий інформаційний модуль (ψ_6) – вказівки та обмеження вищих структур управління;

сьомий інформаційний модуль (ψ_7) – розрізнення методології (усвідомлення процесу управління системою через поєднання всіх сімох інформаційних модулів).

Використовуючи методи та способи концентрації управління розвитком містобудівних систем у сучасному суспільстві, можна виділити шість пріоритетів:

світоглядний пріоритет (Ω_1) – охоплює світогляд містобудівної системи, методологію та філософію життєвих циклів; дає можливість системі самостійно формувати свій світогляд на навколишній світ, навчає самостійному розрізненню процесів та явищ життєдіяльності;

хронологічний пріоритет (Ω_2) – інформація історичного характеру, охоплює хронологію усіх галузей знання, дозволяє бачити спрямованість усіх процесів управління системою;

фактологічний пріоритет (Ω_3) – ідеологічна «зброя», яка використовує релігії, ідеології, технології впливу; здійснює обробку свідомості всіх елементів системи, контролює режим поведінки, прийняття вірогідно-передвизначених управлінських рішень;

економічний пріоритет (Ω_4) – засоби економічного контролю системи (підпорядкування грошам, фінансам, позикам); керує системою за допомогою економічних механізмів;

геноцидний пріоритет (Ω_5) – зброя геноцидних процесів; охоплює процеси поступового занедбання системи за допомогою зброї геноциду (алкоголь, наркотики, генна інженерія, харчові добавки та ін.) з подальшим знищенням можливостей для розвитку в майбутньому;

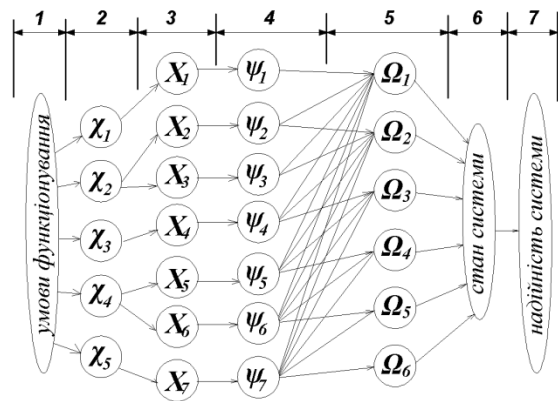


Рис. 1. Структурно-логічна комплексна модель управління за пріоритетним підходом

управління [10].

Управління містобудівними та іншими складними соціально-економічними системами може вдало виконуватись за допомогою структурно-логічної комплексної моделі за пріоритетним підходом (рис. 1).

Структурно-логічна комплексна модель управління, представлена на рис. 1, відображає взаємозв'язок повних функцій управління, напрямків управління, інформаційних модулів і пріоритети прийняття рішень, і поєднує стани перспективного розвитку містобудівної системи за пріоритетним підходом шляхом наступних фаз перетворення:

- перша фаза – фаза умов навколишнього середовища системи (вихідні дані);
- друга фаза – фаза інтелектуальної схеми управління;
- третья фаза – фаза інформаційних можливостей функціональних потоків;
- четверта фаза – фаза здійснення функціональних процесів управління системою;
- п'ята фаза – фаза пріоритетного напрямку управління системою;
- шоста фаза – фаза формування стану системи;
- сьома фаза – фаза цільових можливостей (надійності) системи (результат функціонування).

Висновки та напрямки подальших досліджень. При розвитку містобудівних систем вимагаються такі підходи, методи та прийоми, які б задовольняли умовам урахування взаємозв'язків функціональних підсистем, на стиках і в «нічийних» зонах яких вирішуються основні проблеми містобудування. Проблемні питання вимагають урахування нетрадиційних підходів до моделювання процесів і зв'язків управління для визначення «єдиного знаменника», який містив би сумісність, наскрізну інформаційну підтримку, єдину моделюючу основу.

Запропонований пріоритетний підхід до моделювання процесів управління розвитком містобудівних систем і розміщенням об'єктів містобудування має доступну форму, структурну і функціональну цілісність, що інтегрують рішення в комплексну модель з єдиною логікою та особливостями. Складові частини моделі сполучено, узгоджено та складають єдину управлінську систему. Ув'язка різнохарактерних завдань інтеграції процесів управління розвитком здійснюється шляхом узгодження міжсистемних зв'язків за усіма блоками моделі.

Модель управління розвитком містобудівних систем побудована виходячи з умов раціонально обґрунтування і нагальних завдань галузі, може застосовуватися також для прийняття рішень щодо розміщення об'єктів містобудування і дозволяє в подальшому визначити переваги й недоліки у порівнянні з іншими моделями, сферу застосування, а також методи і прийоми прийняття рішень щодо розвитком містобудівних систем.

Список літератури

1. Дѣмин Н. М. Управление развитием градостроительных систем : монография. Киев: Будівельник, 1991. 184 с.
2. Каландия И. Д. Научно-технический прогресс и некоторые аспекты развития культуры. Перспективы человека в глобализирующемся мире. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургское философское общество, 2003. С. 41-61.
3. Нечепуренко Н. И., Попков В. К. Алгоритмы и программы решения задач на графах и сетях. Новосибирск: Наука, 1990. 515 с.
4. Гусаков А. А. Системотехника в строительстве. Москва: Стройиздат, 1983. 440 с.

пріоритет винищення (Ω_6) – зброя знищення озброєних конфліктів; охоплює процеси повного знищення системи та всіх її матеріальних структур традиційними засобами.

Піраміда пріоритетів управління складними системами розподіляє їх за важелями впливу на об'єкти управління. Найбільш впливовіший пріоритет «світогляд» потребує найдовший відрізок часу від початку формування до досягнення мети розвитку системи. Найменш впливовіший пріоритет «винищення» – із протилежними характеристиками: найменший період часу на впровадження та найменший ефект використання у об'єкті

5. Судаков К. В., Гусаков А. А. Информационные модели функциональных систем. Москва: Фонд «Новое тысячелетие», 2004. 304 с.
6. Йенсен П., Барнес Д. Потокное программирование. Москва: Радио и связь, 1984. 392 с.
7. Миротин Л. Б., Ташбаев Ы. Э. Системный анализ в логистике. Москва: Экзамен, 2004. 480 с.
8. Оре О. Теория графов. Москва: Наука, 1980. 336 с.
9. Гусаков А. А. Системотехника строительства : энциклопедический словарь. Москва: Фонд «Новое тысячелетие», 1999. 432 с.
10. Павлов І. Д., Полтавець М. О., Павлов Ф. І. Системологічне управління виробничими системами в будівництві. Наукові вісті Дніпровського університету : електронне наукове фахове видання. 2018. № 14. URL: https://nvdu.000webhostapp.com/arxiv/2018_14/pdf/12.pdf (дата звернення: 2020-02-21).

Рукопис подано до редакції 20.03.2020

UDC 004.942

T. MARUSENKOVA, PhD, Associate Professor
Lviv Polytechnic National University

A GATING ALGORITHM WITH REDUCED COMPUTATIONAL COMPLEXITY FOR LINEAR KALMAN FILTERS IN EMBEDDED SYSTEMS

Purpose. Kalman-based filters are the most commonly used algorithms of processing noisy signals from real sensors in different application areas. However, they have no intrinsic means of fighting off outliers, which can deteriorate filter accuracy drastically. Existing outlier rejection and accommodation techniques are computationally expensive for embedded systems. Our goal is to develop a multiple-step gating procedure suitable for implementation in firmware.

Research methods. Primarily the work is based upon statistical and probabilistic methods. For deduction, representation and corroboration of principal ideas it utilizes also linear algebra and analytic geometry. Verification of the developed algorithm has been performed using simulation techniques including the Monte-Carlo method.

Scientific novelty. A new gating algorithm has been developed, verified and presented in detail. In contrast to the well-known combination of the rectangular and elliptic gates, the proposed algorithm assumes an additional step which allows rejection of points not lying between the tangents of tilted confidence ellipses parallel to their major axes. The step helps avoid computing inverse covariance matrices required by the Mahalanobis distance due to the fact that it recognizes most outliers that are able to pass the rectangular gate, which makes invocation of the elliptic gate redundant.

Practical value. The proposed algorithm has been implemented and verified both theoretically and practically upon a variety of the multivariate linear Kalman filters and normally distributed random numbers for simulating outliers. Implementation has been done using the stm32f407vg microcontroller by STMicroelectronics. Simulation results have corroborated that the proposed interim step between application of the rectangular and elliptic gates reduces computational complexity of the whole gating procedure without any losses in accuracy.

Results. The developed algorithm is integrated into a complex hardware-software tool intended for verification, estimation and investigation into micro-electromechanical inertial sensors.

Key words: gating, outlier, outlier rejection, Kalman filter, Gaussian distribution, confidence ellipse, tangent

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-25-31

Problem and its connection with scientific and practical tasks. The Kalman filter is an algorithm that has been a great success since its first appearance in 1960. It is widely used in a range of applications including navigation. The linear Kalman filter is said to be optimal in the least squares sense if a problem being solved is linear or its non-linearity is insignificant and can be adequately described by process noise, provided that process and measurement uncertainty is modeled as Gaussian [1, 2]. The first Kalman-based filter able to deal with non-linear problems was the extended Kalman filter (EKF) whose main idea is to linearize the problem in discrete points and apply the linear Kalman filter to solve the linearized problem. The EKF assumes forming Jacobian matrices, thus its main difficulty consists in the fact that the closed-form solution to the problem may be non-existent or highly difficult and non-trivial to compute. In this case numerical methods should be used which may be intractable for the available computational resources, especially if the filter is supposed to be executed in an embedded system. Less complex Kalman-based filters include the unscented Kalman filter (UKF) and numerous particle filters. The UKF is based on the linear Kalman filter [3].

The cornerstone of the linear Kalman filter is summation and multiplication of Gaussians. I.e., the uncertainty in the process model and measurements are expected to be Gaussian. If the condition is not

fulfilled, the filter quickly diverges. The filter can only provide trustworthy results if it has been fed an adequate process model and measurement noise. If the process noise covariance matrix is large in comparison with the measurement noise covariance matrix, the filter will closely follow measurements. It may be that outliers occasionally happen amongst generally accurate measurements. The Kalman filter has no intrinsic means of distinguishing between inliers and outliers. An outlier is a measurement that disobeys the general pattern and does not follow the statistical distribution of the bulk of the data. Outliers result from some disorder or unexpected conditions in the system, such as gross measurement, sampling, computing or recording errors, transient malfunctioning, noise, missing data, human errors, etc [4]. Another popular definition – an outlier is a measurement that markedly deviates from its expected value. A procedure that enables exclusion of unlikely measurements and/or combination of measurements is called gating.

There exist different gating techniques. Some of them are simple, easy-to-compute but occasionally mistake outliers for normal measurements. Others, on the contrary, are accurate but computationally expensive. Two-step gating is usually taken in order to reject the majority of bad measurements coarsely and then refine the results by a more computationally demanding but accurate filter. The work is aimed at development a gating procedure with reduced resource consumption, primarily for use in embedded systems.

Related work. Two main approaches to dealing with outliers are used concurrently – rejection and accommodation. Rejection assumes that if a measurement is considered suspicious, it should be discarded. In this case a prediction step is not followed by a corresponding update step. Instead, a new prediction should be made. There still remains some probability that several outliers will occur in a row. However, it is supposed that even several measurement innovation steps skipped sequentially would not impede the filter performance noticeably. Accommodation means that any measurement will be taken into account, even if it seems erroneous. However, less trustworthy measurements are assigned smaller weights. Hence, they do not impact the filter in the same way as measurements that seem accurate do. Both approaches have pros and cons. The main idea that backs up rejection is that all measurements fall into two groups: “normal” (fitting the measurement model) and “abnormal” (generated by a completely different model) [5]. However, the measurement model may not be accurate enough, which would lead to rejection of normal measurements. Moreover, [5] provides research results showing that there is a small but dangerous possibility that normal measurements are discarded when spurious ones are accepted due to overlapping outlier and measurement-noise distributions and inaccurate modeling. Outlier identification methods suffer from masking and swamping effects. Masking refers to mistaking an actual outlier for a normal measurement. Swamping is mistaking a legitimate measurement for an outlier. The effects are complimentary, so a trade-off should be found.

One of the ways to enhance the linear Kalman filter immunity to outliers is to model measurement noise by distributions other than Gaussian, and a good deal of research efforts are concentrated in this field. To name a few, heavy-tailed Gaussian mixture and t-distributed noise models are used to modify the Kalman filter for better robustness [6]. In [7], outliers are considered results of measurement noise with variable covariances. Under assumption that the noise covariances obey an inverse Gamma distribution, the authors propose to add a procedure of adaptive identification of the key parameters involved in the inverse Gamma distribution to the Kalman filter. Within the accommodation approach one should mention [8-10] and [11]. Some researchers consider outliers as inputs added to normal measurements and estimate them together with the state [12, 13].

Under assumption of nearly Gaussian distributions, the 3σ rule is widely applied for outlier identification. The probability of observing a measurement that is more than three standard deviations away from its expected value is only about 0.3%. However, in practice, one needs to consider 5σ or 6σ to make for the fact that the actual distribution differs from Gaussian, as it is stated in [14]. The presence of outliers in the dataset biases the calculated mean and standard deviation and thus impairs the outlier identification procedure. Since particle filters, which are gaining popularity recently, are not restricted to Gaussian distributions, many researchers [14] do not use the 3σ rule.

Outlier rejection is often performed using a prior or a median window. Median windows consider a set of measurements and discard those far from the median. Gating with a prior assumes that there is a predicted measurement value, which is compared with a measurement. If the two are not in good agreement, the measurement is considered an outlier. The simplest way of comparing the predicted state with the measured one is to consider each state variable separately. Thus, one may choose to

check whether the difference between the predicted and measured variables exceeds 5σ or not. This approach is called rectangular gating. It is easy to implement, however it is rather coarse because it does not take into account the covariance of the state variables. Fig. 1 illustrates this drawback of rectangular gating for the case if the state vector contains two variables (these can be the distance and velocity, for instance). Correlated variables in 2D are represented by ellipses. For highly correlated variables the rectangular gate is remarkably coarse. According to [14] in 5 dimensions it is twice as likely to accept a bad measurement as the hyper-ellipsoid.

In order to take the covariance into account, the predicted and actual measurements are often compared using the Mahalanobis distance. Essentially, the Mahalanobis distance calculates the scalar standard deviation distance from a point to a distribution. If the covariance matrix is the identity matrix, the Mahalanobis distance comes down to the commonly used Euclidean distance.

Accuracy in outlier detection comes at cost of computational load, since one should calculate the inverse covariance matrix for each measurement innovation. Obviously, the more variables are being tracked in the state vector, the more computationally expensive the problem will be. The problem gets intractable for embedded systems with their limited computation resources and poor floating-point logic. There have been research works aimed at reduction of computational complexity of elliptic gates without impairing masking and swamping. An intuitive approach is to filter twice. The first time a new measurement should be tested coarsely with the rectangular filter. If it managed to pass through the gate, the more precise elliptic gate is applied. Thus, the inverse covariance matrix will be computed not for all measurements but only for those that have not been rejected by the rectangular filter, which saves the computational resources drastically.

In [15] sorting algorithms were used to accelerate the gating procedure and to lower computational complexity primarily for multi-hypothesis tracking problems. Besides rectangular and elliptic gates, other shapes are also used, depending on the nature of an object being tracked. For example, a fighter jet would have a maneuver gate whose shape resembles a cone projecting in front of the current travel direction [14]. The literature overview shows that there still exist ways of further improving gating.

Problem statement. The work is aimed at development and verification of a new gating procedure suitable for implementation in embedded systems.

Main statements and results. The underlying idea of the work is best illustrated for a 2D tracking problem, which means that the state vector is comprised of two variables and the gate can be represented by an ellipse. We select a point (x, y) lying on the ellipse and find its tangent in this point, given by its linear equation $ax + by = d$. The tangent divides the plane into two semi-planes. Due to the fact that an ellipse is a convex figure, one semi-plane contains all the points belonging to the ellipse while another incorporates none of the ellipse points. Thus, it is sufficient to take any of the points belonging to the ellipse except (x, y) , substitute its coordinates into $ax + by - d$ and check the sign. The same sign holds for any point of the same ellipse (except (x, y)).

By this check all the points confined between the rectangle and the tangent (Fig. 1) can be excluded during gating. It is most expedient to select the center of the ellipse as a reference point, because its coordinates have been already calculated.

It is convenient to analyze multivariate Gaussian distributions in a pair-wise manner, i.e., to represent the iso-contour for any two variables as an ellipse (called error ellipse, or confidence ellipse). If the covariance matrix has non-zero off-diagonal elements, the error ellipse is tilted, i.e., its axes are not parallel to the coordinate axes. The stronger the covariance, the more tilted the error ellipse. The sum of squared Gaussian data points follows Chi-Square distribution. One can use probability tables to find out which scale s of the error ellipse corresponds to 99% confidence.

The axes of the error ellipse have the lengths $2\sqrt{s\lambda_1}$ and $2\sqrt{s\lambda_2}$, where λ_1 and λ_2 are the eigenvalues of the covariance matrix or, more precisely, the sub-matrix that corresponds to the two variables being currently analyzed. The tilt angle θ can be found as $\theta = \arctan(v_1(y)/v_1(x))$, where v_1 is the eigenvector corresponding to the largest eigenvalue (Fig. 1).

As one can see, both tangents going through points A and B are parallel to the major axis of the ellipse. The major axis goes through the center of the ellipse (μ_x, μ_y) and forms angle θ with the horizontal coordinate axis. Thus the line equation can be uniquely defined as

$$y = x \cdot \operatorname{tg}\theta - \mu_x \operatorname{tg}\theta + \mu_y.$$

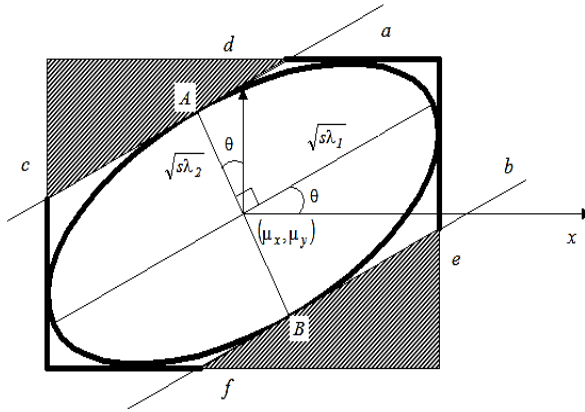


Fig. 1. Error ellipse and illustration of the gating complexity reduction idea

Both tangents can be found as

$$\begin{aligned} y &= x \cdot \tan \theta - \mu_x \tan \theta + \mu_y + b, \\ y &= x \cdot \tan \theta - \mu_x \tan \theta + \mu_y - b, \end{aligned} \quad (1)$$

where b is $\sqrt{s\lambda_2} / \cos \theta$.

As shown in Fig. 1, an ellipse can be confined by a hexagon formed by two tangents (a and b) and the sides of the rectangle (c, d, e, f). Thus, we can perform three-step gating, first rejecting all the points outside the rectangle, then points not lying between the two tangents and finally applying an elliptic gate. On the one hand, computation of the eigenvalues and eigenvectors, constructing the equations of the two tangent lines and an additional check puts

extra computational load on the gating procedure. Moreover, the stated steps should be repeated for different pairs of state variables. On the other hand, chances are that a measurement will be rejected after performing hexagon gating over only a few pairs of state variables, without the necessity of going through them all. On the contrary, the Mahalanobis distance calculation assumes that the whole inverse covariance matrix should be computed prior to making any conclusions. Our hypothesis is that for multivariate cases, the proposed three-step gating procedure will be more efficient than the classic two-step rectangular-elliptic one.

The ideas represented in the previous section in their geometrical sense are to be applied to the linear Kalman filter problem. The complete algorithm is as follows.

Step 1. Calculate the predicted state for the problem being solved as

$$\hat{x}_k^- = Ax_{k-1} + Bu_{k-1} + w, \quad (2)$$

where $\hat{x}_k^-$ is the predicted state at step k , A is the state transition matrix, x_{k-1} is the estimated state at step $(k-1)$, u is the control input to the state, B is a matrix that links the control input to the state, and w is the process noise. The minus in the superscript of $\hat{x}_k^-$ reflects the fact that $\hat{x}_k^-$ is a prior, i.e., it is to be updated by a real measurement in order to obtain the posterior estimate. The exact value of w is unknown, however we can find the prior mean as

$$\hat{x}_k^- = Ax_{k-1} + Bu_{k-1},$$

since w is supposed to be zero-mean white noise.

Step 2. Represent the predicted state in the measurement space using

$$\hat{z}_k = H\hat{x}_k^- + v,$$

where $\hat{z}_k$ is the predicted measurement, H is the measurement function, v is the measurement noise.

Step 3. Get the real measurement z_k (the vector is composed of the current readings of different sensors) that corresponds to the prior $\hat{x}_k^-$.

Step 4. Calculate the difference $(\hat{z}_k - z_k)$, which is called the innovation, or the residual. Any normal measurement z_k should be scattered around the mean $(\hat{z}_k)$ no farther than three standard deviations away. As was stated earlier, in practice one should not be restricted to 3σ because pretty normal measurements can be met, for instance, 4σ away from the mean. Thus we use a more general notation $N\sigma$ instead of 3σ . For 2D problems $\hat{z}_k$ is the center of an ellipse, represented by covariance matrix P . For higher dimensions it is the center of a (hyper)ellipsoid, correspondingly. An outlier lies outside an $N\sigma$ ellipse or a (hyper)ellipsoid.

Step 5. Compute the prior's covariance as

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q,$$

where P_{k-1} is the prior's covariance matrix at the previous step and Q is the process noise covariance noise. Initialization of Q is not a trivial task, since not all state variables may be observed directly. One

should remember to initialize the prior's covariance matrix with non-zero values. Otherwise one obtains a “smug” filter which assumes the process model to be impeccable and ignores measurements completely. Here A is the same state transition matrix that has been already mentioned in (2).

Step 6. Apply the rectangular gate. If z_k does not pass the gate, it is rejected and the update for the current prediction is skipped. Otherwise Step 7 is taken.

Step 7. Chose the largest off-diagonal item σ_{ij} in matrix P_k^- . Should there be several such items, opt for lesser indices. Obviously, $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$ for any $i \neq j$.

Step 8. For the sub-matrix

$$\begin{bmatrix} \sigma_i^2 & \sigma_{ij} \\ \sigma_{ij} & \sigma_j^2 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

calculate the eigenvalues and eigenvectors and find the equations (1) for the two tangents parallel to the major axis of the error ellipse represented by sub-matrix (3) and selected confidence level.

Step 9. Substitute $\hat{z}_{ki}$ and $\hat{z}_{kj}$ into equations (1) found at Step 8 and check the signs of the calculated expressions. Do the same with z_{ki} and z_{kj} . The signs should coincide. If they do not, it means that the whole vector z_k failed to pass the gate. Thus it is rejected and the update for the current prediction is skipped. Otherwise, choose the next largest off-diagonal item in matrix P_k^- and repeat steps 8 – 9. The question is when to stop considering the error ellipse for the next pair of state variables. Obviously, there is no sense in running through all the possible pairs because each new pair increases the risk that one finally will have to apply the elliptic gate after having made all the redundant checks. It is clear that if the measurement had not been rejected when considering highly correlated state variables, it is unlikely to be rejected when checking loosely correlated ones. There are several ways of proceeding. We suggest that one should stop repeating steps 8 – 9 under either of the following conditions: 1) $1/4$ of the upper off-diagonal items have been already considered; 2) $\sigma_{ij_prev} / \sigma_{ij_curr} \geq 2$, where subindices $_prev$ and $_curr$ denote the previous and current steps, correspondingly. If one of these conditions holds true and the measurement still has not been rejected, Step 10 should be taken.

Step 10. The gate using the Mahalanobis distance assumes computation of

$$d = (\hat{z}_k - z_k)^T (P_k^-)^{-1} (\hat{z}_k - z_k).$$

If d exceeds some threshold, z_k is rejected, otherwise it is considered a legitimate measurement.

Verification of the algorithm has been done using theoretical reasoning and simulation. Inversion of an $n \times n$ matrix, when performed by optimized CW-like algorithms, can be reduced to $O(n^{2.373})$ and no more. The proposed algorithm assumes several matrix operations – finding the minimal item in an $n \times n$ matrix and solving several pairs of linear equations. It involves probabilities since there is no telling at which step the gate will be successful. Nevertheless, one can reasonably assume that for high-dimensional problems pair-wise operations are less computationally complex than inverse matrix calculation. In order to deal with probabilities, we performed the following steps. At the first step, we designed four linear Kalman filters with 2, 8, 12 and 16 state variables. An array of measurements, Z_k , were simulated by adding Gaussian noise to the state vectors $\hat{x}_k^-$ obtained at the prediction steps (500 predict-update steps were taken for each linear Kalman problem). Matrix R was filled with the numbers, corresponding to the variance and covariance of the artificially added noise terms.

At the second step, we generated a number of outliers as random numbers scattered more than 4σ away from each $\hat{x}_k^-$ value. The number changed from 1 to 10 % of measurements for each Kalman filter (we took a discrete range of 1%, 2%, 4%, 8% and 10%). In this way a new array, $Z_{k_outlier}$, was constructed for each case (in total, 20 specimens of array $Z_{k_outlier}$ were obtained).

At the third step, we benchmarked our gating algorithm against the classic rectangular-elliptic one. During this step we evaluated the execution time taken by the two concurrent procedures and the amount of times the elliptic gate has been applied. Additionally, we checked the performance of the Kalman filter for each text case. Since we dealt with simulated data and no real measurements, for

evaluation of the Kalman filter performance it is allowed to use the normalized estimated error squared (NEES), which is defined as:

$$\varepsilon = \tilde{x}^T P^{-1} \tilde{x}, \text{ where } \tilde{x} = x - \hat{x}.$$

The filter stores its own estimate of its error in the covariance matrix. However, the latter cannot serve as an indicator of the filter performance. One can quite often observe a diverging filter whose covariance matrix is getting smaller at each step. As the covariance matrix gets smaller, the NEES gets larger for the same error [14]. Since the whole system is simulated, it is trivial to calculate $\tilde{x}$. Obviously, this approach is not applicable for real-data systems. Both gating procedures refer to the elliptic gate, which is considered to be very accurate, each time when a measurement manages to pass the previous gate(s). That is why it is expected that both procedures have the same accuracy. The NEES was used only for an additional control and in practice it has proved the same accuracy for the two procedures, as expected. On the contrary, the execution time of the two gating procedures was completely different. The proposed algorithm proved to be inefficient for 2D problems. However, for higher dimensions it showed good results, as one might expect from theoretical reasoning. Despite the fact that the results were obtained by generating limited amounts of random numbers, they are sufficient to illustrate (but not strictly prove) that our hypothesis about an additional gates was true.

Conclusions and future work. A modified gating algorithm has been presented. Its main difference with the known solutions consists in an interim step, which is taken after applying the rectangular gate and before the elliptic one. The algorithm considers highly correlated variables in a pair-wise fashion, computes the axes and tilt angles for the corresponding confidence ellipses and the tangents parallel to their major axes. Thus it allows rejection of points outside the confidence ellipses that the rectangular gate has failed to detect. Numerical experiments and theoretical considerations have shown that on average the proposed gating algorithm has less computational complexity than the rectangular-elliptic one due to avoidance of calculating the inverted covariance matrix. Several improvements to the algorithm are possible. Firstly, the criterion of selecting pairs of variables can be revised. The ratios between the variances and covariances can be taken into account. Secondly, the condition for stopping selection of new variable pairs can be chosen more thoroughly. Finally, the exact dependencies between the algorithm efficacy and the problem dimensionality and the probability of outlier occurrence are to be discovered yet. These issues comprise the scope of our future work.

References

1. **Faragher R.** Understanding the Basis of the Kalman Filter Via a Simple and Intuitive Derivation / R. Faragher // IEEE Signal Processing Magazine. – 2012. – P. 128 – 132.
2. **Rhudy M., Gu Y., Napolitano M.** An Analytical Approach for Comparing Linearization Methods in EKF and UKF / M. Rhudy, Y. Gu, M. Napolitano // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2013. – vol. 10, no. 208.
3. **Julier S., Uhlmann J.** Unscented filtering and nonlinear estimation / S. Julier, J. Uhlmann // Proc. IEEE. – 2004. – vol. 92, no. 3. – P. 401–422.
4. **Batista A., da Motta Pires P.** An Approach to Outlier Detection and Smoothing Applied to a Trajectory Radar Data / A. Batista, P. da Motta Pires // J. Aerosp. Technol. Manag. – 2014. – vol. 6, no. 3. – P. 237–248.
5. **Berman Z.** Outliers rejection in Kalman filtering – Some new observations / Z. Berman // 2014 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium: proc. of conf. PLANS 2014, 5-8 May 2014, Monterey, USA. – IEEE publisher, 2014.
6. **Robust Extended Kalman Filtering for Systems with Measurement Outliers** [Electronic resource]. – 2019. – Access mode: <https://arxiv.org/abs/1904.00335>.
7. **Sarkka S., Nummenmaa A.** Recursive noise adaptive Kalman filtering by variational Bayesian approximations / S. Sarkka, A. Nummenmaa // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2009. – vol. 54, no. 3. – P. 596–600.
8. **Ting J., Theodorou E., Schaal S.** A Kalman filter for robust outlier detection / J. Ting, E. Theodorou, S. Schaal // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 29 Oct.- 2 Nov 2007, San Diego, USA. – IEEE publisher, 2014. – P. 1514–1519.
9. **Agamennoni G., Nieto J., Nebot E.** An outlier-robust Kalman filter / G. Agamennoni, J. Nieto, E. Nebot // IEEE International Conference on Robotics and Automation, 9-13 May 2011, Shanghai, China. – IEEE publisher, 2011. – P. 1551–1558.
10. **Gandhi M., Mili L.** Robust Kalman filter based on a generalized maximum-likelihood-type estimator / M. Gandhi, L. Mili // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2010. – vol. 58, no. 5. – P. 2509–2520.
11. **De Palma D., Indiveri G.** Output outlier robust state estimation / D. De Palma, G. Indiveri // International Journal of Adaptive Control and Signal Processing. – 2017. – vol. 31, no. 4. – P. 581–607.
12. **Yong S., Zhu M., Frazzoli E.** A unified filter for simultaneous input and state estimation of linear discrete-time stochastic systems / S. Yong, M. Zhu, E. Frazzoli // Automatica. – 2016. – vol. 63. – P. 321–329.
13. **Fang H., Shi Y., Yi J.** On stable simultaneous input and state estimation for discrete-time linear systems / H. Fang, Y. Shi, J. Yi // International Journal of Adaptive Control and Signal Processing. – 2011. – vol. 25, no. 8. – P. 671–686.

14. Labbe R. Kalman and Bayesian Filters in Python [Electronic resource]. – 2018. – Access mode: <https://archive.org/details/KalmanAndBayesianFiltersInPython/mode/2up>

15. Nguyen V., Claussen T. Reducing computational complexity of gating procedures using sorting algorithms / V. Nguyen, T. Claussen // Proceedings of the 16th International Conference on Information Fusion, 9-12 July 2013, Istanbul, Turkey. – IEEE Publisher, 2013. – P. 1707–1713.

The editorial board received a manuscript on 13.05.2020

УДК 62-836:629

М. В. ХВОРОСТ, д-р техн. наук, проф., Р. В. ВОРОНОВ, асистент
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

СПОСТЕРІГАЧ СТАНУ ТЯГОВОЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ З ДВОМА АСИНХРОННИМИ ДВИГУНАМИ, ЩО ЖИВЛЯТЬСЯ ВІД ОДНОГО ІНВЕРТОРА

Мета роботи. Виконати аналіз тягової електромеханічної системи, у якій живлення декількох асинхронних двигунів здійснюється від одного інвертора, при оцінці змінних стану кожного двигуна за допомогою адаптивного спостерігача.

Методи дослідження. Аналіз рівнянь стану асинхронного двигуна здійснювався з використанням математичних методів диференційного числення, аналіз процесів у тяговій електромеханічній системі здійснювався шляхом математичного моделювання, робота напівпровідникового перетворювача (інвертора) моделювалася з використанням методу перемикаючих функцій.

Наукова новизна. У роботі запропоновано структуру та порядок розрахунку коефіцієнтів адаптивного спостерігача стану асинхронного двигуна у складі електромеханічної системи з живленням декількох двигунів від одного інвертора.

Практична значимість полягає у розробці практичних рішень, які можуть стати основою синтезу алгоритмів керування тяговими електромеханічними системами, у яких здійснюється керування декількома двигунами змінного струму від одного інвертора. Така ситуація є типовою для залізничного транспорту, а тому використання розроблених підходів може слугувати для подальшого покращення показників енергоефективності та точності керування.

Результати. У роботі розглянуто рівняння стану асинхронного двигуна та на їх основі розроблено адаптивний спостерігач стану та запропоновано підхід до розрахунку коефіцієнтів спостерігача задля забезпечення його стійкості. Оскільки важливою умовою функціонування системи векторного керування є коректна орієнтація системи координат, що обертається, то у випадку живлення декількох двигунів від одного інвертора орієнтація даної системи координат повинна здійснюватися за усередненим потокозчепленням ротора двигунів. Представлено аналітичні залежності, що описують зміну усереднених величин при наявності відхилень у параметрах двигунів, що відповідає реальним умовам функціонування. Розглянуто метод розрахунку сигналів завдання контурів керування струму з урахуванням наявності відхилень у параметрах двигунів, що дозволяє підвищити точність керування та інші показники якості. Розроблену систему досліджено шляхом математичного моделювання, результати якого свідчать про те, що використання адаптивного спостерігача стану дозволяє забезпечити функціонування багатодвигунної системи без використання датчиків магнітного потоку та кутової швидкості.

Ключові слова: асинхронний двигун, інвертор, векторне керування, потокозчеплення ротора, кутова швидкість, спостерігач стану

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-31-36

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. За останні десятиліття завдяки бурхливому розвитку мікропроцесорної техніки та силової електроніки було розроблено чимало систем регульованого електроприводу змінного струму. Проте, у більшості таких систем виробники не передбачають можливість здійснення керування декількома двигунами від одного інвертора, обмежуючи можливість функціонування такої системи лише у режимі скалярного керування, що суттєво знижує показники якості керування та енергоефективність. В даний час до найбільш популярних випадків, де здійснюється живлення декількох двигунів змінного струму від одного інвертора відносяться тягові електромеханічні системи залізничного транспорту та електроприводи рольгангів у металургійному виробництві. Проте, наявність ефективних підходів до побудови систем керування такими багатодвигунними системами дозволило б розширити сферу їх застосування, оскільки зменшення кількості інверторів, що використовуються, дозволило б досягти меншої вартості та зменшення габаритних розмірів.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідження тягових електромеханічних систем змінного струму [1-5] є актуальною задачею, оскільки відбувається поступове витіснення двигунів пос-

тійного струму, а існуючі варіанти систем векторного керування, що виготовляються серійно, не передбачають можливість живлення декількох двигунів від одного інвертора. У [6] розглянуто показники якості керування дводвигунної системи, що живиться від одного інвертора, та виконано порівняння систем ведучий – ведений та систем з усередненням змінних стану двигунів з використанням методу малих сигналів. З цією метою було отримано передаточну функцію, яка зв'язує малий вихідний сигнал моменту з малим сигналом завдання та досліджено її реакцію на ступінчастий вхідний сигнал. Проте, отримані рішення є актуальними лише для випадку двох двигунів, функціонування систем з більшою кількістю двигунів не розглядалося. У [7, 8] досліджуються аналогічні варіанти систем, але з використанням синхронних двигунів з постійними магнітами у якості тягових, в тому числі на прикладі електромобіля Chevrolet Volt. Проте, внутрішні процеси та зовнішні характеристики таких двигунів суттєво відрізняються від асинхронних через те, що у них відсутнє ковзання, що означає ідентичність швидкостей обертання поля машини та її ротора. Тому в даному випадку немає підстав стверджувати, що розроблені рішення можуть застосовуватися для асинхронних двигунів без відповідної корекції системи керування.

Постановка задачі. Виконати аналіз тягової електромеханічної системи, у якій живлення декількох асинхронних двигунів здійснюється від одного інвертора, при оцінці змінних стану кожного двигуна за допомогою адаптивного спостерігача. Розробити підхід до розрахунку сигналів керування струмовими контурами системи векторного керування багатодвигунної системи. Виконати дослідження розробленої системи шляхом математичного моделювання.

Викладення матеріалу та результати. Асинхронний двигун у нерухомій відносно статора системі координат може бути описаний наступними рівняннями

$$\begin{aligned} \frac{di_{s\alpha}}{dt} &= \left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{(1-\sigma)R_r}{L_r} \right) i_{s\alpha} + \frac{L_m L_r R_r}{\sigma L_s L_r^2} \psi_{r\alpha} + \frac{L_m \omega_r}{\sigma L_s L_r} \psi_{r\beta} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{s\alpha}; \\ \frac{di_{s\beta}}{dt} &= \left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{(1-\sigma)R_r}{L_r} \right) i_{s\beta} - \frac{L_m \omega_r}{\sigma L_s L_r} \psi_{r\alpha} + \frac{L_m L_r R_r}{\sigma L_s L_r^2} \psi_{r\beta} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{s\beta}; \\ \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} &= \frac{R_r L_m}{L_r} i_{s\alpha} - \frac{R_r}{L_r} \psi_{r\alpha} - \omega_r \psi_{r\beta}; \\ \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} &= \frac{R_r L_m}{L_r} i_{s\beta} + \omega_r \psi_{r\alpha} - \frac{R_r}{L_r} \psi_{r\beta}; \\ T_e &= \frac{L_m p}{L_r} (i_{s\alpha} \psi_{r\beta} - i_{s\beta} \psi_{r\alpha}); \\ \sigma &= 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}, \end{aligned}$$

де $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$ – проекції вектору струму статора на осі нерухомої відносно статора системи відліку $\alpha\beta$; R_s , R_r – активні опори обмоток статора і ротора асинхронного двигуна; L_s , L_r – власна індуктивність обмоток статора і ротора; L_m – взаємна індуктивність обмоток статора і ротора; σ – коефіцієнт розсіювання двигуна; ω_r – електрична частота обертання валу двигуна; p – кількість пар полюсів; $u_{s\alpha}$, $u_{s\beta}$ – проекції вектору напруги статора на осі нерухомої відносно статора системи відліку $\alpha\beta$; $\psi_{r\alpha}$, $\psi_{r\beta}$ – проекції вектору потокозчеплення ротора на осі нерухомої відносно статора системи відліку $\alpha\beta$.

Використання системи векторного керування двигунами змінного струму вимагає наявності інформації щодо величини та положення вектору потокозчеплення ротора. Це можна забезпечити за допомогою вимірювання величини магнітного потоку або шляхом її непрямої оцінки. Конструкції тягових асинхронних двигунів, як правило, не передбачають можливість встановлення всередину датчиків магнітного потоку, тому більш доцільним рішенням є використання математичних підходів до ідентифікації змінних стану електромеханічної системи. Адаптивний спостерігач потокозчеплення ротора асинхронного двигуна може бути описаний наступними рівняннями

$$\begin{aligned} \frac{d\hat{i}_{s\alpha}}{dt} &= \left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{(1-\sigma)R_r}{L_r} \right) \hat{i}_{s\alpha} + \frac{L_m L_r R_r}{\sigma L_s L_r^2} \hat{\psi}_{r\alpha} + \frac{L_m \omega_r}{\sigma L_s L_r} \hat{\psi}_{r\beta} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{s\alpha} + k_1 (\hat{i}_{s\alpha} - i_{s\alpha}) - \\ &- k_2 (\hat{i}_{s\beta} - i_{s\beta}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{d\hat{i}_{s\beta}}{dt} &= \left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{(1-\sigma)R_r}{L_r} \right) \hat{i}_{s\beta} - \frac{L_m \hat{\omega}_r}{\sigma L_s L_r} \hat{\psi}_{r\alpha} + \frac{L_m L_r R_r}{\sigma L_s L_r^2} \hat{\psi}_{r\beta} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{s\beta} + k_2(\hat{i}_{s\alpha} - i_{s\alpha}) + \\ &+ k_1(\hat{i}_{s\beta} - i_{s\beta}); \\ \frac{d\hat{\psi}_{r\alpha}}{dt} &= \frac{R_r L_m}{L_r} \hat{i}_{s\alpha} - \frac{R_r}{L_r} \hat{\psi}_{r\alpha} - \hat{\omega}_r \hat{\psi}_{r\beta} + k_3(\hat{i}_{s\alpha} - i_{s\alpha}) - k_4(\hat{i}_{s\beta} - i_{s\beta}); \\ \frac{d\hat{\psi}_{r\beta}}{dt} &= \frac{R_r L_m}{L_r} \hat{i}_{s\beta} + \hat{\omega}_r \hat{\psi}_{r\alpha} - \frac{R_r}{L_r} \hat{\psi}_{r\beta} + k_4(\hat{i}_{s\alpha} - i_{s\alpha}) + k_3(\hat{i}_{s\beta} - i_{s\beta}),\end{aligned}$$

де $\hat{i}_{s\alpha}$, $\hat{i}_{s\beta}$ – оцінка проекцій вектору струму статора на осі нерухомої відносно статора системи відліку $\alpha\beta$ адаптивним спостерігачем стану; $\hat{\psi}_{r\alpha}$, $\hat{\psi}_{r\beta}$ – оцінка проекцій вектору потокозчеплення ротора на осі нерухомої відносно статора системи відліку $\alpha\beta$ адаптивним спостерігачем стану; k_1 , k_2 , k_3 , k_4 – коефіцієнти адаптивного спостерігача стану асинхронного двигуна.

Вибір значень коефіцієнтів адаптивного спостерігача стану асинхронного двигуна здійснюється, виходячи з необхідності забезпечення стійкого функціонування спостерігача. Тому доцільно розраховувати дані коефіцієнти таким чином, щоб полюси спостерігача були пропорційними до полюсів асинхронного двигуна. В цьому випадку значення коефіцієнтів слід знаходити наступним чином

$$\begin{aligned}k_1 &= (k-1) \left(\frac{R_s}{\sigma L_s} - \frac{\sigma R_r}{L_r} \right); \\ k_2 &= (k-1) \hat{\omega}_r; \\ k_3 &= -(k^2-1) \left(\frac{R_s L_r - \sigma^2 R_r L_s}{L_m} + \frac{L_m R_r}{L_r} \right) + (k-1) \frac{\sigma L_s L_r}{L_m} \left(\frac{R_s}{\sigma L_s} - \frac{(\sigma+1)R_r}{L_r} \right); \\ k_4 &= (k-1) \frac{\sigma L_s L_r}{L_m} \hat{\omega}_r.\end{aligned}$$

Використання даного спостерігача стану дозволяє виконувати непряме оцінювання не лише величин проекцій вектору потокозчеплення ротора у нерухомій відносно статора системі відліку $\alpha\beta$, а й величини кутової швидкості, що дозволяє спростити структуру системи за рахунок усунення механічного датчика з валу двигуна.

У такому випадку оцінювати величину кутової швидкості можна з використанням наступного виразу

$$\hat{\omega}_r = K_{\Pi} \left(\psi_{r\beta}(\hat{i}_{s\alpha} - i_{s\alpha}) - \hat{\psi}_{r\alpha}(\hat{i}_{s\beta} - i_{s\beta}) \right) + K_i \int \left(\psi_{r\beta}(\hat{i}_{s\alpha} - i_{s\alpha}) - \hat{\psi}_{r\alpha}(\hat{i}_{s\beta} - i_{s\beta}) \right) dt,$$

де K_{Π} та K_i – коефіцієнти пропорційної та інтегральної частин адаптивного алгоритму.

Розглянемо випадок з живленням трьох асинхронних двигунів від одного інвертора та запишемо складові векторів струму через відповідні середні значення $i_{s\alpha\text{сеп}}$, $i_{s\beta\text{сеп}}$, а також відповідні відхилення складових струму між собою $\Delta i_{s12\alpha}$, $\Delta i_{s12\beta}$, $\Delta i_{s23\alpha}$, $\Delta i_{s23\beta}$, $\Delta i_{s13\alpha}$ та $\Delta i_{s13\beta}$:

$$\begin{aligned}i_{s\alpha\text{сеп}} &= \frac{i_{s\alpha1} + i_{s\alpha2} + i_{s\alpha3}}{3}; \\ i_{s\beta\text{сеп}} &= \frac{i_{s\beta1} + i_{s\beta2} + i_{s\beta3}}{3}; \\ \Delta i_{s12\alpha} &= \frac{1}{2}(i_{s\alpha1} - i_{s\alpha2}); \quad \Delta i_{s12\beta} = \frac{1}{2}(i_{s\beta1} - i_{s\beta2}); \\ \Delta i_{s23\alpha} &= \frac{1}{2}(i_{s\alpha2} - i_{s\alpha3}); \quad \Delta i_{s23\beta} = \frac{1}{2}(i_{s\beta2} - i_{s\beta3}); \\ \Delta i_{s13\alpha} &= \frac{1}{2}(i_{s\alpha1} - i_{s\alpha3}); \quad \Delta i_{s13\beta} = \frac{1}{2}(i_{s\beta1} - i_{s\beta3}).\end{aligned}$$

Тоді складові струмів двигунів можна записати так

$$\begin{aligned}i_{s\alpha1} &= i_{s\alpha\text{сеп}} + \frac{2}{3}(\Delta i_{s12\alpha} - \Delta i_{s13\alpha}); \quad i_{s\beta1} = i_{s\beta\text{сеп}} + \frac{2}{3}(\Delta i_{s12\beta} - \Delta i_{s13\beta}); \\ i_{s\alpha2} &= i_{s\alpha\text{сеп}} + \frac{2}{3}(\Delta i_{s23\alpha} - \Delta i_{s12\alpha}); \quad i_{s\beta2} = i_{s\beta\text{сеп}} + \frac{2}{3}(\Delta i_{s23\beta} - \Delta i_{s12\beta}); \\ i_{s\alpha3} &= i_{s\alpha\text{сеп}} + \frac{2}{3}(\Delta i_{s13\alpha} - \Delta i_{s23\alpha}); \quad i_{s\beta3} = i_{s\beta\text{сеп}} + \frac{2}{3}(\Delta i_{s13\beta} - \Delta i_{s23\beta}).\end{aligned}$$

У випадку живлення трьох двигунів від одного інвертора найважливішим питанням, що стосується здійснення керування є вплив орієнтації системи координат, що обертається синхронно, за усередненим полем машини на показники якості керування. Розглянемо рівняння динаміки зміни складових поточкозчеплень двигуна у системі координат dq , що обертається

$$\begin{aligned}\frac{d\psi_{rd}}{dt} &= \frac{L_m R_r}{L_r} i_{sd} - \frac{R_r}{L_r} \psi_{rd} - (\omega_s - \omega_r) \psi_{rq}; \\ \frac{d\psi_{rq}}{dt} &= \frac{L_m R_r}{L_r} i_{sq} + (\omega_s - \omega_r) \psi_{rd} - \frac{R_r}{L_r} \psi_{rq},\end{aligned}$$

де ω_s – частота обертання поля машини.

Як правило, параметри двигунів, що живляться від одного інвертора, можуть мати певні відхилення між собою. В такому випадку середні значення параметрів обмоток двигунів та відхилення між ними розраховуються аналогічним чином до складових векторів струму статора. Тоді з використанням усереднених значень рівняння складових векторів поточкозчеплення двигунів будуть мати наступний вигляд

$$\begin{aligned}& \frac{d\psi_{rdcep}}{dt} + \frac{R_{rcep}}{L_{rcep}} \psi_{rdcep} - (\omega_s - \omega_{rcep}) \psi_{rqcep} + \\& + \frac{1}{3} \left(\Delta\psi_{rd1} \frac{\Delta R_{r1}}{\Delta L_{r1}} - \Delta\psi_{rq1} \Delta\omega_{r1} + \Delta\psi_{rd2} \frac{\Delta R_{r2}}{\Delta L_{r2}} - \Delta\psi_{rq2} \Delta\omega_{r2} + \Delta\psi_{rd3} \frac{\Delta R_{r3}}{\Delta L_{r3}} - \Delta\psi_{rq3} \Delta\omega_{r3} \right) = \\& = \frac{L_{mcep} R_{rcep}}{L_{rcep}} i_{sdcep} + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta L_{m1} \Delta R_{r1}}{\Delta L_{r1}} \Delta i_{sd1} + \frac{\Delta L_{m2} \Delta R_{r2}}{\Delta L_{r2}} \Delta i_{sd2} + \frac{\Delta L_{m3} \Delta R_{r3}}{\Delta L_{r3}} \Delta i_{sd3} \right); \\& \frac{d\psi_{rqcep}}{dt} + (\omega_s - \omega_{rcep}) \psi_{rdcep} + \frac{R_{rcep}}{L_{rcep}} \psi_{rqcep} + \\& + \frac{1}{3} \left(\Delta\psi_{rd1} \Delta\omega_{r1} + \Delta\psi_{rq1} \frac{\Delta R_{r1}}{\Delta L_{r1}} + \Delta\psi_{rd2} \Delta\omega_{r2} + \Delta\psi_{rq2} \frac{\Delta R_{r2}}{\Delta L_{r2}} + \Delta\psi_{rd3} \Delta\omega_{r3} + \Delta\psi_{rq3} \frac{\Delta R_{r3}}{\Delta L_{r3}} \right) = \\& = \frac{L_{mcep} R_{rcep}}{L_{rcep}} i_{sqcep} + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta L_{m1} \Delta R_{r1}}{\Delta L_{r1}} \Delta i_{sq1} + \frac{\Delta L_{m2} \Delta R_{r2}}{\Delta L_{r2}} \Delta i_{sq2} + \frac{\Delta L_{m3} \Delta R_{r3}}{\Delta L_{r3}} \Delta i_{sq3} \right),\end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned}\omega_{rcep} &= \frac{\omega_{r1} + \omega_{r2} + \omega_{r3}}{3}; \quad \psi_{rdcep} = \frac{\psi_{rd1} + \psi_{rd2} + \psi_{rd3}}{3}; \quad \psi_{rqcep} = \frac{\psi_{rq1} + \psi_{rq2} + \psi_{rq3}}{3}; \\ \Delta\omega_{r1} &= \omega_{r1} - \omega_{rcep}; \quad \Delta\psi_{rdcep} = \psi_{rd1} - \psi_{rdcep}; \quad \Delta\psi_{rqcep} = \psi_{rq1} - \psi_{rqcep}.\end{aligned}$$

Якщо параметри двигунів є ідентичними, то вищенаведені рівняння значно спрощуються, що дозволяє здійснювати керування лише за середніми змінними.

Для здійснення керування такою системою необхідно розробити підхід до розрахунку сигналів завдання струмових контурів, а зовнішні контури поточкозчеплення ротора і кутової швидкості будувати за аналогією з традиційними системами. Проведений аналіз рівнянь стану багатодвигунної електромеханічної системи дозволив отримати наступні залежності для розрахунку сигналів завдання проекцій струму статора на осі системи dq , що обертається синхронно

$$\begin{aligned}i_{sd}^* &= \frac{1}{L_{mcep}} \psi_{rdcep} + \\& + \frac{L_{rcep}}{3R_{rcep}L_{mcep}} \left(\left(\left(\frac{\Delta R_{r1}}{\Delta L_{r1}} + \Delta\omega_{r1} \right) \Delta\psi_{rd1} + \left(\frac{\Delta R_{r2}}{\Delta L_{r2}} + \Delta\omega_{r1} \right) \Delta\psi_{rd2} + \left(\frac{\Delta R_{r3}}{\Delta L_{r3}} + \Delta\omega_{r1} \right) \Delta\psi_{rd3} \right) \right. \\& \left. - \left(\frac{\Delta R_{r1} \Delta L_{m1}}{\Delta L_{r1}} \Delta i_{sd1} + \frac{\Delta R_{r2} \Delta L_{m2}}{\Delta L_{r2}} \Delta i_{sd2} + \frac{\Delta R_{r3} \Delta L_{m3}}{\Delta L_{r3}} \Delta i_{sd3} \right) \right); \\i_{sq}^* &= \frac{1}{\psi_{rdcep}} \left(\frac{T^*}{pL_{mcep}} - \right. \\& \left. - \frac{1}{3} (\Delta\psi_{rd1} \Delta i_{sq1} + \Delta\psi_{rd2} \Delta i_{sq2} + \Delta\psi_{rd3} \Delta i_{sq3} - \Delta\psi_{rq1} \Delta i_{sd1} - \Delta\psi_{rq2} \Delta i_{sd2} - \Delta\psi_{rq3} \Delta i_{sd3}) \right).\end{aligned}$$

Для дослідження запропонованої системи була розроблена математична модель у середовищі Matlab/Simulink. Умови моделювання формувалися таким чином, що три асинхронні двигуни з відхиленнями у параметрах схеми заміщення $\pm 20\%$, отримують живлення від одного

інвертора. Працюючи в усталеному режимі, відбувалась зміна моментів навантаження окремих двигунів. Отримані результати продемонстрували, що запропонована система знаходить нову робочу точку без втрати швидкодії у порівнянні з традиційною системою векторного керування при індивідуальному живленні двигуна від інвертора.

Висновки. У роботі розглянуто рівняння стану асинхронного двигуна та на їх основі зроблено адаптивний спостерігач стану та запропоновано підхід до розрахунку коефіцієнтів спостерігача задля забезпечення його стійкості. Оскільки важливою умовою функціонування системи векторного керування є коректна орієнтація системи координат, що обертається, то у випадку живлення декількох двигунів від одного інвертора орієнтація даної системи координат повинна здійснюватися за усередненим потокозчепленням ротора двигунів. Представлено аналітичні залежності, що описують зміну усереднених величин при наявності відхилень у параметрах двигунів, що відповідає реальним умовам функціонування. Розглянуто метод розрахунку сигналів завдання контурів керування струму з урахуванням наявності відхилень у параметрах двигунів, що дозволяє підвищити точність керування та інші показники якості. Розроблену систему досліджено шляхом математичного моделювання, результати якого свідчать про те, що використання адаптивного спостерігача стану дозволяє забезпечити функціонування багатодвигунної системи без використання датчиків магнітного потоку та кутової швидкості.

Список літератури

1. Козакевич І.А. Енергоефективні режими гальмування тягових асинхронних електроприводів / І.А. Козакевич, Ю.Г. Осадчук, А.Л. Аміров // Вісник Криворізького національного університету. – 2017. – Вип. 45. – С. 122-127.
2. Козакевич І.А. Дослідження роботи синхронного двигуна з постійними магнітами в гібридних тягових електроприводах / І.А. Козакевич, І.В. Касаткіна, Л.В. Єрьоменко // Гірничий випуск. – 2018. – Вип. 104. – С. 106-110.
3. Козакевич І.А. Система керування вентильними реактивними двигунами / І.А. Козакевич, І.І. Шевченко // Гірничий вісник. – 2017. – Вип. 102. – С. 135-138.
4. Козакевич І.А. Керування потоками потужності гібридних транспортних засобів / І.А. Козакевич, Ю.Г. Осадчук, Р.А. Ільченко // Гірничий випуск. – 2017. – Вип. 102. – С. 124-129.
5. Sinchuk O. Research of regenerative braking of traction permanent magnet synchronous motors / O. Sinchuk, I. Kozakevich // Modern Electrical and Energy Systems: proceedings of the International Conference MEES. – 2017. – P. 92-95.
6. Joshi B.M. Two-motor single inverter field-oriented induction machine drive dynamic performance / B.M. Joshi, M.C. Chandorkar // Sadhana. – Indian Academy of Sciences. – 2014. – Vol. 39, iss. 2. – P. 391-407.
7. Nagano T. Design of multi-parallel drive technique for system with numbers of Permanent Magnet Synchronous Motors / T. Nagano, J. Itoh // IEEE 2013: proceedings of 10th International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS). – 2013.
8. Henry J. Modeling and simulation of the 2016 Chevy Volt in dual PMSM EV mode / J. Henry, A. Abdelrahman, M. Youssef // IEEE 2017: proceedings of International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE). – 2017. DOI:10.1109/sege.2017.8052776.
9. Заполовский Н.И. Моделирование тягового электропривода дизель поезда с учетом сцепления колесных пар с рельсами / Н.И. Заполовский, С.И. Червонный, Р.М. Грыб // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2006. – № 23. – С. 61-66.
10. Nicolae P.M. Direct flux vector control for dual-three phase induction motor drives / P.M. Nicolae, M. C. Nitu, D. Constantin // 4th International Youth Conference on Energy. – 2013. – P. 1-5.
11. Somasekhar V. T. Effect of zero-vector placement in dual-inverter fed open-end winding induction-motor drive with a decoupled space-vector PWM strategy / V. T. Somasekhar, S. Srinivas, K. K. Kumar // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2008. – Vol. 55, iss. 6. – P. 2497-2505.
12. Janous S. Predictive control of parallel induction motors fed by single inverter with common current sensors / S. Janous, J. Talla, Z. Peroutka, V. Smidl // 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. – 2018. – P. 5843-5848.
13. Chinmaya K.A. Analysis of space vector PWM techniques for dual three-phase induction machine / K.A. Chinmaya, G.K. Singh // Innovations in Power and Advanced Computing Technologies. – 2017. – Pp. 1-5.
14. Ghani P. Analysis of electromechanical model of traction system with single inverter dual induction motor / P. Ghani, M. Arasteh, H.R. Tayebi // 7th Power Electronics and Drive Systems Technologies Conference. – 2016. – Pp. 99-104.
15. Логинова Е.Ю. Исследование динамических процессов в электроприводе локомотива с использованием Simulink/MATLAB / Е.Ю. Логинова, Бурэн-Ингэл Гантумур // Электронный журнал Cloud of Science. – 2015. – Том 2. №1. – С. 89-99.
16. Космодамианский А.С. Прямое управление моментом асинхронных двигателей при их питании от одного преобразователя частоты / А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, А.А. Пугачев // Электротехника. – 2015. – №9. – С. 29-35.

17. Qi L. Study of speed-sensorless weighted vector control of parallel connected induction motors drive / L. Qi, C. Weng, X. You // International Power Electronics and Application Conference and Exposition. – 2014. – P. 553-559.
18. Веселов Г.Е. Синергетическая система управления тяговым электроприводом / Г.Е. Веселов, И.А. Радионов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2012. – №5 (130). – С. 42-47.
19. Nakajima A. Vector control of two induction motor drives fed by matrix converter / A. Nakajima, K. Sakaki, K. Sankashita, H. Kubota // IECON 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. – 2014. – P. 4873-4878.
20. Кручек В.А. Коэффициент использования сцепной массы локомотива с групповым тяговым приводом колесных пар / В.А. Кручек, А.В. Грищенко, Т.С. Титова // Известия Петербургского университета путей и сообщения. – 2017. – Том 14, № 2. – С. 267 – 279.

Рукопис подано до редакції 26.02.2020

УДК 669.15-198:538.953

О.С. ВОДЕННИКОВА, канд. техн. наук, доц., Запорізький національний університет
 О.Б. МАТЯШЕВА, викл., Запорізький металургійний коледж Запорізького національного університету
 Л.В. ВОДЕННИКОВА, асист., Запорізький державний медичний університет
 Д.Ю. БОБОШКО, канд. техн. наук, Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОНЕНТІВ ШИХТИ ДЛЯ ВИПЛАВКИ МАЛОФОСФОРИСТОГО ШЛАКУ

Мета. Метою роботи є дослідження теплофізичних властивостей компонентів шихти для виплавки малофосфористого шлаку для пошуку складів шихт з мінімальним теплоспоживанням.

Поставлена мета в роботі вирішується наступними завданнями:
 експериментально визначити теплофізичні властивості (тепловміщення, питому теплоємність, коефіцієнт теплопровідності) компонентів шихти для виплавки МФШ;

проаналізувати аналітичні залежності теплофізичних характеристик шихтових матеріалів від температури та визначити оптимальний склад шихти з мінімальним теплоспоживанням.

Методи досліджень. При узагальненні та аналізі науково-технічної літератури з напрямку удосконалення технології виробництва передільного малофосфористого шлаку використовувався комплексний підхід. Дослідження хімічного складу шихти для виплавки МФШ проводили за допомогою хімічного аналізу, а гранулометричний склад шихти визначали за допомогою ситового аналізу. Виконано обробку та аналіз експериментальних даних залежності теплофізичних характеристик компонентів шихти від температури.

Наукова новизна. Запропоновано підхід к оптимізації складу компонентів шихти при виплавці МФШ за рахунок вибору шихтових матеріалів, які володіють низькою питомою теплоємністю, що дозволяє удосконалювати технологічний режим виплавки МФШ, знизити витрати електроенергії на 15-20% та знизити собівартість готового продукту.

Практичне значення. Використання МФШ, отриманого з застосування низькотеплоємних шихт (з використанням у шихті замість кварциту та частини дефіцитного коксу відходів вуглезабагачення коксохімічного виробництва та відходів виробництва вторинного алюмінію), на стадії виплавки металевго марганцю дасть змогу знизити кратність шлаку, що в свою чергу призводить до підвищення витягу марганцю в шлак на 2%.

Результати. Дослідженнями теплофізичних властивостей компонентів шихти для виплавки МФШ встановлено вплив питомої теплоємності шихти на енергозбереження та запропоновано низькотеплоємний склад шихти, використання якого дозволить знизити витрату коксу на відновлення в 1,3-1,9 рази, зекономити до 20% електроенергії та відповідно знизити собівартості МФШ.

Ключові слова: малофосфористий шлак, склад шихти, теплофізичні властивості, питома теплоємність, теплопровідність, теплоспоживання.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-36-41

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Відомо, що трьохстадійна технологія виробництва металевго марганцю заснована на виплавці передільного малофосфористого шлаку (МФШ) селективним відновленням заліза і фосфору з марганцеворудної сировини періодичним процесом; отримання передільного низьковуглецевого висококремністого силікомарганцю безперервним вуглетермічним процесом та саме виробництво металевго марганцю силікотермічним процесом [1].

Виплавка силікомарганцю з зниженим вмістом фосфору потребує значної витрати малофосфористого шлаку, що призводить до підвищення його собівартості не тільки за рахунок використання більш дорогої сировини, але і за рахунок різкого зниження показників виробни-

цтва сплаву [2]. Так головними проблемами при виплавці МФШ є підвищена питома витрата електроенергії та необхідність використання у шихті кремнійвмісних компонентів (наприклад, відсіву кварциту) для досягнення низької в'язкості розплаву МФШ [3].

При виплавці малофосфористого шлаку фосфор переважно переходить у супутрий метал, але деяка його частка залишається у шлаку у вигляді P_2O_5 . Тому проблема зменшення вмісту фосфору в шлаку шляхом пошуку нових складів шихт є актуальною та гостро стоїть перед феросплавною галуззю.

При запропонуванні нового складу шихти або поліпшенні існуючого (базового) складу при виплавці МФШ одним із завдань є вивчення залежностей теплофізичних властивостей вихідних матеріалів від хімічного складу та температури. Аналіз цих залежностей дасть змогу пошуку оптимального складу шихт з мінімальною теплоємністю (з метою енергозбереження) та з максимальним коефіцієнтом теплопровідності (з метою поліпшення технологічних характеристик шихт).

Аналіз досліджень і публікацій. На сьогоднішній день «класична» технологія виплавки марганцевого МФШ (43-45% Mn, 25-27% SiO_2 , 0,2-0,3% FeO, 5-6% Al_2O_3 , 4-4,6% CaO, 3,5-4,4% MgO, 0,4-0,7% S та 0,012-0,015% P) в печах потужністю 16,5 МВА передбачає застосування шихти, що складається з марганцевого агломерату або суміші агломерату і концентрату (кількість концентрату може доходити до 30%), у якості відновника застосовують кокс-горішок в кількості 4-5% від маси рудної частини шихти. Для поглинання відновленого фосфору в шихту додають близько 4% залізної або чавунної стружки [4].

Питання підвищення якості марганцевого малофосфористого шлаку пов'язано з раціональним вибором складу шихти та способу його виплавки [5–12], які забезпечують зменшення вмісту фосфору в шлаку та збільшують витяг марганцю в шлак.

У роботі [13] запропоновано технологію отримання марганцевого МФШ з використанням у якості марганцевмісної сировини дослідного агломерату АМНВ-2Г, отриманого з використанням окисно-зернистого концентрату 2-го сорту фракції < 1 мм виробництва ПАТ «Орджонікідзевський гірничо-збагачувальний комбінат».

Данні роботи [14] показують на застосування сумісної одностадійної технології виробництва МФШ та ФМн78Б, яка дозволяє повністю виключити утворення попутного сплаву, використання кварцвмісних компонентів шихти, отримати МФШ зі стабільно низьким вмістом фосфору (<0,010%) та ФМн78Б з низьким вмістом кремнію.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження теплофізичних властивостей компонентів шихти для виплавки малофосфористого шлаку для пошуку складів шихт з мінімальним теплоспоживанням.

Викладення матеріалу та результати. При дослідженні можливості покращення теплофізичних властивостей МФШ слід приділити увагу вибору складу шихт з мінімальним теплоспоживанням. Дослідженню теплофізичних властивостей підлягали наступні шихтові матеріали:

окисний марганцевий концентрат сорту 1Б Нікопольського родовища (42,7% Mn, 14,4% SiO_2 , 3,2% CaO, 2,2% Fe, 1,3% MgO та 0,2% P);

кокс (78,3% C та 20% золи коксу (38% SiO_2 , 11,7% Al_2O_3 , 12,8% FeO, 9,9% MnO, 3,8% CaO, 2,3% MgO, 1,5% S, 0,6% TiO_2 та 0,18% P);

відходи вуглезбагачення коксохімічного виробництва (46,4% SiO_2 , 17,1% Al_2O_3 , 13,9% C, 6% FeO, 2,2 CaO, 2,2% S, 1,2% MgO, 0,1% P та інше – н.п.п.);

відходи виробництва вторинного алюмінію (18,5% Al_2O_3 , 0,24% SiO_2 , 0,79% CaO, 23% Na_2O , 0,32% MgO, 25% н.п.п. та інші домішки).

Необхідність пошуку заміників дефіцитного коксу, який при виплавці МФШ виконує функцію відновника, зумовила застосування відходів вуглезбагачення коксохімічного виробництва. З метою повернення до технологічного процесу вторинних матеріалів можна замінити кварцит ($\approx 98,2\%$ SiO_2) відходами виробництва вторинного алюмінію.

Експериментальне дослідження теплофізичних властивостей шихтових компонентів в інтервалі зміни температур 100-1100 °C проводили на установці ДТВМ-1, в якій використано комплексний нестаціонарним метод балансу теплоти в зразку, згідно методики, описаній в роботах [15, 16].

Аналіз експериментальних даних залежності тепловміщення шихтових матеріалів від температури (рис. 1) показав на лінійний характер тепловміщення дослідних зразків, при чому до

400 °С тепловміщення усіх дослідних зразків суттєво не різняться. При збільшенні температури до 1100 °С тепловміщення зразків №3 та №4 відрізняється лише на 288 кДж/моль.

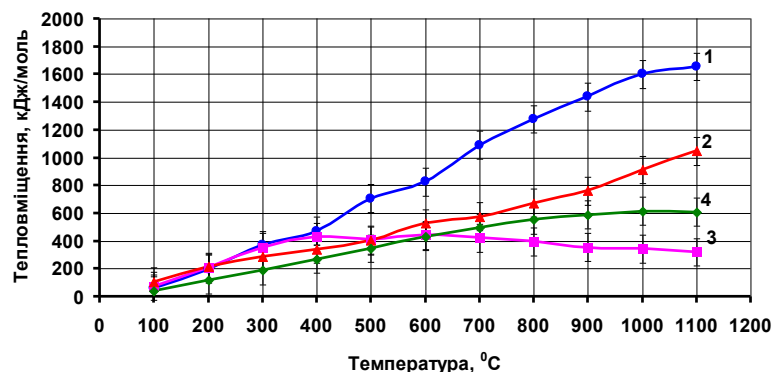


Рис. 1. Залежності тепловміщення шихтових матеріалів від температури: 1 – марганцевий концентрат сорту 1Б; 2 – відходи вуглезабагачення коксохімічного виробництва; 3 – кокс; 4 – відходи виробництва вторинного алюмінію

Дослідження залежності питомої теплоємності шихтових матеріалів від температури (рис. 2) показали на доцільність заміни у шихті частини коксу на відходи вуглезабагачення коксохімічного виробництва: при температурі 600-1100 °С питома теплоємність зразків №3 та №2 відрізняється на 0,145-0,662 кДж/кг·К. Це в свою чергу дасть змогу стверджувати, що застосування відходів вуглезабагачення коксохімічного виробництва, як складового компонента шихти при виплавці МФШ, призведе до зниження собівартості готового продукту.

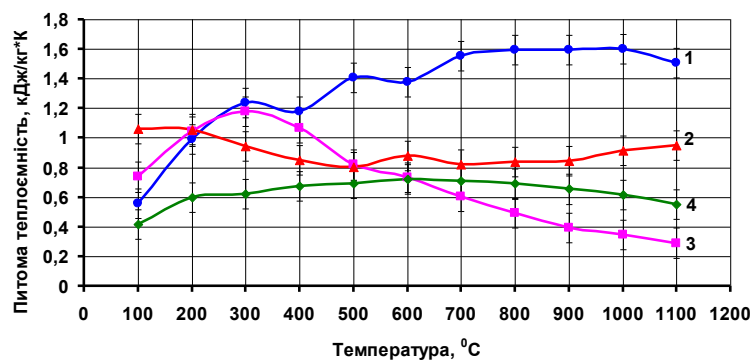


Рис. 2. Залежність питомої теплоємності шихтових матеріалів від температури: 1 – марганцевий концентрат сорту 1Б; 2 – відходи вуглезабагачення коксохімічного виробництва; 3 – кокс; 4 – відходи виробництва вторинного алюмінію

Аналіз експериментальних даних теплопровідності дослідних зразків (рис. 3) показав, що теплопровідність залежить як від хімічного складу матеріалів, так і від температури, при чому марганець збільшує (рис. 3, крива 1), а алюміній та кремній знижують (рис. 3, крива 3 та 2) теплопровідність, що цілком узгоджується з даними роботи [17].

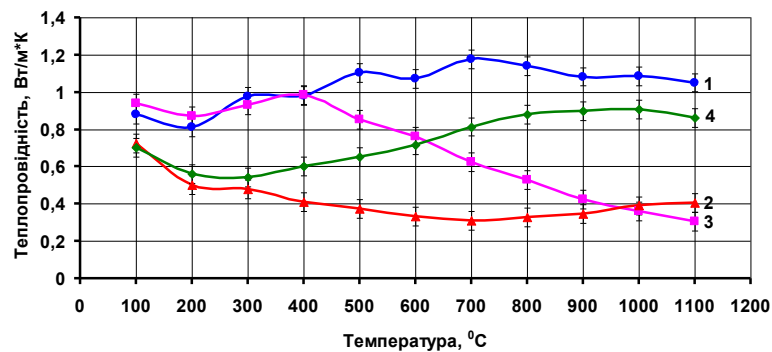


Рис. 3. Залежність теплопровідності шихтових матеріалів від температури: 1 – марганцевий концентрат сорту 1Б; 2 – відходи вуглезабагачення коксохімічного виробництва; 3 – кокс; 4 – відходи виробництва вторинного алюмінію

Для пошуку складу шихт з мінімальним теплоспоживанням були проведені порівняння питомої теплоємності МФШ, отриманого за цеховою технологією та дослідними плавками з

використанням у шихті замість кварциту та частини коксу відходів вуглезабагачення коксохімічного виробництва (табл. 1, плавка 2) та відходів виробництва вторинного алюмінію (табл. 1, плавка 3).

Таблиця 1

Склад шихти для виплавки малофосфористого шлаку

№ дослідної плавки	Вміст компоненту шихти, %					
	марганцевий концентрат сорту 1Б	кварцит	відвальний шлак силікомарганцю	кокс	відходи вуглезабагачення коксохімічного виробництва	відходи виробництва вторинного алюмінію
1	79,6	7,9	6,6	5,9	-	-
2	79,3	-	6,7	4,4	9,6	-
3	80,6	-	2,6	3,1	10	3,7

Виплавку МФШ проводили в руднотермічній печі типу РКО-7 з використанням у складі шихти окисного марганцевого концентрату сорту 1Б у кількості від 79,3 до 80,6 %. Усі компоненти шихти ретельно усереднювалися, зважувалися та перемішувалися. Шихту завантажували при увімкненій печі.

Експериментальні дослідження питомої теплоємності різних видів шихт показали, що шихта з доданням відходів вуглезабагачення коксохімічного виробництва (рис. 4, крива 2) має мінімальне значення питомої теплоємності (в межах 0,588-0,895 кДж/кг·К) та може бути рекомендована у виробництво при виплавці МФШ замість шихти з коксом.

Введення в шихту компонентів, що містять лужні і лужноземельні метали (рис. 4, крива 3), дозволяє понизити вміст кремнезему в шлаку і тим самим підвищити техніко-економічні показники виплавки МФШ: понизити в 1,5-2,0 рази в'язкість шлаку та на 50-70 °С температуру його плавлення.

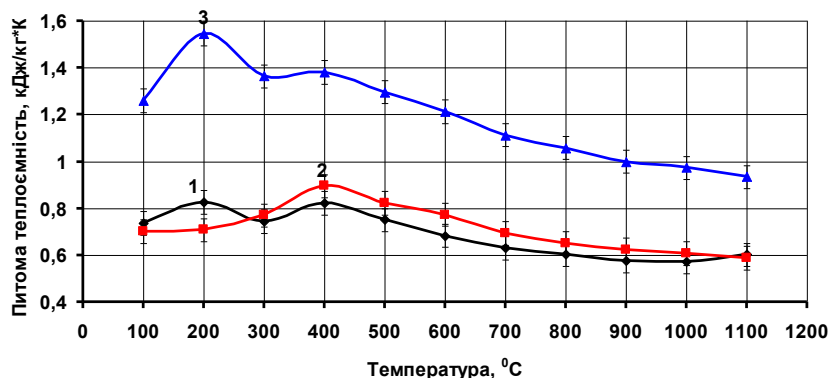


Рис. 4. Залежність питомої теплоємності шихти для виплавки МФШ від температури: 1 – цехова технологія; 2, 3 – дослідні плавки

Таким чином, вибір складу шихт для виплавки МФШ обумовлений не тільки їх теплоспоживанням, але і можливостями рівноважного розподілу компонентів між фазами у виплавленому МФШ. Використання дослідного МФШ на стадії виплавки металевго марганцю дало змогу знизити кратність шлаку, що в свою чергу призвело до підвищення витягу марганцю в шлак на 2%.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Дослідженнями теплофізичних властивостей компонентів шихти для виплавки МФШ встановлено вплив питомої теплоємності шихти на енергозбереження та запропоновано низькотеплоємний склад шихти, використання якого дозволить знизити витрату коксу на відновлення в 1,3-1,9 рази, зекономити до 20% електроенергії та відповідно знизити собівартості МФШ.

У подальших дослідженнях доцільно розглянути питання раціональності застосування при виплавці МФШ різних видів відходів металургійного виробництва з метою їх повернення до технологічного процесу або заміни дефіцитних матеріалів (зокрема, коксу), а також енергозбереження та покращення охорони довкілля.

Список літератури

1. **Гасик М.И.** Марганец : монография / М.И. Гасик. – Москва : Металлургия, 1992. – 607 с.
2. Количественные закономерности изменения технико-экономических показателей производства силикомарганца с различной концентрацией фосфора / **А.Н. Овчарук, И.П. Рогачёв, А.В. Коваль и др.** // Актуальные проблемы и перспективы электрометаллургического производства: теория и технология, эффективность использования минерально-сырьевых ресурсов, экология, экономические аспекты развития внутреннего и внешнего рынков: материалы международной научно-практической конференции, посвящённой 100-летию ГметАУ и 75-летию кафедры электрометаллургии (г. Днепропетровск, 30.06–02.07.1999 г.). – Днепропетровск: Системные технологии, 1999. – С. 161–163.
3. **Гаврилов В.А.** Влияние основности и окисленного потенциала печной атмосферы на полезное использование марганца и кремния при выплавке металлического марганца силикотермическим процессом / В.А. Гаврилов, В.Н. Матюшенко, М.И. Гасик // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1997. – № 4. – С. 23–27.
4. *Металлургия марганца Украины* / **Б. Ф. Величко, В.А. Гаврилов, М.И. Гасик и др.**; под общей и науч. ред. акад. НАН Украины М.И. Гасика. – Київ: Техніка, 1996. – С. 472. – ISBN 5-335-01327-3
5. Пат. СССР №1747503. МПК: C21C5/54. Шихта для выплавки малофосфористого марганцевого шлака / **В.М. Катунин, И.В. Лискович, И.И. Любонец и др.** // Украинский научно-исследовательский институт специальных сталей, сплавов и ферросплавов; заявл. 24.05.90; опубл. 15.07.92. Бюл. 26. 6 с.
6. Пат. СССР №1611968. МПК: C22C23/04. Шихта для выплавки малофосфористого марганцевого шлака / **М.И. Гасик, И.И. Водин, А.И. Погребняк и др.** // Днепропетровский металлургический институт; заявл. 20.09.88; опубл. 07.12.90. Бюл. 45. 6 с.
7. Пат. СССР №1765225. МПК: [C22B47/00](#). Способ извлечения марганца из марганецсодержащих шлаков / **К.Д. Ивченко, Н.И. Голярчук, С.А. Учитель и др.** // Научно-исследовательский и проектный институт по обогащению и агломерации руд чёрных металлов “Механочермет”; заявл. 22.06.90; опубл. 30.09.92. Бюл. 36. 2 с.
8. Пат. СССР №1744137. МПК: [C22C33/04](#). Способ выплавки передельного марганцевого шлака / **В.Е. Ермолов, М.Г. Миракова** // Центральный научно-исследовательский институт чёрной металлургии им. И.П. Бардина; заявл. 27.11.89; опубл. 30.06.92. Бюл. 24. 2 с.
9. Пат. СССР №1666549. МПК: [C21C5/54](#). Способ производства малофосфористого марганцевого шлака / **Г.Д. Ткач, А.В. Коваль, И.Г. Кучер и др.** // Украинский научно-исследовательский институт специальных сталей, сплавов и ферросплавов; заявл. 20.01.89; опубл. 30.07.91. Бюл. 28. 2 с.
10. Пат. СССР №1504264. МПК: [C21C5/54](#). Способ получения малофосфористого марганцевого шлака / **И.В. Лискович, В.М. Катунин, М.Ю. Богуцкий** // Украинский научно-исследовательский институт специальных сталей, сплавов и ферросплавов; заявл. 04.08.87; опубл. 30.08.89. Бюл. 32. 6 с.
11. **Грищенко С.Г.** Выплавка малофосфористого шлака и металлического марганца с применением обжиг-гравитационных концентратов / **С.Г. Грищенко, С.М. Мазмишвили, И.Б. Качаловский, З.П. Каргина** // Актуальные проблемы и перспективы электрометаллургического производства: теория и технология, эффективность использования минерально-сырьевых ресурсов, экология, экономические аспекты развития внутреннего и внешнего рынков: материалы международной научно-практической конференции, посвящённой 100-летию ГметАУ и 75-летию кафедры электрометаллургии (г. Днепропетровск, 30.06–02.07.1999 г.). – Днепропетровск: Системные технологии, 1999. – С. 229–231.
12. **Куцин В.С.** Разработка и освоение технологии производства малофосфористого марганцевого шлака из мелкодисперсного концентрата / В. С. Куцин, В. И. Ольшанский, И. Ю. Филиппов, С. П. Шуваев, Ю. С. Проїдак // *Металлургическая и горно-рудная промышленность*. – 2016. – № 1. – С. 45–47.
13. **Надточій А.А.** Фізико-хімічний аналіз розподілу марганцю і фосфору при отриманні високовуглецевого ферромарганцю і передільного шлаку з метою вдосконалення процесу: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.02 / А.А. Надточій; Національна металургійна академія України. – Дніпропетровськ, 2011. – 23 с.
14. **Гаврилов В.А.** Анализ материальных балансов производства передельного малофосфористого марганцевого шлака и ферромарганца по совмещенной одностадийной технологии / В.А. Гаврилов // Актуальные проблемы и перспективы электрометаллургического производства: теория и технология, эффективность использования минерально-сырьевых ресурсов, экология, экономические аспекты развития внутреннего и внешнего рынков: материалы международной научно-практической конференции, посвящённой 100-летию ГметАУ и 75-летию кафедры электрометаллургии (г. Днепропетровск, 30.06–02.07.1999 г.). – Днепропетровск: Системные технологии, 1999. – С. 226–228.
15. **Морозенко О.П.** Фізико-хімічний аналіз процесів відновлення та теплоспоживання компонентів і шихт при виробництві марганцевих феросплавів з метою енергозбереження : автореф. дис... канд. техн. наук : 05.16.02 / О. П. Морозенко; Національна металургійна академія України. – Дніпропетровськ, 2009. – 21 с.
16. **Ильченко К.Д.** Планирование эксперимента при исследовании теплофизических свойств шихтовых материалов в металлургии / К.Д. Ильченко, Е.П. Морозенко. – Днепропетровск: Січ. – 2004. – 176 с.
17. **Рогачёв И.П.** Теплопроводность сплавов систем Mn-Fe-Si-C и Mn-Fe-Si-Al-C / И.П. Рогачёв, В.К. Лазнев // Актуальные проблемы и перспективы электрометаллургического производства: теория и технология, эффективность использования минерально-сырьевых ресурсов, экология, экономические аспекты развития внутреннего и внешнего рынков: материалы международной научно-практической конференции, посвящённой 100-летию ГметАУ и 75-летию кафедры электрометаллургии (г. Днепропетровск, 30.06–02.07.1999 г.). – Днепропетровск: Системные технологии, 1999. – С. 181–183.

Рукопис подано до редакції 04.03.2020

УДК 621.314

О.М. СІНЧУК, д-р техн. наук, проф., Р.І. КРАСНОПОЛЬСЬКИЙ, аспірант

Криворізький національний університет

С.М. БОЙКО, канд. техн. наук

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ З ДЖЕРЕЛАМИ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Мета. Розроблення теоретичних засад впровадження джерел розосередженої генерації в структуру комплексу електропостачання-електроспоживання гірничорудних підприємств.

Методи дослідження. Тактика проведення досліджень базується на комплексі аналітичних методів, котрі дозволяють синтезувати структури енергоефективних електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації електричної енергії для умов гірничорудних підприємств

Наукова новизна. Розроблена структура електроенергетичного комплексу гірничорудних підприємств, що враховує особливості реконфігурації системи електропостачання-електроспоживання гірничорудних підприємств, у тому числі залізорудних. Для досягнення поставленої мети на кожному рівні управління необхідно застосовувати свій клас моделей управління та свою стратегію їх використання з урахуванням наявності інформаційних зв'язків між функціями управління та зовнішніми факторами.

Практична значимість. Підвищення енергоефективності гірничорудних підприємств за рахунок впровадження джерел розосередженої генерації в структури розподільних мереж цих підприємств.

Результати. В умовах гірничорудних підприємств проводяться заходи щодо підвищення їх електроенергоефективності, але ці заходи все ж таки мають свою межу, яка на даний час вже близька до насичення на гірничих підприємствах України.

Безумовно, що в комплексі напрямків підвищення енергоефективності ключова роль відводиться саме підприємствам. При цьому, в свою чергу, важливим постає рівень врахування в цій методології специфіки гірничорудних підприємств. Як доведено, однією з ключових сучасних тенденцій розвитку світової електроенергетики є перехід до інноваційного перетворення структури галузі на основі нової концепції Smart Grid, яка включає в себе впровадження розосередженої генерації.

Відповідно до концепції Енергетичної Стратегії України, ЄС та концепції сучасної енергетики Smart grid, запропонована, структура електроенергетичного комплексу гірничорудних підприємств розглядається як повністю інтегрована, саморегулююча і самовідновлювана система, що має мережеву топологію та включає в себе всі генеруючі джерела, магістральні та розподільні мережі і всі види споживачів електричної енергії (у тому числі й активних споживачів), керовані єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем у режимі реального часу.

Ключові слова: розосереджена генерація, енергетичне обладнання, електропостачання залізорудних підприємств, оптимізація режимів роботи.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-41-45

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Гірничорудні підприємства є джерелом близько 60% валових надходжень до бюджету країни. Між тим, ці підприємства є одними з енергоємних виробництв. Однак на цих підприємствах є власний запас паливно-енергетичних ресурсів. За результатами сучасних вітчизняних та зарубіжних досліджень було встановлено, що собівартість власної генерації на порядок дешевше ніж вартості електроенергії спожитої з енергомережі.

Аналіз досягнень сучасної енергетики показує, що децентралізовані енергосистеми з використанням джерел розосередженої генерації можуть бути надзвичайно прибутковою сферою для капіталовкладень, якщо є можливість розміщувати джерела генерації енергії поблизу споживачів. Зазвичай витрати на передачу енергії сягають 30% від вартості її вироблення [1].

Між тим, освоєння потенціалу джерел розосередженої генерації (ДРГ) - це технічно складне в реалізації в даний час завдання, яке пов'язане з низькою щільністю потоку енергії від ДРГ і залежністю їх від природних умов. Вартість отримання енергії, хоча вона і щорічно знижується, залишаються значно вище, ніж у традиційних енергоресурсів, а необхідних кардинальних технічних рішень поки не існує.

Технологічне об'єднання енергії ДРГ і енергії вуглеводневого палива в одній системі має суттєві техніко-економічні переваги. Ця перевага полягає у високій енергетичній ефективності, що недосяжна в існуючих системах енергопостачання, в простоті інтеграції з додатковими генеруючими потужностями на основі ДРГ з будь-яким ступенем заміщення [1].

На часі є певні територіальні обмеження щодо впровадження ДРГ поблизу об'єктів електроспоживання. Однак, зважаючи на те, що залізорудна сировина видобувається як відкритим (кар'єр), так і підземним (шахта, рудник) способами, при цьому займаючи великі площі, що непридатні для сільськогосподарських робіт, залізорудні підприємства мають стати полігоном для впровадження ДРГ в структури розподільчих систем цих підприємств.

В даний час все більша увага приділяється ДРГ, що використовує генератори невеликої потужності, які екологічно чистіші, енергоефективні та економічно більш прийнятні. Ця нова техніка викидає в атмосферу менше шкідливих речовин, включаючи двоокис вуглецю, який впливає на зміну клімату на 70 ... 100% менше, ніж звичайні електростанції. Це відбувається тому, що вони використовують природний газ або поновлювані джерела енергії, а також тому, що вони більш ефективні, тобто мають значно більш високі коефіцієнти корисної дії.

Все це зумовлює швидке зростання і розвиток ДРГ, що базується на розосередженні електричних генераторів невеликої потужності в сучасних системах енергозабезпечення споживачів енергії. З огляду на переваги ДРГ в порівнянні з традиційними електричними станціями, слід очікувати її подальший розвиток і в Україні, оскільки викладені важливі аргументи є визначальними в сучасній сфері енергозабезпечення.

Аналіз досліджень і публікацій. У ряді попередніх досліджень [4-9] автори обґрунтовують той факт, що підвищення енергоефективності та енергозбереження гірничорудних підприємств є головною задачею сьогодення.

Між тим, ці об'єкти, а це в масштабах України сотні гектарів, по всіх своїх параметрах можуть і повинні стати полігоном для розміщення комплексів РГ, які по суті повинні стати міні- або мікроелектростанціями в структурі систем електропостачання підприємств України у тому числі гірничих [3].

Постановка задачі. Актуальною науково-практичною задачею розроблення теоретичних засад впровадження джерел розосередженої генерації в структуру комплексу електропостачання-електроспоживання гірничорудних підприємств.

Викладення матеріалу та результати. Спільною рисою гірничих порід є необхідність подальшої їх переробки, для виділення з них корисних компонентів. Границя між рудними та нерудними корисними копалинами умовна. Тому термін «руда» на сьогоднішній день, використовують для назви рудних, ще й багатьох нерудних корисних копалин. Між тим, слід відзначити той факт, що умови розробки рудних та нерудних родовищ схожі, і системи електропостачання також типові. Тому, у цьому контексті цей термін буде використано в подальшому. Враховуючи той факт, що родовища залізних руд найбільш потужні, серед підприємств цієї галузі, то в подальшому аналіз гірничорудних підприємств буде розглядатися на прикладі залізорудних.

Здебільшого на світовому ринку рудної сировини (РС) аспекти розвитку безпосередньо стосуються України - одного з вагомих, але поки що далеко не провідних гравців світового процесу із можливостей видобутку і реалізації руди [5].

Разом з тим РС - як і раніше стратегічний продукт України, багато в чому визначає стан економіки країни, мінімум на найближчі десятиріччя.

Від загальних запасів залізних руд України близько 60-70% запасів складають запаси Криворізького залізорудного басейну [9]. Із загального обсягу РС, яка видобувається в Україні, на частку залізорудних підприємств Кривбасу припадає понад 80%, при цьому питомий обсяг РС одержаної підземним способом видобутку, що складає близько 30% зі стійкою тенденцією збільшення даного сегмента в загальному вітчизняному обсязі видобутку РС [6].

Гірничорудні підприємства (ГРП) у різних країнах світу мають типову, або близьку до типової, структуру системи електропостачання та типовий і обмежений в номенклатурі, склад електроприймачів. Тож в подальшому вирішення поставленої мети буде ґрунтуватися на дослідженнях проведених в умовах гірничорудних підприємств України.

При цьому система електропостачання ГРП безпеліційно повинна відповідати таким вимогам: 1)забезпечення безперебійного живлення електроенергією відповідальних електроприймачів; 2) бути безпечною у відношенні пожеж та ураження людей електричним струмом; 3) забезпечувати якість електроенергії; 4) бути економічно виправданою при дотриманні всіх перелічених вимог [7].

ГРП постають як динамічні системи, що розвиваються у часі і просторі, стан яких визначається сукупністю різних гірничо-геологічних і технологічних факторів, які характеризують умови виробництва. Одні з цих чинників поступово змінюються в міру розвитку гірничорудного підприємства (наприклад, потужність, споживання електричної енергії (ЕЕ) вентиляторів і калориферними установками, водовідливом і т.п.), інші залежать від пори року (наприклад, приплив води порівняно неглибоких шахт) і т.п. Об'єктивна оцінка стану підприємства виходить в результаті аналізу спрямованості змін його техніко-економічних показників і чинників, що впливають на них [24].

У ряді досліджень, [7-9] пропонувалось формалізувати як регульовані, частково регульовані, які і викликають під дією випадкових факторів. При цьому чинники, в тій чи іншій мірі мають вплив на стан деякого промислового об'єкта, об'єднуються в наступні п'ять груп: кліматичні, гірничо-геологічні, технологічні, організаційно-економічні, технічні. Певний фактор, в результаті аналізу думок фахівців-експертів, складається із ряду чинників, які впливають на процес електроспоживання об'єкта, який приймається за основу при формуванні його математичної моделі.

Врахувати всі фактори при визначенні електроспоживання тим чи іншим окремим механізмом неможливо, так як майже кожний із них рідко залишається режимно постійним навіть протягом нетривалого часу, а окремі фактори непередбачувано впливають на цей процес.

Безумовно, в умовах ГРП проводяться певні заходи щодо підвищення їх електроенергоефективності, але вони (заходи), даючи деяку економію коштів за спожиту ЕЕ, все ж таки мають свою межу, яка на даний час вже близька до насичення на гірничих підприємствах України [8, 9].

Безумовно, що в цьому комплексі напрямків підвищення енергоефективності ключова роль відводиться саме підприємствам [9]. При цьому, в свою чергу, важливим постає рівень врахування в цій методології специфіки конкретних видів підприємств. Особливо це стосується ГРП, які мають комплекс своїх специфік. Як доведено, однією з ключових сучасних тенденцій розвитку світової електроенергетики є перехід до інноваційного перетворення структури галузі на основі нової концепції Smart Grid, яка включає в себе такі складові, як активне споживання електричної енергії, розосереджена генерація, інтелектуальне вимірювання, нові системи автоматизації та контролю, керування попитом, розподілом і споживанням рівня електричної енергії [9]. Згідно з цим було сформовано такі ключові для сучасних умов підприємств, вимоги світової енергетики майбутнього, як доступність, надійність, економічність, електроенергоефективність, екологічність та електроенергетична безпека [8].

Тому було розглянуто основні напрямки підвищення електроенергоефективності залізрудних підприємств [9] (рис. 1).



Рис 1. Основні напрямки підвищення електроенергоефективності гірничорудних підприємств

Між тим до пріоритетних напрямків розвитку сучасної енергетики можна віднести концепцію SmartGrid. Таким чином, в подальшому розгляд теоретичних аспектів формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації гірничорудних підприємств будуть у розрізі Regional Smart Grid (RSG) – напруга від 3 до 110 кВ і Micro Smart Grid (MSG) – напруга 0.4-3 кВ. Між тим, слід зауважити, що засоби силової електроніки є органічними елементами розглянутих систем при впровадженні Smart Grid [10].

Враховуючи проблематику та поставлену науково-практичну задачу, розроблення теоретичних засад впровадження джерел розосередженої генерації в структуру комплексу електропостачання-електроспоживання гірничорудних підприємств, запропоновано структурну схему синергетичного електротехнічного комплексу електропостачання гірничорудних підприємств на базі джерел розосередженої генерації (рис. 2).

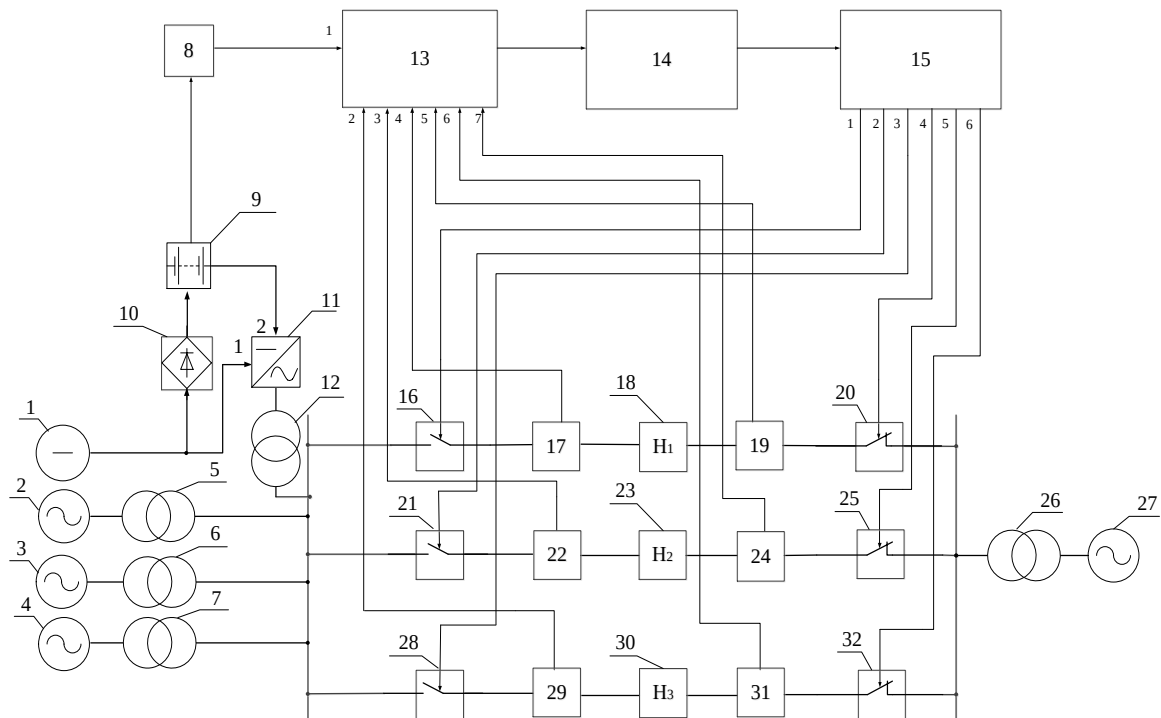


Рис 2. Структурна схема електроенергетичного комплексу електропостачання гірничорудних підприємств на базі джерел розосередженої генерації: 1 – сонячна електростанція; 2 – вітроенергетична станція; 3 – мікрогідроелектростанція; 4 – гідроакумуляційна електростанція; 5 – перший трансформатор; 6 – другий трансформатор; 7 – третій трансформатор; 8 – система діагностики акумулятора; 9 – блок акумуляторних батарей; 10 – блок заряду акумуляторної батареї; 11 – інвертор; 12 – четвертий трансформатор; 13 – погоджувальний пристрій блоків датчиків; 14 – система керування електропостачання; 15 – погоджувальний пристрій системи керування електропостачання; 16 – перший керуючий комутатор; 17 – перший блок датчиків; 18 – перший активний споживач; 19 – другий блок датчиків; 20 – другий керуючий комутатор; 21 – третій керуючий комутатор; 22 – третій блок датчиків; 23 – другий активний споживач; 24 – четвертий блок датчиків; 25 – четвертий керуючий комутатор; 26 – п'ятий трансформатор; 27 – мережа; 28 – п'ятий керуючий комутатор; 29 – п'ятий блок датчиків; 30 – третій активний споживач; 31 – п'ятий блок датчиків; 32 – шостий керуючий комутатор

Таким чином, запропонована структурна схема електроенергетичного комплексу електропостачання гірничорудних підприємств на базі джерел розосередженої генерації дасть можливість впровадити відновлювальні джерела електричної енергії в розподільчі мережі цих підприємств.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Відповідно до концепції Енергетичної Стратегії України, ЄС та концепції сучасної енергетики Smart grid, запропонована, структура електроенергетичного комплексу гірничорудних підприємств розглядається як повністю інтегрована, саморегулююча і самовідновлювана система, що має мережеву топологію та включає в себе всі генеруючі джерела, магістральні та розподільні мережі і всі види споживачів електричної енергії (у тому числі й активних споживачів), керовані єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем у режимі реального часу.

Список літератури

1. Основні параметри енергозабезпечення національної економіки на період до 2020 року. **Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П., Негодуйко В.О., Пертко П.П., Блінов І.В.** – К.: Вид. Ін-ту електро-динаміки НАН України, 2011. – 275 с.
2. *World Energy Outlook –2019*, OECD/IEA, Paris.
3. **С.М. Бойко** Теоретичні засади формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації гірничорудних підприємств. Монографія / Бойко С.М., під редакцією доктора техн. наук, професора О.М. Сінчука. – Кременчук, ПП Щербатих О.В. 2020. – 263с.
4. Ю.Г. Вілкул, Л.А. Азарян, В.А. Колосов, Ф.І. Караманиць та А.С. Ватарєв Сучасний стан залізорудної галузі, прогноз розвитку та пропозиції, Качество сірья. Сборник научных трудов, т.1, , 2017 – с. 9-24.
5. **Сінчук О.М., Сінчук І.О., Бойко С.М., Караманиць Ф. І., Ялова О.М., Пархоменко Р.О.** Відновлювані джерела електричної енергії в структурах систем електропостачання залізорудних підприємств. (Аналіз, перспективи, проекти): монографія. Кривий Ріг: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2017. 152 с.
6. **Сінчук О.М.** Кривбас на межі тисячоліть: шляхи відродження. / **О.М. Сінчук, А.Г. Бажал** – К.: АДЕФ-Україна, 1997. – 31 с.
7. Електрифікація гірничого виробництва: Підручники для ВНЗ: у 2-х т. – Вид. 2-ге перероб. то допов./ За редакцією **Л.О. Пучкова і Г.Г. Півняка**. – Д.: Нац. гірн. університет, 2010, т. 1. – 503 с.
8. **Сінчук О.Н.** Оценка потенциала и тактика повышения электроэнергоэффективности подземных железорудных производств / **Сінчук О.Н., Сінчук І.О., Гузов Э.С., Баулина М.А., Яловая А.Н.** // Технологический аудит и резервы производства. – Харьков: ЧП «Технологический центр». – 2014. – с.34 – 39.
9. **Сінчук І.О.** Методологічні засади оцінювання електроенергоєфективності залізорудних підприємств – монографія / **І.О. Сінчук** – Кременчук, ПП Щербатих О.В. 2019. – 284с.
10. **Buchholz B., Styczynski Z.** Smart Grids Fundamentals and Technologies in Electricity Networks, Springer 2014. 396 p.

Рукопис подано до редакції 15.04.2020

УДК 621.929.6:622.781

В. Й. ЗАСЕЛЬСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., **С.В. ШВЕД**,

І. В. ЗАСЕЛЬСЬКИЙ, кандидати техн. наук, доценти

Криворізький металургійний інститут НМетАУ,

М. І. ШЕПЕЛЕНКО, аспірант, Криворізький національний університет

ФУНКЦІОНУВАННЯ РОБОЧОГО ОРГАНУ ЗМІШУВАЧА ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ РУСІ ШАРУ МАТЕРІАЛУ НА КОНВЕЄРІ

Мета. Обсяги вантажних перевезень шихтових матеріалів в гірничо-металургійному комплексі визначаються в мільйони тон щороку. Це обумовлено використанням даних матеріалів в гірничо-рудній агломераційній і коксохімічній промисловості. При довгих перевезеннях компоненти таких матеріалів (вугілля, руди, рудні концентрати, флюси), що мають певну природну вологу, в зимовий період змерзаються та окрім цього передрібнюються та сегрегують, це призводить: до погіршення розвантажувальних робіт, що знижує якість підготовки металургійної шихти та як наслідок зростає собівартість готової металургійної продукції та виникають додаткові витрати на їх підготовку. Таким чином використання для шихтових матеріалів передувє додаткове розпушення та їх перемішування, переважно для цього використовують змішувачі безперервної дії, які встановлюються над конвеєрною стрічкою. Саме вдосконалення змішувачів, як базисного обладнання для підготовки компонентів шихти, є перспективним шляхом в питаннях підвищення ефективності агломераційного і коксохімічного виробництва. Метою даної роботи стало визначення раціональних кінематичних параметрів і геометричних параметрів робочого органу змішувача встановленого над конвеєрною стрічкою, що сприяє підвищенню якості підготовки шихтових матеріалів в гірничо-металургійній галузі.

Методи. У науковій праці розглянуті: методи аналітичного дослідження функціонування робочого органу змішувача при горизонтальному русі шару матеріалу на конвеєрі; методи руху частини матеріалу на лопатці змішувача горизонтально-направленою дії.

Наукова новизна полягає у встановленні нових закономірностей, що описують вплив конструктивних і режимних параметрів робочого органу змішувача на шар (та відповідно на частину) матеріалу, яка рухається на конвеєрній стрічці.

Практична значимість. Результати цієї роботи мають практичне значення, так як одержані в ній залежності дають змогу обрати раціональні кінематичні параметри робочого органу змішувача безперервної дії та підвищити якість підготовки шихтових матеріалів перед їх подальшим використанням.

Результати. Робота супроводжується математичними рівняннями, з допомогою якої є можливість встановлення раціональних параметрів основних елементів роторного змішувача безперервної дії, що встановлюється безпосередньо над конвеєрною стрічкою, що стануть основою для проектування прототипу лопатки роторного змішувача, що в свою чергу є перспективним засобом збільшення ефективності існуючої конструктивної схеми.

Ключові слова: змішувач, матеріал, лопатка, технічний об'єкт, шихта.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Для отримання металів та сплавів необхідного хімічного складу і механічної міцності, застосовують різні види необхідної сировини. Таку сировину, перед операціями спікання і плавки, називають шихтовим матеріалом.

Останнім часом з погіршенням стану сировинної бази металургійного комплексу України велику увагу варто приділяти змішувальному та іншого виду обладнання здатного, для існуючих технологічних схем, тим самим підвищити якість підготовки шихтових матеріалів перед спіканням та плавкою. Операція змішування матеріалів є однією з основних видів підготовки сировини до їх подальшого використання і отримання якісного промпродукту. Широке розповсюдження мають змішувачі безперервної дії, це обумовлено рядом переваг: висока продуктивність; можливість впровадження в існуючу технологічну схему, без значних капітальних вкладень. Одним з таких змішувачів в ряді технологічних схем металургійного виробництва може бути використаний змішувач безперервної дії з еластичними тросовим елементом, конструкція якого досить добре описана в роботі [3]. Однак удосконалення змішувача, виконаного за такою конструктивною схемою, стримується відсутністю теоретичних досліджень, спрямованих на вивчення руху матеріалу на лопатці змішувача горизонтально-направленої дії встановленого, безпосередньо над конвеєрною стрічкою, яка транспортує матеріал. Тому вивчення руху матеріалу з лопатками високопродуктивного змішувача, що взаємодіє з шаром рухомої сировини на конвеєрній стрічці, є актуальним та своєчасним завданням.

Аналіз досліджень і публікацій. Як згадувалось вище якісне змішування компонентів шихтових матеріалів є невід'ємною складовою при виготовленні агломерату та окатишів.

Аналіз робіт [1-3] пов'язаних з розробкою і вдосконаленням різного типу змішувачів безперервної дії при підготовці сипучих матеріалів до подальшого їх використання показує, що таке обладнання повинно відповідати сучасним тенденціям розвитку даного роду техніки, а саме для металургійних процесів, мати високу продуктивність і водночас – ступінь змішування сировини при незначних експлуатаційних і капітальних витратах.

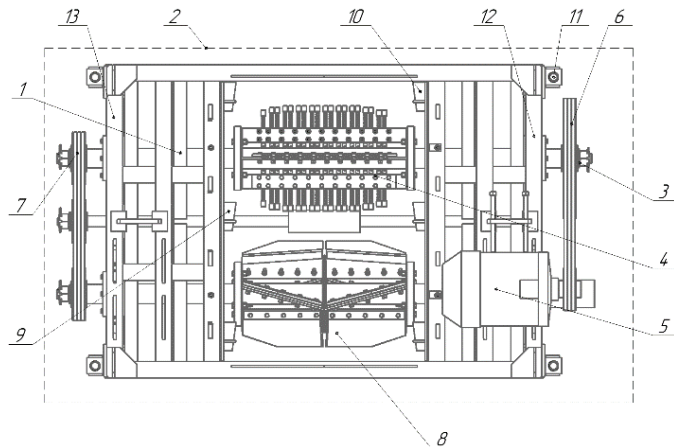
Питання розробки та вдосконалення змішувачів безперервної дії зустрічається в роботах Д.В. Пополова, І.В. Засельського, Ю.І. Витетньова [3], О.Д. Учителя [4,5], Є.О. Шмельцер, В.П. Лялюка, В.П. Соколової, І.О. Ляхової, Д.О. Кассим, М.В. Кормер [6], М.Ю. Таршис, А.Б. Капранова [7], М.В. Волкова, А.І. Зайцева [8], В.Н. Іванця, Д.М. Бородуліна, А.А. Андрюшкова [9-11], А.Б. Шушпаннікова, С.В. Злобина, С.Ю. Рокосова [12] та ін.

Постановка завдання. Як згадувалось вище, відома конструкція роторного, горизонтально-направленої дії змішувача з еластичним тросовим елементом [3], не має чіткого математичного опису будови профілю лопатки та подальшого руху, на її поверхні, матеріалу. Саме це твердження свідчить про необхідність проведення додаткових досліджень та визначення раціональних параметрів устаткування для змішування сировини.

Викладення матеріалу та результати. Для більшої наочності розглянемо запропоновану конструкцію роторного змішувача. Даний вид змішувача представлено на рис. 1, для наочності виконаний розріз передньої частини роторного змішувача. Принцип роботи такого змішувача з його конструктивними особливостями досить добре описаний в ряді робіт [3-5]. Однак не в одній з них не наведено аналіз руху матеріалу на лопатки змішувача, що дозволило б мати кращі уявлення про його роботу, а відповідно і використання в тих чи інших технологічних лініях при підготовці сировини металургійного виробництва.

Роторний змішувач встановлюється безпосередньо над рамою стрічкового конвеєра. Він складається з зварної рами 1, секцій 2. У підшипникової опорі 3 кожної секції встановлено два ротора. Привід роторів з гнучкими тросовими елементами 4 здійснюється від електродвигунів 5 за допомогою клинопасової передачі 6. З протилежного боку за допомогою клинопасової передачі 7 наводяться в рух лопатки ротори 8. Для ущільнення секції застосовується гума 9 і 10. На вході і виході зі змішувача на торцевих стінках встановлена ущільнююча гумова завіса. Підтримка і регуляція зазору між стрічкою та роторами здійснюється регулюючими гвинтами 11. Бічні стінки секції закриті огороженнями 12 і 13 з метою запобігання отримання травми від обертових частин [3].

Рис.1. Принципова схема секції роторного змішувача з гнучким тросовим елементом



Принцип роботи роторного змішувача з гнучким тросовим ротором наступний: сипучий матеріал, рухається на стрічці конвеєра, надходить в зону змішування (яка розташована між стрічкою конвеєра і робочими елементами ротора), де потрапляє під вплив комплексного силового впливу. Ротор з гнучкими тросовими елементами 4 в кожній секції 2, розташований першим у напрямку переміщення стрічки конвеєра і приводиться в рух електродвигуном 5. Обертаючись ротор 4 своїми гнучкими елементами, які розташовані в шаховому порядку для повного перекриття зони змішування, виконує комплексний вплив на матеріал, одночасно розпушуючи і перемішуючи його. Рухаючись далі, матеріал потрапляє під дію лопаткового ротора 8, який виконує вже більш інтенсивне змішування розпушеного матеріалу. Зазор між робочими елементами роторів 4, 8 і стрічкою конвеєра підтримується завдяки регульовальним гвинтів 11. Даний зазор забезпечує зменшення зносу стрічки конвеєра від дії абразивного тертя матеріалу по стрічці, тим самим, підвищуючи термін її служби.

Розглянемо рух матеріальної частки по шорсткій поверхні обертової лопатки змішувача. Будемо вважати, що при виході лопатки з масиву сипучого матеріалу, який рухається по конвеєрній стрічці, вона в результаті його екскавції захоплює за собою деяку його порцію. Розглянемо можливість процесу звільнення лопатки від матеріалу, що знаходиться на ній, в процесі обертального руху ротора. Прийнемо допущення, що прослизання між стрічкою конвеєра та лопаткою ротора відсутня. Тоді умовна кутова швидкість обертання ротора ω_p з лопатками буде перебувати в кінематичному співвідношенні, відповідно до лінійної швидкості V_d стрічки конвеєра

$$V_d = R \cdot \omega_p,$$

де R – радіус лопатки ротора.

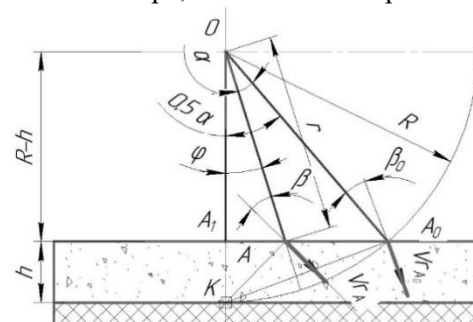
Рухаючись разом зі стрічкою матеріал змушує забезпечений лопатками ротор здійснювати обертання, а, отже, кожна лопатка ротора проходить кілька стадій взаємодії з матеріалом: впровадження лопатки в шар матеріалу; досягнення максимального її заглиблення в шар; захоплення і вертикальний винос (екскавція) порції сипкого продукту з його масиву назовні; викид захопленого сипкого продукту з поверхні лопатки в напрямку руху стрічки конвеєра.

Весь процес впровадження лопаток в шар насипного продукту повинен бути налаштований на мінімізацію втрат енергії. У зв'язку з цим висуваємо робочу гіпотезу для визначення профілю лопатей за умови голономного зв'язку ротора зі стрічкою конвеєра, як показано на рис.2.

Рис.2. До пояснення гіпотези формування лопаток

Для виконання умови гіпотези профіль лопатки в діаметральній площині ротора повинен бути криволінійним, а дотична до профілю лопатки в діаметральній площині ротора повинна мати певний кут β по відношенню до радіуса OA положення точки контакту A . При цьому профіль лопатки буде відповідати траєкторії відносного руху точки A по поверхні діаметральній площині ротора, а впровадження лопатки відбуватиметься строго по вектору відносної швидкості точки A .

Для дослідження руху матеріальної точки введемо дві системи координат. Одну абсолютно нерухому xOy , пов'язану з горизонтом, а другу рухому (відносну), пов'язану з дотичною до профілю лопатки. Дотична вісь нахилена під кутом θ до радіусу-вектору положення точки.



Площина обертання лопатки розташована вертикально а, отже, дія сили тяжіння на частку у відносній системі відліку буде лінійно залежати від кута її повороту φ , від кута нахилу θ дотичній до її профілю, а також від часу з урахуванням спрямованості. Ця залежність може бути представлена наступним чином

$$\begin{cases} G_n = -mg \cdot \cos(\varphi + \theta) \\ G_\tau = -mg \cdot \sin(\varphi + \theta) \end{cases} \quad (1)$$

Зауважимо, що при рівномірному обертанні ротора його поточний кут повороту легко уявити, як функцію часу

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_e \cdot t \quad (2)$$

А кут нахилу дотичної є функція положення точки

$$\theta = \arctg\left(\frac{dy_L}{dx_L}\right) \quad (3)$$

де $\frac{dy_L}{dx_L}$ - похідна профільної функції лопатки, яка відповідно до рішення диференціального рівняння (на основі рис. 3, прийнята умова формування профілю лопаті в діаметричній площині ротора), отримуємо профільну функція лопаті такої форми

$$y(x) = x \cdot \frac{\sqrt{x^2 - (R-h)^2}}{2 \cdot (R-h)} - \frac{R-h}{2} \cdot \ln \left[\frac{x + \sqrt{x^2 - (R-h)^2}}{R-h} \right]$$

або в результаті чого ми отримуємо такий вираз для визначення кута θ

$$\frac{dy_L}{dx_L} = \frac{\sqrt{x^2 - (R-h)^2}}{R-h} \quad (4)$$

Враховуючи, що при цьому вибір довідкових систем $x=\rho$, ми отримуємо

$$\theta = \arctg\left(\frac{\sqrt{\rho^2 - (R-h)^2}}{R-h}\right) \quad (5)$$

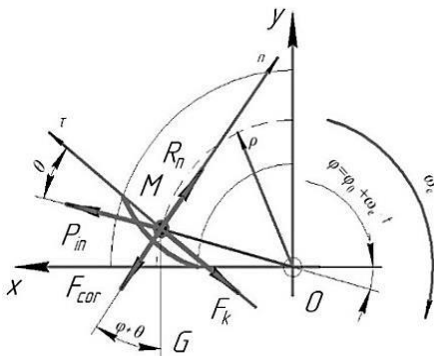


Рис.3. Система сил, прикладених до матеріальної точки на лопатці ротора, здійснюючи рівномірне обертання у вертикальній площині

Крім сили тяжіння у відносній системі відліку на частку діють: сила інерції в переносному її русі P_{in} ; сила інерції від прискорення Коріоліса F_{cor} (вектор прискорення Коріоліса спрямований відповідно до правила Жуковського); дві сили від накладених зв'язків - R_n (реакція по безумовному односторонньому кінематичному зв'язку) і F_k (реакція внаслідок кулонівського тертя).

Сила інерції в переносному русі є функцією відносного положення частинки

$$|P_{in}| = m \cdot |a_{en}| = m\omega_e^2 \cdot \rho \quad (6)$$

Сила інерції від дії прискорення Коріоліса є функцією її відносної швидкості, і по модулю приймає значення

$$|F_{cor}| = 2m\omega_e \cdot \dot{\rho} \quad (7)$$

Силою опору руху частки в повітрі нехтуємо.

Сила кулонівського тертя частинки з коефіцієнтом тертя ковзання k об поверхню лопатки залежить від сили притискання, величина якої в точності відповідає реакції опори R_n по безумовній кінематичного зв'язку. Баланс сил при відносній рівновазі частинки відповідно до схеми дії сил в нормальному до поверхні лопатки напрямку набуде вигляду

$$R_n - F_{cor} - G \cdot \cos(\varphi + \theta) = 0 \quad (8)$$

Звідки обчислюємо модуль сили тертя

$$|F_k| = k \cdot F_{cor} + k \cdot G_n = k \cdot m \cdot 2\omega_e \cdot \dot{\rho} + k \cdot mg \cdot \cos \left[\omega_e t + \varphi_0 + \arctg \left(\frac{\sqrt{\rho^2 - (R-h)^2}}{R-h} \right) \right]. \quad (9)$$

На підставі основного рівняння динаміки для відносного руху матеріальної точки відповідно до спрямованістю дії сил, що подані на схемі (рис. 3), маємо

$$m \cdot \ddot{\rho} = P_{in} - F_k - mg \sin \left[\omega_e t + \varphi_0 + \arctg \left(\frac{\sqrt{\rho^2 - (R-h)^2}}{R-h} \right) \right]. \quad (10)$$

Або після підстановки вхідних величин

$$m \cdot \ddot{\rho} = m\omega_e^2 \cdot \rho - k \cdot m \cdot 2\omega_e \cdot \dot{\rho} - k \cdot mg \cdot \cos \left[\omega_e t + \varphi_0 + \arctg \left(\frac{\sqrt{\rho^2 - (R-h)^2}}{R-h} \right) \right] - mg \sin \left[\omega_e t + \varphi_0 + \arctg \left(\frac{\sqrt{\rho^2 - (R-h)^2}}{R-h} \right) \right] \quad (11)$$

де ρ - координата відносного положення частинки (її поточний радіус положення); R - максимальний радіус ротора, або відстань між віссю ротора і поверхнею стрічки конвеєра; h - висота шару сипучого продукту на стрічці конвеєра; ω_e - кутова швидкість обертання ротора з лопатками; V - швидкість руху конвеєра з матеріалом на ньому; k - коефіцієнт тертя ковзання частинки об поверхню лопатки; m - маса частинки; g - прискорення вільного падіння.

Таким чином, диференціальне рівняння процесу ковзання частинки по криволінійній поверхні лопатки в деякому секторі кутів повороту лопатки сформульовано. Подальше рішення отриманого рівняння дозволяє проаналізувати функціонування робочого органу змішувача при горизонтальному русі шару матеріалу на конвеєрній стрічці та визначити його раціональні кінетичні і геометричні параметри, які сприяють підвищенню якості шихтових матеріалів перед подальшим їх використанням.

Висновки та напрямки подальших досліджень. У роботі представлена розроблена математична модель, яка дозволяє проаналізувати рух матеріалу на лопатці змішувача безперервної горизонтально-направленої дії і вибрати раціональні конструктивні параметри виходячи з необхідних технологічних умов і завдань. Встановлено, що ефективна екскавация матеріалу і його перемішування істотно залежить від геометричних розмірів ротора змішувача, швидкості транспортування матеріалу, висоти шару сировини на конвеєрній стрічці, а також фізико-механічних властивостей матеріалу. Подальші дослідження потребують встановити зв'язок між раціональними конструктивними параметрами змішувача та якістю змішування шихтових матеріалів.

Список літератури

1. Грищенко С. Г. Проблемные вопросы развития горно-металлургического комплекса Украины / С. Г. Грищенко, А. Ф. Гринев, Л. Г. Тубольцев // *Металлург. и горноруд. пром-сть*. - 2017. - № 1. - С. 2-6. - Библиогр.: 11 назв. - рус.;
2. Лялюк В. П. Качество кокса и оптимизация состава угольной шихты / В. П. Лялюк, Д. А. Кассим, И. А. Ляхова, В. П. Соколова // *Гірничий вісник*. - 2013. - Вип. 96. - С. 136-140. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/girvi_2013_96_37
3. Пополов Д. В. Перспективы направления усовершенствования конструкций роторных смесителей непрерывного действия / Д. В. Пополов, И. В. Засельский, Ю.И. Витетньов // *Международный журнал Acta Universitatis Pontica Euxinus*, Спеціальний випуск, Дніпропетровськ-Варна.: 2015, Т2. - С.136-138
4. Uchitel A. D. Determination of technological and power parameters mixer homogenizator / A. D. Uchitel, D. V. Popolov, I. V. Zaselskiy // *Metallurgical and Mining Industry*. - 2016 - №1 - p. 158-162
5. Учитель О. Д. Удосконалення технології та обладнання агломераційного виробництва: монографія // О. Д. Учитель, В. Й. Засельський, Д. В. Пополов, І. В. Засельський // Кривий Ріг: вид-во Р.А. Козлов, 2018.-184с.
6. Шмельцер Е. О. О влиянии качества подготовки угольных шихт на прочность и грансостав кокса [Електронний ресурс] / Е. О. Шмельцер, В. П. Лялюк, В. П. Соколова, И. А. Ляхова, Д. А. Кассим, М. В. Кормер // *Гірничий вісник*. - 2015. - Вип. 99. - С. 128-133. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/girvi_2015_99_31
7. Tarshis M. Yu. The modeling of a grain materials mixing process in the circulating type devices / М. Yu. Tarshis, Korolev, A. B. Kapranova // *Межвузовский сборник научных трудов*, 2016. Ярославский государственный технический университет. - Ярославль. 2016. - С.242-250

8. Волков М. В. Исследование смесителя сыпучих материалов открытого типа с рабочими лопастями / М. В. Волков, М. Ю. Таршис, А. И. Зайцев // Известия вузов. Химия и химическая технология. - 2013. - Т. 56, вып. 11. - С.117-119
9. Бородулин Д. М. Разработка и математическое моделирование непрерывно действующих смесительных агрегатов центробежного типа для переработки сыпучих материалов. Обобщение теорий и анализ: монография / Д. М. Бородулин // Кемерово, 2013 – 207 с.
10. Бородулин, Д.М. Развитие смесительного оборудования центробежного типа для получения сухих и увлажненных комбинированных продуктов: монография / Д.М. Бородулин, В.Н. Иванец. – Кемерово, 2012. – 178 с.
11. Иванец В. Н. Тенденции развития смесительного оборудования непрерывного действия центробежного типа / В. Н. Иванец, Д. М. Бородулин, А. А. Андрюшков // Техника и технология пищевых производств, (1 (20)), 2011, с 71-74.
12. А. Б. Шушпанников Особенности конструкций подъемных винтовых вибрационных смесителей непрерывного действия / А. Б. Шушпанников, Д. М. Бородулин, С. В. Злобин, С. Ю. Рокосов // Техника и технология пищевых производств, (2 (29)), 2013, с. 102-106.

Рукопис подано до редакції 21.02.2020

УДК 621.926.9

Д.Ю. КРАВЦОВА, канд. фіз.-мат. наук, ст. викл.; С.В. РЕБРОВА, асистент

Криворізький національний університет

С.С. ДУБРОВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доцент

Економіко-технологічний інститут ім. Роберта Ельворті, м. Кропивницький

МЕТОДИКА ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛІМЕРНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ НА СТІЙКІСТЬ АБРАЗИВНОМУ ЗНОШУВАННЮ

Мета. Метою дослідження є розробка ефективної методики та експериментального обладнання для випробовування нових матеріалів, у тому числі полімерних композиційних, на стійкість абразивному зношуванню.

Методи дослідження. Розглянуто кілька відомих методів дослідження абразивного зношування і розроблено на їх основі експериментальне обладнання для вивчення нових матеріалів, змодельоване необхідне абразивне середовище, яке максимально наближене до умов експлуатації. Описано принцип роботи обладнання, що розроблене авторами за стандартом ASTM. Обладнання засноване на моделюванні процесу зносу поверхні випробовуваного зразка матеріалу, що контактує під навантаженням із поверхнею фрикційного колеса, яке обертається, із додаванням частинок абразивної маси в зону контакту.

Наукова новизна. Конструкція обладнання дозволяє досліднику регулювати величину навантаження, швидкість обертання колеса, подачу кількості частинок абразивної маси, змінювати хімічний склад абразивних часток. Є можливість встановлення додаткових датчиків. Все це робить його універсальним для випробувань будь-яких матеріалів та імітації будь-яких умов експлуатації на різних виробництвах. Конструкція обладнання включає у себе прозорий захисний корпус, витяжку продуктів зношування та пилю.

Практична значимість. Таким чином, обладнання відповідає нормам наукового експерименту та безпечно для дослідника. Наведено переваги використання такого методу дослідження матеріалів на стійкість абразивному зношуванню і методику розрахунку продукту зношування.

Результати. Доведено актуальність дослідження фізико-механічних та експлуатаційних властивостей нових матеріалів для деталей машин, які працюють у екстремальних умовах гірничо-збагачувального виробництва. Розроблене експериментальне обладнання з метою подальших досліджень нових полімерних композиційних матеріалів. У зв'язку з масовою пропозицією нових матеріалів їх лабораторне дослідження необхідне для скорочення фінансових витрат та робочого часу підприємств. Налаштування розробленого експериментального обладнання може імітувати будь-які експлуатаційні умови.

Ключові слова: нові матеріали, полімерні композиційні матеріали, абразивне зношування, зношування деталей машин, експериментальне обладнання, експлуатаційні умови.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-50-55

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Питання підвищення зносостійкості деталей машин від абразивного зносу залишається дуже актуальним на протязі багатьох десятиліть, не зважаючи на те, що йому приділяється велика увага провідних науковців світу. Екстремальні умови експлуатації, особливо, у гірничо-видобувній та збагачувальній галузі призводять до частих відмов та простоїв обладнання. Це пояснюється особливістю технологічних процесів виробництва, а саме з впливом великої маси абразивної си-

ровини на робочі поверхні устаткування гірничо-збагачувальних комплексів. Поверхні обладнання, які працюють в абразивному середовищі та безпосередньо контактують з абразивним матеріалом піддаються інтенсивному зносу і, як наслідок, втрачають свої експлуатаційні властивості. Через це виникає необхідність заміни обладнання конвеєрів, млинів, дробарок, грохотів, шламових насосів, магнітних сепараторів тощо або збільшення капіталовкладень на їх ремонт та відновлення.

На частку цього виду руйнування припадає від 50 до 80% випадків передчасного виходу з ладу деталей різного призначення, на відміну від промислово розвинених країн, де витрати на заміну деталей, зношених під дією абразиву, становлять 4% національного доходу[1].

Останнім часом широкого застосування набувають ремонтні технології з використанням полімерних матеріалів, а також зростає частка полімерних деталей у вузлах і механізмах, які замінюють деталі з металу. На ринку з'являється велика кількість нових вітчизняних та зарубіжних полімерних матеріалів, властивості яких необхідно вивчити та застосувати відповідно до певних виробничих умов. Тому виникає необхідність дослідження їх фізико-механічних та експлуатаційних властивостей.

Аналіз досліджень і публікацій. Питанням захисту робочих органів гірничо-збагачувального обладнання від абразивного зносу присвячена велика кількість наукових робіт.

Для дослідження матеріалів, що працюють в абразивному середовищі необхідне, насамперед, вивчення механізму, класифікації та методики дослідження абразивного зношування. Саме цим питанням присвячені роботи Виноградова В.М., Сорокіна Г.М. [2]. Дослідження нових композиційних матеріалів наведені авторами Туліновим А.Б., Гончаровим А.Б. [3]. Фактори, що впливають на довговічність обладнання в умовах абразивного зносу, а також вимоги до конструкційних матеріалів, які дозволяють збільшити період роботи обладнання між ремонтами були визначені Шагаровою О.М. [4]. Дослідженням механічних властивостей деяких композитних матеріалів і особливостей їх застосування при певних умовах присвячені роботи проф. Іщенко А.О. [8]. Рядом авторів [6-12] наведені результати випробувань різних полімерних і композитних матеріалів та опис відповідних методів досліджень на основі певних стандартів.

Визнаючи значущість наведених досліджень необхідно відзначити, що усі стандартні методики випробувань в якості абразиву використовують круглий зернистий кварцовий пісок, а показники його опору до руйнування значно відрізняються від реальних абразивів. Не враховуються такі фактори, як розмір часток, їх швидкість, властивості абразиву(твердість та міцність), наявність рідини та ін. Тобто випробування не враховують варіабельність експлуатаційних умов.

Постановка задачі. На даний час кількість різновидів полімерних матеріалів зростає з кожним днем, їх стійкість до зношування не можливо точно передбачити виходячи зі звичайних властивостей матеріалу (твердість, модуль пружності, межа міцності на розрив). Експлуатаційний ресурс таких матеріалів до кінця не вивчений, а також відсутні загальноприйняті критерії зносостійкості, тому виникає необхідність у надійному та ґрунтовному підході до вивчення властивостей абразивного зношування, визначення оптимальних методів дослідження нових матеріалів, які б дозволили досліджувати процес абразивного зносу моделюючи необхідне абразивне середовище максимально наближене до умов експлуатації.

Викладення матеріалу та результати. Аналіз літературних джерел показує, що абразивний знос характеризується як найбільш поширений і найбільш інтенсивний процес руйнування матеріалів з усіх видів механічного зношування, особливо, на підприємствах гірничо-видобувної та гірничо-збагачувальних галузей. Так у кар'єрах та шахтах експлуатуються тисячі стрічкових конвеєрів. В запилених, вологих, забруднених умовах шахт і рудників ролики конвеєрів вже після перших місяців роботи перестають провертатися, застрягають і стираються транспортерної стрічкою. Вузли підшипників і труби роликів (традиційно металеві) піддаються корозії під дією агресивних шахтних вод, зношуються під впливом абразивних частинок породи і руйнуються. Статистика відмов, наприклад, ґрунтових насосів показує, що причиною їх відмов на 40% є зношення корпусу (уліти), 23% - робочого колеса, тобто 63% відмов стається саме через гідроабразивне зношування [13].

Зношування матеріалів робочих органів обладнання відбувається під впливом більш твердих речовин ніж матеріал спряженої деталі під час тертя. Це складне фізичне явище супроводжується відривом частинок та руйнуванням поверхні металу. У деяких випадках частинки

абразиву можуть ковзати по поверхні контакту, чим призводити до пластичної деформації, або проникати вглиб поверхні і, переміщуючись разом з нею, зрізати мікрооб'єми матеріалу. За визначенням, абразивне зношування - це механічне зношування матеріалів, в основному при різальній або дряпаючій дії твердих часток, що знаходяться у вільному або закріпленому стані [2]. Необхідно враховувати такі фактори, як структура й властивості абразивної маси, характеристики зношеної поверхні (механічні, структурні, хімічні) та особливості середовища, в якому протікає зношування при дослідженні процесу абразивного зношування. Усі види абразивного зносу відносяться до механічного, тобто до руйнування і відділення матеріалу від поверхні в результаті механічних дій, як показано на рис. 1.

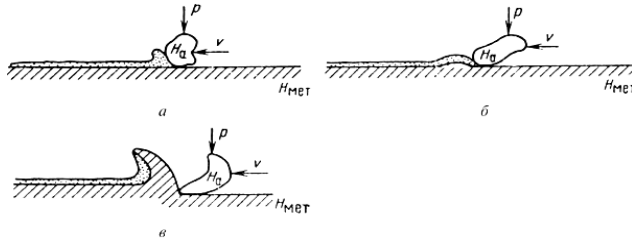


Рис. 1. Види взаємодії поверхні деталі з абразивною часткою: а – корозійно-механічний знос, б – пластичне відтиснення, в – мікрорізання [2]

Таким чином, деталі однакової конструкції, виготовлені з одного матеріалу, матимуть різну зносостійкість на різних підприємствах, тому що цей параметр залежить не тільки від зносостійкості матеріалів, але й від їх конструкції та умов експлуатації тобто залежить від певних умов зовнішнього впливу.

Внаслідок особливості умов експлуатації, робочі органи гірничозбагачувального обладнання, що безпосередньо контактують з зернами абразиву, інтенсивно піддаються ударно-абразивному, гідроабразивному та газоабразивному зношуванню.

Результати дії абразивного зношування деталей ролика конвеєра та корпусу шламового насосу [14] показані відповідно на рис. 2 та на рис. 3.



Рис. 2. Ролик конвеєра



Рис. 3. Корпус

В залежності від експлуатаційних умов, до абразивного зношування додаються корозійні процеси, кавітаційний знос, адгезійний знос, феттинг корозія та інші процеси [14]. Тому при плануванні методів досліджень нових полімерних матеріалів необхідно враховувати, що зношування робочих поверхонь гірничозбагачувального обладнання носить комбінований характер.

Стандарти, які визначають норми випробувань на абразивний знос, а саме ГОСТ 11012-69 (ГОСТ 11012-2017) «Пластмассы. Метод испытания на абразивный износ», а також стандарти на визначення зносостійкості при абразивному зносі (ГОСТ 23.208-79, ГОСТ 23.207-79, ГОСТ 17367-71 та ін.) на даний час є такими, що втратили чинність на території нашої держави. Більшість науковців, як вітчизняних, так і зарубіжних для випробувань полімерних матеріалів використовують стандарти ASTM.

ASTM International (American Society for Testing and Materials) – міжнародна організація, що розробляє та видає стандарти для матеріалів, систем, послуг тощо. При створенні своїх нормативних баз більш ніж 60 держав використовують стандарти ASTM [15]. Взагалі стандартів випробувань ASTM на тертя та зношування різних матеріалів на відповідному устаткуванні затверджено більше 47, окрім цього існує велика кількість доповнень до стандарту. На рис. 4, згідно цих стандартів, наведені основні схеми випробувань на абразивне зношування.

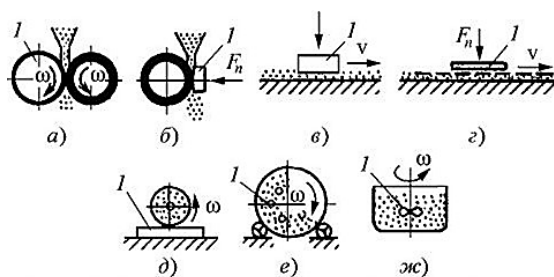


Рис. 4. Схеми випробувань на абразивне зношування [16]

На рис. 4 зразок, що випробовується позначений позицією 1. Випробування по «методу трьох тіл», а саме тертя двох дисків, тертя по гумовому колесу з піском, тертя при високій напрузі наведені, відповідно на рис. 4а, 4б, 4в. Схеми рис. 4г, 4д зображують випро-

бування по «методу двох тіл: рис. 4г - тертя по закріпленому абразиву, рис. 4д – тертя по абразивному каменю. Зношення в барабані та зношення в мішалці – тертя у середовищі абразивної маси - наведені на рис. 4е, 4ж, відповідно.

Проаналізувавши затверджені підкомітетом ASTM G02.30 стандартні методи випробувань на абразивний знос [15] і, виходячи з того, що в умовах нашого виробництва зношувані поверхні, у більшості випадків, піддаються не тільки стиранню, а й ударному контакту з абразивом доцільним є застосування дослідження по методу «трьох тіл», а саме ASTM G 65. Це стандартний метод випробувань з використанням пристрою з сухим піском та гумовим колесом. Він може бути проведений для дослідження багатьох матеріалів, в тому числі гальванічних та аерозольних покриттів. На відміну від звичайних методів на стирання, які проводяться на машинах Табера, за схемою ASTM G 65, що наведена на рис. 5, випробовуваний зразок піддається не тільки стиранню, а й схильний до ударних навантажень абразивної маси.

Цей метод охоплює лабораторні процедури, від «процедури А» до «процедури Е», які відповідають певним ступеням зносостійкості або товщини досліджуваного матеріалу й відрізняються за тривалістю випробувань. Результати випробувань на стирання визначаються, як втрати об'єму в кубічних міліметрах для конкретної визначеної процедури випробування. Матеріали з більшою стійкістю до стирання матимуть менші втрати об'єму [17].

За стандартом ASTM G 65 авторами розроблена схема устаткування для проведення випробувань полімерного композитного матеріалу, який планується застосовувати для виготовлення деталей, що працюють в умовах абразивного зносу. Схема та 3D-модель устаткування наведені на рис. 6.

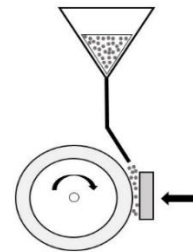


Рис. 5. Схема ASTM G 65

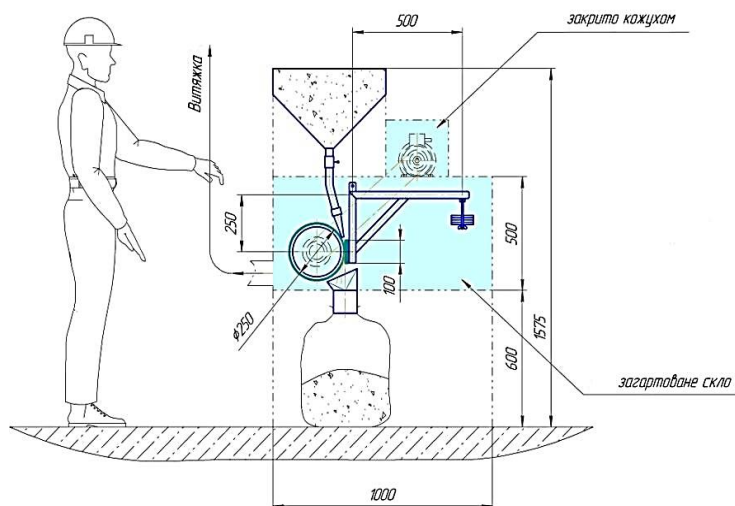
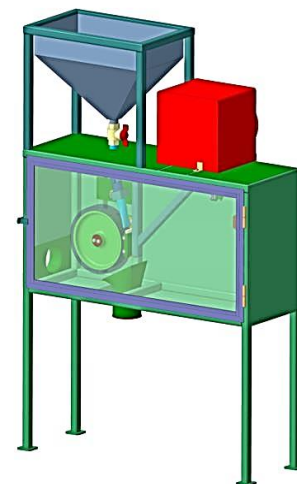


Рис. 6. Схема установки



Принцип роботи установки заснований на моделюванні процесу зносу поверхні випробовуваного зразка матеріалу, що контактує під певним навантаженням з поверхнею фрикційного колеса, яке обертається з регульованою швидкістю і під впливом, в зоні контакту, певної кількості частинок абразивної маси. Простота конструкції установки забезпечує вільний доступ до вузлів і деталей, легкість завантаження абразивної маси в бункер, можливість регулювати витрати абразивної маси та змінювати зусилля притиску випробовуваного зразка до фрикційного колеса. Прозора фронтальна кришка зі загартованого скла дозволяє в будь-який момент візуально оцінювати роботу установки процесу зносу. Регульований дросель на виході абразивної маси з бункера дає можливість змінювати кількість поданих абразивних частинок до зони контакту, а сопло щільної подібної форми забезпечує подачу частинок абразиву безпосередньо в зону контакту і дозволяє рівномірно розподіляти частки абразиву по всій лінії зони контакту.

Механізм притиску випробовуваного зразка до фрикційного колеса виконаний у вигляді важеля з консольним кріпленням до рами установки. Зміщений центр кріплення важеля і навантаж визначеної маси з протилежного боку забезпечує постійний притиск випробовуваного зра-

зка з певним зусиллям, що дозволяє компенсувати зазор, який з'являється в процесі зносу в сполученні зразок - колесо. Змінні елементи вантажу дозволяють змінювати масу, а відповідно і зусилля притиску. Для більш точного аналізу факторів процесу зносу, конструкція дозволяє встановлення датчиків температури (термопара), зусилля притиску (динамометр), лінійного зміщення (індикаторна стійка) і частоти обертання фрикційного колеса (тахометр).

Інтенсивність зносу можна оцінювати в залежності від величини фракції абразиву, об'єму або маси абразиву, що подається в зону контакту, швидкості обертання фрикційного колеса та зусилля притиску зразка. Найбільш поширеним способом визначення зношування матеріалу є метод розрахунку зносу за втратою маси зразка. Завдяки йому оцінюють знос пов'язаний з видаленням продуктів зношування наступним чином [18], мм³

$$\Delta h = \Delta m / \rho \cdot A_d, \quad (1)$$

де Δm - втрата маси, ρ - густина матеріалу, A_d - площа поверхні тертя.

Висновки. У наш час на ринку швидко зростає кількість пропозицій різних полімерних матеріалів у зв'язку з їх впровадженням у технологіях ремонту та відновлення робочих поверхонь гірничо-збагачувального обладнання. Це дозволяє економити фінансові ресурси, оскільки такі технології не потребують суттєвих капіталовкладень та витрат робочого часу. Експлуатаційний ресурс таких матеріалів до кінця не вивчений, а також відсутні загальноприйнятні критерії зносостійкості, тому запропонована розробка є дуже актуальною через те, що випробування матеріалів на абразивну зносостійкість є невід'ємною складовою прогнозування термінів роботи відповідних вузлів гірничого обладнання. Метою подальших досліджень є випробування полімерного композиційного матеріалу та модернізація устаткування на базі стандартів ASTM, яке б дозволило досліджувати процес абразивного зносу моделюючи необхідне абразивне середовище максимально наближене до умов експлуатації.

Список літератури

1. **Дворук В. И.** Реолого-кинетическая концепция абразивной износостойкости и ее реализация в управлении работоспособностью механических трибосистем : дис. докт. техн. наук : 05.02.04 / Дворук Владимир Иванович – Киев, 2007. – 471 с.
2. **Виноградов В. Н.** Абразивное изнашивание / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин, М. Г. Колокольников. – Москва: машиностроение, 1990. – 221 с.
3. **Тулинов А.Б.** Новые композиционные материалы в ремонтном производстве / А.Б. Тулинов, А.Б. Гончаров // Ремонт, восстановление, модернизация. 2003. - №11. - С.46-47.
4. **Шагарова О. Н.** Факторы, влияющие на долговечность горно-обогатительного оборудования при абразивном изнашивании / О. Н. Шагарова. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – №22. – С.178–181.
5. **Ищенко А.А.** Исследование свойств композитных материалов и их применение при восстановлении работоспособности перекачивающего оборудования / А.А.Ищенко, В.П.Гришко, Е.В.Дашко // Металлургическая и горно-рудная промышленность. №7(296). – Днепропетровск: ООО «Укрметаллургинформ НТА», 2015. – С. 166-170(БАК України, Scopus).
6. **Братковский Е. В.** Методика оценки ударно-абразивной стойкости сталей / Е. В. Братковский, А. Н. Шаповалов, Р. Р. Дема. // Трение и износ (Friction and Wear). – 2019. – С. 173–179.
7. **Kennedy D. M.** Methods of wear testing for advanced surface coatings and bulk materials / D. M. Kennedy, S. J. Hashmi // Journal of Materials Processing Technology – 1998. - №77. – P. 246–253
8. **Pejakovic V.** Abrasion resistance of selected commercially available polymer materials / V. Pejakovic, R. Jisa , F. Franek // TRIBOLOGIA - Finnish Journal of Tribology – 2015. - vol 33 - №1 – P. 21-27
9. **Suresha B.** Mechanical three-body abrasive wear behaviour of three-dimensional glass fabricreinforced vinyl ester composite / B. Suresha, G. Chandramohan, Siddaramaiah, Kunigal N. Shivakumar, Mohammed Ismail // Materials Science and Engineering A – 2008.- №480. – P 573-579
10. **Lingesh B.** Three Body Abrasive Wear Behaviour of Polyamide 66/ Polypropylene (PA66/PP) Thermoplastic Blends / B. Lingesh, B. Ravikumar, B. Rudresh // J. Mod. Mater. -2017.- vol. 3 - №1. – P. 24-32
11. **Кузьменко А.Г.** Теоретичні основи методу випробувань на абразивний знос за схемою Малишева-Веллінгера-Уетца / А. Г. Кузьменко, О. А. Вишневський // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб.– 2011. – №. 55. – С.79–82.
12. **Кузьменко А.Г.** Метод испытаний на абразивный износ по схеме Бринелля-Ховарта (Br - Hv). часть 1. Теоретические основы метода / А.Г. Кузьменко, О.А. Вишневский // Проблеми трибології (Problems of Tribology). - 2012. - № 4. - С. 102-108.
13. **Реброва С.В.** Використання сучасних технологій при виготовленні та ремонті елементів конструкцій гірничо-збагачувального обладнання / С.В. Реброва, С.С. Дубровський // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2019. – №48. – С. 79-83.
14. **Носовська О. В.** Підвищення надійності шламових насосів шляхом вдосконалення конструктивних елементів корпусів при їх відновленні: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.05.08 / Національна металургійна академія України – Маріуполь, 2017. – 178с

15. ASTM International: American Society for Testing and Materials [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://www.astm.org/COMMIT/SUBCOMMIT/G0230.htm>
16. Испытания на трение и изнашивание [Електронний ресурс] // Ozlib. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://ozlib.com/811258/tehnika/isspytaniya_trenie_iznashivanie.
17. ASTM G65-04(2010) - Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus. [Електронний ресурс] // ASTM. -2010. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.astm.org/Standards/G65>
18. Методы испытаний на трение и износ / Л. И.Куксенова, В. Г. Лаптева, А. Г. Колмаков, Л. М. Рыбакова. – Москва: Интермет Инжиниринг, 2001. – 152 с. – (справочное издание). – (Специалист материаловед).

Рукопис подано до редакції 10.03.2020

УДК 528.4

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

РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ БАЗОВИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ ДЛЯ ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННЯ І КАДАСТРУ

Мета. Дослідження базових функціональних характеристик мобільних геодезичних і картографічних додатків для забезпечення виконання кадастрових і землепорядкових робіт.

Методи. Теоретичну й методичну основу роботи становить сукупність загальнонаукових підходів, логічних законів побудови висновків, спеціальних методів пізнання, що безпосередньо зумовлено поставленою метою та завданнями дослідження. В якості методологічної основи дослідження використано сполучення «мобільні додатки». При виконанні завдань дослідження використано компоненти прикладних платформ Play Market компанії Google, ANDERBOT, APKGK, мобільних додатків «Геодезичне обладнання», CREDO_DAT Mobile, NextGIS Mobile, Trimble RTX. Інформаційною базою дослідження слугували монографії, підручники, збірники наукових праць, періодичні фахові видання, Інтернет-ресурси, матеріали науково-технічних конференцій.

Наукова новизна. Сформульовано критерії ефективності використання мобільних додатків для землепорядкових і кадастрових робіт, представлено можливості їх застосування у виробництві.

Практична значимість. Визначається цільовим спрямуванням даного дослідження для потреб фахівців землепорядкування та кадастру країни. Відображено результати моніторингу базових функціональних характеристик мобільних геодезичних і картографічних сервісів та додатків, а саме сервісів Play Market компанії Google, ANDERBOT, APKGK, мобільних додатків «Геодезичне обладнання», CREDO_DAT Mobile, NextGIS Mobile, Trimble RTX, сформульовано критерії їх виробничої продуктивності, описано використання смартфонів для планування супутникових спостережень.

Результати. Виконано аналітичний огляд стану проблеми використання мобільних додатків геодезичного і картографічного спрямування для забезпечення проведення землепорядкових і кадастрових робіт, обґрунтовано їх роль у сучасному світі, проаналізовано вплив технологічного і технічного прогресу на діяльність геодезистів, землепорядників в нових умовах, розроблена класифікація мобільних пристроїв і додатків, сформульовано проблеми безпеки застосування мобільних пристроїв, систем і додатків. Розглянуто перспективи удосконалення технології використання мобільних додатків для забезпечення геодезичних, землепорядкових і кадастрових робіт.

Ключові слова. Мобільний додаток, Trimble RTX CREDO_DAT Mobile, NextGIS Mobile, APKGK, ANDERBOT, кадастр, землепорядкування.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-55-62

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. У сучасних умовах геодезичне знімання виконують за допомогою електронних тахеометрів і супутникового GNSS-обладнання. При цьому використовується польове кодування об'єктів для мінімізації часу виконання робіт і полегшення камерального опрацювання. Знімання підземних інженерних мереж проводиться із застосуванням високочутливого трасошукача з двома локаторами і опрацюванням цифрового сигналу. Знімання земельної ділянки широко застосовується при складанні земельного кадастру та землепорядкових роботах, під час розділу та об'єднанні земельних ділянок, оформленні додаткової площі, у разі виникнення земельних суперечок. Але чи може замінити сучасні вимірювальні пристрої смартфон із відповідними додатками?

В даний час багато компаній пропонують різноманітні послуги за допомогою мобільних додатків для смартфонів, які з моменту появи на ринку є зручним інструментом не тільки для комунікації, а й для отримання інформації, що цікавить. Причиною такої великої популярності програм для мобільних телефонів або планшетів є їх практичність і ефективність. Програми для

Андроїд безкоштовні, які можна знайти на сайті playmarket-androids.com [1], при цьому корисні і користувачам, і компаніям-розробникам. Розробляючи і створюючи власні мобільні додатки, компанії отримують можливість постійно взаємодіяти з потенційними клієнтами та споживачами [2].

Постановка задачі. Як правило, в процесі створення фірмових додатків, розробниками враховуються всі технічні характеристики і апаратні можливості пристроїв, а також особливості операційної системи IOS або Android, на базі яких функціонують смартфони або планшети. Зазвичай подібні програми мають максимально зрозумілий інтерфейс і ґрунтуються на принципі веб-юзабіліті. Поряд з цим таке програмне забезпечення наділяє планшетні комп'ютери і смартфони додатковими функціями і різними опціями, які суттєво розширюють можливості цих мобільних пристроїв. Варто зауважити, що на сьогоднішній день у всіх країнах світової спільноти реалізовано понад 5,6 млрд смартфонів і планшетних комп'ютерів, при цьому затребуваність таких виробів зростає з кожним днем. Тому створення мобільних додатків для цих пристроїв є найбільш перспективним і актуальним напрямком [3, 4].

Виклад матеріалу і результати. Функціональність мобільних додатків є надзвичайно різноманітною: від ігор та сервісів виклику таксі, до офісних програм та фітнес-трекерів. Однак всі додатки можна поділити на 3 категорії: нативні, веб та гібридні [5]. Кожна з цих категорій має свої переваги та особливості (рис. 1). Нативні додатки – це додатки, які розроблені для конкретної платформи (IOS чи Android) з урахуванням специфіки даної платформи та доступом до всіх її ресурсів. Веб-додатки використовують стандартні веб-технології, такі як HTML5, JavaScript і CSS [6, 7]. Гібридні додатки – це універсальні додатки, які створені для багатьох платформ одразу і мають аналогічну функціональність незалежно від самої платформи [8, 9].



Рис. 1. Переваги мобільних додатків смартфонів і планшетів

У Google Play можна знайти багато корисних і не корисних додатків, платних і безкоштовних програм. На вересень 2019 в Google Play міститься більше 2,9 млн додатків для Android. Користувачі з більш, ніж із 145 країн можуть купувати додатки, які мають до 122 локалізованих версій. Розробники понад 150 країн можуть передавати програми на Google Play, але не кожна з них підтримує реєстрацію продавця. Але одночасно користувачі скаржаться, що в магазині часто містяться програми низької якості (близько 13%), а також зустрічається шкідливе програмне забезпечення. Незважаючи на те, що кількість смартфонів на платформі Android перевищує 400 млн одиниць, Google Play програє App Store за доходами розробників. 15 травня 2013 року на конференції Google I/O було оголошено, що на даний момент у всьому світі активовано більше 900 млн Android-пристроїв. З Google Play завантажено понад 48 млрд додатків; 2,8 млрд з яких, завантажено за останній місяць [10]. Завантаження додатків перевищили 194 млрд у 2018 р., що на 35% більше, ніж у 2016-му. Комфорт використання мобільних при-

строїв і комплектуючих визначається виключно якістю софту. Мова йде не тільки про інформаційні додатки або програми для роботи. Міжнародний проект ANDERBOT.COM представляє понад 4 млн додатків найрізноманітнішого плану.

В переліку додатків сервісу ANDERBOT є додаток «GNNS, карти, навігація і напрямки», який дозволяє відстежувати всі відвідані місця, розташування на карті з датою і часом (рис. 2). GNNS Route Locator дає право знайти маршрути проїзду від поточного місця розташування до місця призначення на карті. Додаток не тільки відстежує поточне місце розташування, а також передає локацію іншим користувачам, підтримує різні режими відображення карти, такі як Hybrid, Satellite, Normal [11].

Наступний додаток, який може стати в нагоді – «Рівень лазера» (інструмент для вирівнювання) – відмінний додаток для вимірювання, який оснащений лазерним показником, звичайним 3-мірним рівнем і кутоміром для вимірювання вертикальних кутів і визначення точної горизонтальної площини (рис. 3). Основні режими цього лазерного рівня: інноваційна лазерна указка – з використанням вбудованих датчиків (гіроскопа і акселерометра), камери і доповненої реальності допомагає визначити вертикальні і горизонтальні рівні; дійсний рівень – працює як звичайна частина рівня – бульбашка. Для цього необхідно розмістити смартфон на поверхні або на об'єкті, який потрібно виміряти, також можна встановити під певним кутом. Кутомір, в основному, використовується для вимірювання вертикальних кутів і визначення кута нахилу будь-якого об'єкта від вертикалі. Ці режими оснащені високоточними цифровими і аналоговими індикаторами. Дані представлено в градусах, відсотках чи в будь-яких інших одиницях, які обирає користувач.

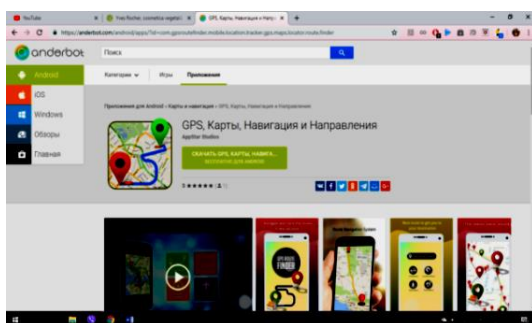


Рис. 2. Додаток «GNNS, карти, навігація і напрямки» на сервісі «Anderbot»

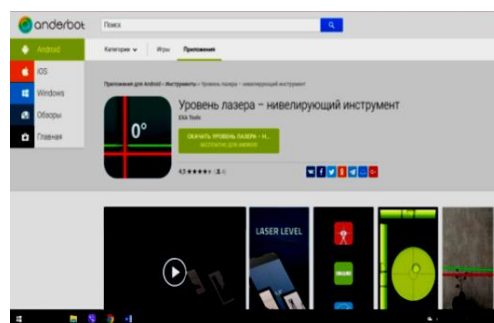


Рис. 3. Додаток «Рівень лазера» на сервісі «Anderbot»

Сервіс APKGK – це інтернет-маркет мобільних додатків, який вміщує в собі найрізноманітніші додатки, ігри, соціальні мережі, інструменти для безлічі задач. В цьому переліку є також додатки і для геодезичних завдань. Додаток «Транспортер або кутомір» являє собою інструмент для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів за допомогою гіроскопа, акселерометра і вектора обертання. Він також має лазерний рівень, транспортер, компас доповненої реальності, галерею зображень, записи та кілька параметрів налаштування. Також можна відкалібрувати базовий рівень цього інструменту і використовувати довільну лінію в якості початкового відліку. Кути вимірюються в градусах з точністю в $0,1^\circ$ (рис. 4).

Для завдань, пов'язаних з GNNS можна використати додаток «Карті: навігація та суспільний транспорт», який дозволяє планувати поїздки, прокладати маршрут подорожі, визначити своє місцезнаходження або виконати пошук за адресою із допомогою карт Google (GoogleMaps) або OpenStreetMap (OSM). На рис. 5 представлено сторінку даного додатку [11]. Карті включають інформацію з Вікіпедії, відео з YouTube, фотографії Panoramio, перегляд вулиць і прогнози погоди. Даний додаток функціонально має: фотографії на карті: фотографії з всесвітньої бази даних обміну фотографіями Panoramio; відео на карті: локалізовані відео на YouTube; путівник з Вікіпедії, в якому є можливість прочитати інформацію про обрані місця, визначні пам'ятки; перелік вулиць на карті, які можна передивитися; відео з веб-камер на карті: відео з веб-камер із усього світу, що відображається на картах [12].

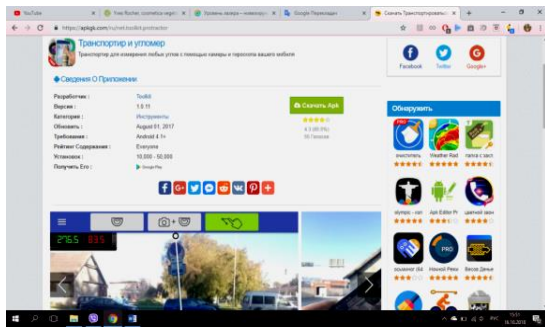


Рис. 4. Сторінка додатку
«Транспорт та кутомір»

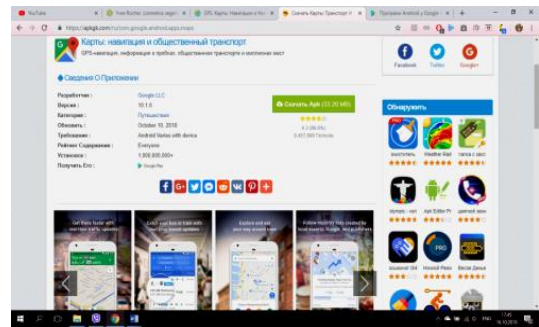


Рис. 5. Сторінка додатку
«Карти: навігація та суспільний транспорт»

У теперішній час з масовим поширенням недорогих смартфонів із вбудованими модулями GPS/ГЛОНАСС, є можливість у реальному часі контролювати якість виконуваних спостережень за допомогою набору прикладних програм, одна з них – GNSS ViewGNSS_View (рис. 6).

Ще одна функція – показ на екрані положення супутників в небі в реальному часі, із використанням вбудованої камери смартфонів (рис. 7, 8) [13, 14].

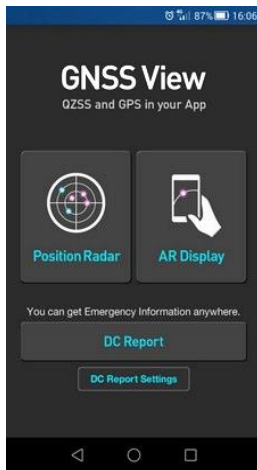


Рис. 6. Вікно додатку
«GNSS ViewGNSS_View»



Рис. 7. Робочі вікна розміщення супутників:
а – стан супутників для кута відсічення 15°;
б – стан супутників для кута відсічення 55°

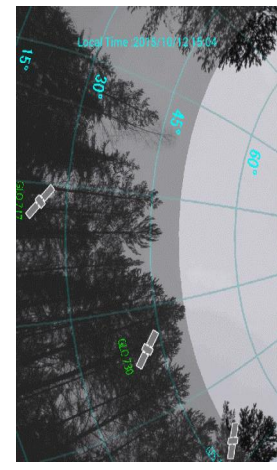
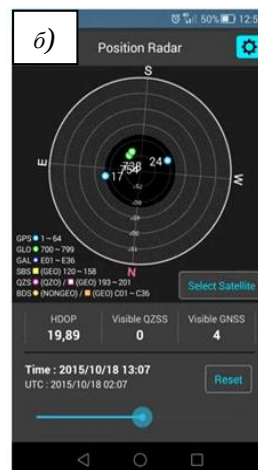


Рис. 8. Положення
супутників в небі
у реальному часі

Додаток «Геодезичне обладнання» призначено для тих, кому потрібні інструменти та обладнання для отримання високоточних вимірювань в геодезії, землепорядкуванні, кадастрі, будівництві, проектуванні, дизайні (рис. 9).

У додатку представлено нове обладнання та інструменти, які максимально точно відповідатимуть потребам і завданням користувачів [15].

Через додаток можна замовити будь-яку послугу, що надається, а саме:

- метрологічну перевірку геодезичного інструменту;
- оренду тахеометра або GNSS приймача;
- trade-in – здай старе і візьми нове обладнання;
- викуп геодезичного обладнання;
- юстування або ремонт будь-якої складності.

Програма призначена для оперативної камеральної обробки в польових умовах геодезичних вимірювань одного класу точності.

Даний додаток застосовується для лінійних і площадних інженерних вишукувань об'єктів промислового, цивільного і транспортного будівництва, геодезичного забезпечення будівництва, землепорядкування, маркшейдерського забезпечення робіт при видобутку і транспортуванні нафти і газу, геодезичного забезпечення геофізичних методів розвідки, маркшейдерського забезпечення видобутку корисних копалин відкритим способом.

Переваги роботи в програмі такі:

програму можна використовувати, як бортове програмне забезпечення для електронних тахеометрів, що мають відповідні операційні системи (Windows CE 5.0 і вище);

зручне використання на мобільних пристроях, смартфонах, КПК, планшетах на платформі Windows Mobile 5.0 і вище і Android до версії 4.2.2.

При цьому забезпечується: оперативний контроль результатів вимірювань; отримання безпосередньо «у штатива» результатів обробки вимірювань і оцінки точності; рішення різних розрахункових завдань при зйомці, виносі проектів в натуру, встановлення контурів земельних ділянок тощо; отримання графічних і текстових документів із використанням офісних додатків CREDO DAT 4.1 Professional і CREDO DAT 4.1 LiTE; відсутність обмежень на форми і методи створення оброблюваних мереж геодезичної опори.

Кількість оброблюваних (які беруть участь у зрівнянні) пунктів планово-висотної основи: не більше 20 – на платформі Android, не більше 30 – на платформі Windows Mobile, кількість оброблюваних точок тахеометрії – не обмежена. Є можливість оперативного підключення читання нових форматів файлів електронних реєстраторів і тахеометрів.

Основні функції: імпорт файлів електронних тахеометрів, представлених в найбільш поширених форматах (рис. 10); можливість ручного введення і редагування даних вимірювань, координат і висот точок, кодових рядків; індивідуальні настройки проекту – вибір і редагування необхідних характеристик інструменту, точності вимірювань і відображень ліній і кутів, вибір і облік основних поправок до виміряних величин, вибір необхідної формули для розрахунку допустимого значення висотної нев'язки; можливість вибору типу зрівнювання – планове, висотне, планово-висотне; основні розрахункові операції – попередня обробка даних і спільне зрівнювання різних планово-висотних геодезичних мереж параметричним способом по методу найменших квадратів; перегляд основних розрахункових відомостей – характеристик ходів планового і висотного обґрунтування, відомості ліній і перевищень.

В графічному вікні даних вимірювань відображаються пункти, точки і зв'язки тахеометрії, еліпси планових і висотних СКО положення пунктів (рис. 11). Є можливість спрощеного відображення в графічному вікні; створення та редагування лінійних і площадних об'єктів; зміни геометрії об'єкта під заздалегідь задане значення площі; рішення різних інженерних завдань: ОГЗ за двома пунктами, проекція точки на пряму, перетин прямих, обміри, побудова четвертої точки паралелограма.

Для встановлення даного додатку необхідні наступні системні вимоги до смартфона: Windows CE 5.0, Windows Mobile 5.0 і Android 2.3.3+.

NextGIS Mobile – мобільна ГІС для операційної системи Android, що дозволяє створювати, редагувати і вивантажувати геодані в режимах онлайн і оффлайн (рис. 12).

Програму також можна скачати у вигляді apk-файлу. NextGIS Mobile працює на смартфонах і планшетах під управлінням ОС Android 2.2 і вище.

NextGIS Mobile дозволяє: відображати карту, що складається з шарів (шари можуть бути з онлайн і оффлайн джерел); змінювати видимість, порядок шарів; виконувати навігацію по карті (збільшення, зменшення, переміщення); здійснювати польовий збір даних; редагувати векторні дані (геометрію і атрибути) в режимі онлайн і оффлайн; записувати треки; відображати треки;

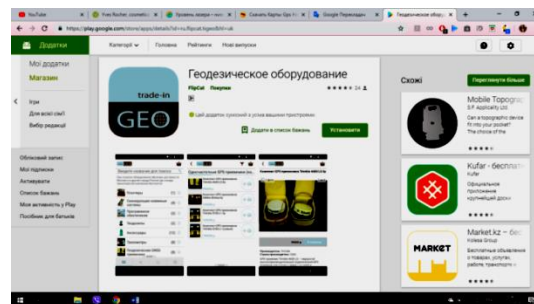


Рис. 9. Сторінка додатку «Геодезичне обладнання»



Рис. 10. Вибір формату для імпорту



Рис. 11. Відображення даних у графічному вікні

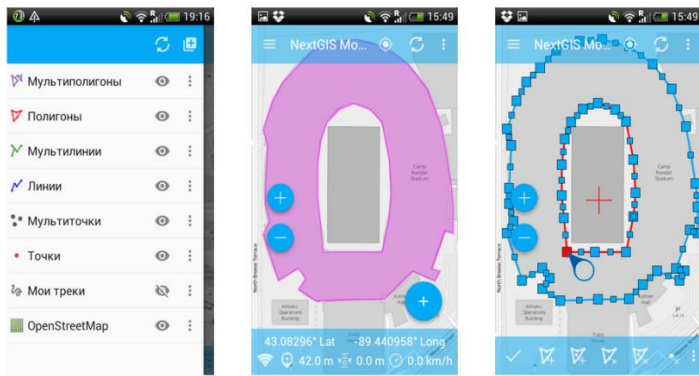


Рис. 12. Приклад вікон додатку «NextGIS Mobile»

координати, швидкість, висоту пристрою на карті. NGMobile_certificate_preview – це програма, яка є платформою для подальшої розробки програмних продуктів «під замовника» [15].

Мобільний додаток Trimble RTX (рис. 13) надає користувачам у геопросторовій, кадастровій, землепорядній, сільськогосподарській та будівельній галузях доступ до важливих функцій, пов'язаних із RTX, що полегшує їх роботу [16]. Дода-

ток пропонує кілька важливих функцій, пов'язаних із RTX, зокрема:

Trimble centerpoint rtx post-обробка сервіс, який забезпечує:

зв'язок із приймачем через Bluetooth, щоб розпочати сеанс запису в полі;

отримання записаних даних із приймача та відправлення до сервісу після обробки RTX;

отримання звіту із новими даними в додатках або електронною поштою;

одержання сповіщень про появу додатків про запис та обробку пост-обробки;

в Trimble rangepoint rtx виконується сервісна активація в наступному порядку:

сканування або введення вручну серійного номера приймача для активування служби коригування RangePoint RTX;

отримання коду доступу в додатку електронною поштою після успішного подання;

введення коду доступу до приймача для активації служби виправлення RangePoint RTX;

розділ «Супутники» включає такі послуги:

перегляд супутників, які відносяться до обраного приймача, перегляд геометрії супутників за допомогою Satellite Skyplot (рис. 14);

ознайомлення із кількістю супутників, що переглядаються, отримання співвідношення азимуту та шумів сигналу L-1 та L-2 із діаграмою статусу супутника;

ознайомлення із якістю сигналу супутників у діапазоні співвідношення шумів супутникового сигналу;

перегляд карт покриття для служб коригування CentrePoint RTX та RangePoint RTX.



Рис. 13. Приклад робочих вікон додатку «Trimble RTX»

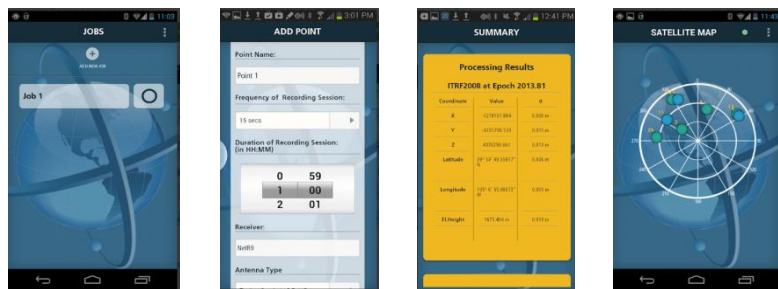


Рис. 14. Приклад процесів роботи додатку «Trimble RTX»

Висновки та напрямки подальших досліджень. Сьогодні обладнання для проведення землепорядних і кадастрових робіт є досить високої вартості, але існують певні цілі, для яких буде досить точності мобільного додатку. Наприклад, датчик GNSS в мобільних пристроях можна використовувати не тільки за прямим призначенням (для навігації або визначення координат), але і в ряді інших, часто неочевидних на перший погляд, завдань. Особливість сценарію додатків полягає в тому, що точне визначення координат відбувається в форматі Google maps, що виключає необхідність пошуку програми-конвертера і перетворення з однієї системи в іншу.

Моніторинг базових функціональних характеристик таких інтернет-сервісів і мобільних додатків, як Play Market, ANDERBOT, APKGK, NextGIS. «Геодезичне обладнання» показав наявність багато спільних рис, а відмінною рисою їх є операційні системи, з якими можуть вони працювати. На етапі планування використання додатків, перш за все, слід визначити його призначення, доцільність застосування щодо забезпечення відповідної точності вимірювання, проаналізувати структуру і функціонал додатку, розглянути додатки-конкуренти, оцінити перспективи його застосування. Критеріями ефективності вживання слід визнати: зростання продуктивності праці, зменшення працемісткості, матеріалоемності та собівартості виконання поставлених задач.

Отже, ця науково-прикладна задача із дослідження мобільних додатків є актуальною, адже такого роду додатки почали з'являтися відносно не давно. Звісно зі смартфоном працювати легше та зручніше, але не треба забувати про точність, яку він дозволяє отримувати: цей момент необхідно постійно контролювати і перевіряти. Та все ж вони не замінять повноцінної зйомки, адже зі смартфоном можемо провести лише деякі наземні знімання. В подальших роботах також необхідно дослідити наскільки методика вимірювання із використанням мобільних додатків є доцільною, чи все ж таки віддати перевагу класиці.

Список літератури

1. Google play [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http:// https://play.google.com/store/apps/](http://https://play.google.com/store/apps/). – 09.03.2020. – Назва з екрану.
2. Розробка веб-додатків, мобільних додатків та порталів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ittel.com.ua/informacijni-tehnologiyi/rozrobka-mobilnih-dodatki/>. – 09.03.2020. – Назва з екрану.
3. Операційна система Google Android [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://alls.in.ua/13729-operacijna-sistema-googleandroid.html/>. – 09.03.2020. – Назва з екрану.
4. Роджерс Р. Android. Разработка приложений [Текст] / Р. Роджерс, Д. Ломбардо. – М.: ЭКОМ Паблишерз, 2010. – 400 с.
5. Мобильные операционные системы в 2019 году [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://geeksmagazine.org/post/80/mobilnye-operatsionnye-sistemy-v-2014-godu> – 05.03.2020. – Назва з екрану.
6. Языки программирования для Android [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kakprosto.ru/kak-861348-yazykiprogrammirovaniya-dlya-android/>. – 09.03.2020. – Назва з екрану.
7. Родной язык Андроид [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://toster.ru/>. – 09.03.2020. – Назва з екрану.
8. Васильев А.Н. Java. Объектно-ориентированное программирование. Учебное пособие / А.Н. Васильев/. – СПб.: Питер, 2011. – 400 с.
9. Новая среда разработки Android Studio [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.cnews.ru/top/2013/05/20/novaya_sreda_abotki_android_studio_sozdana_na_osnove_rossiyskogo_proekta529258 – 09.03.2020. – Назва з екрану.
10. Обзор 7 самых популярных кроссплатформенных мобильных фреймворков [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://habrahabr.ru/post/118169> – 17.10.2018. – Назва з екрану.
11. ANDERBOT.COM – портал приложений для каждого жителя Земли [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http:// https://mediapure.ru/onlajn-servisy/anderbot-com-portal-prilozhenij-dlya-kazhdogo-zhitelya-zemli/](http://https://mediapure.ru/onlajn-servisy/anderbot-com-portal-prilozhenij-dlya-kazhdogo-zhitelya-zemli/). – 09.03.2020. – Назва з екрану.
12. Сервіс мобільних додатків APKGK [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://apkgk.com/ru/> – 09.03.2020. – Назва з екрану.
13. Использование смартфона для планирования спутниковых наблюдений [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://geo-liga.ru/smartphone-gnss-planning/> – 02.02.2020. – Назва з екрану.
14. Геодезическое оборудование. Сервіс Play market [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://play.google.com/store/apps/>. – 23.01.2020. – Назва з екрану.
15. NextGIS [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nextgis.ru/nextgis-mobile/> – 29.01.2020. – Назва з екрану.
16. Trimble RTX [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.trimble.com/positioning-services/trimble-rtx.aspx> – 30.01.2020. – Назва з екрану.

Рукопис подано до редакції 24.03.2020

УДК 621.7.022.6

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

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ВИРОБІВ СКЛАДНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНИМ УЛЬТРАЗВУКОМ

Мета. Визначення найбільш ефективних програмних продуктів для моделювання розповсюдження ультразвукових хвиль в процесі очищення виробничого устаткування за допомогою високоінтенсивного акустичного опромінення та побудова тривимірної моделі для дослідження просторової розподіленості процесу очищення.

Методи дослідження. Аналіз наявних програмних продуктів для моделювання розповсюдження ультразвукових хвиль, їхніх особливостей та методів, на яких вони базуються. Моделювання процесу ультразвукового очищення на основі обраного програмного засобу.

Наукова новизна. На основі проведеного аналізу наявних систем моделювання обрано підхід, що забезпечує максимально точне та швидке моделювання поля акустичного тиску в процесі ультразвукового очищення, побудовано тривимірну модель процесу ультразвукового очищення виробу складної конфігурації. Визначено закономірності віддзеркалення ультразвукових хвиль під час очищення.

Практична значимість. Визначено оптимальний з точки зору точності та тривалості процедури вирішення сформульованої задачі програмний засіб для моделювання процесу ультразвукового очищення та побудовано тривимірну модель, аналіз якої надає змогу зробити висновки щодо формування цілеспрямованого керуючого впливу ультразвуковим джерелом в залежності від даних, що отримані датчиками тиску.

Результати. На основі аналізу програмних засобів для моделювання розповсюдження ультразвукових хвиль та принципів і методів, які є їхньою основою, обрано найбільш оптимальний варіант для моделювання процесу ультразвукового очищення за критеріями точності та тривалості цієї процедури. За допомогою обраного програмного засобу побудовано тривимірну модель процесу очищення та зроблено аналіз результатів вимірювань ультразвукових датчиків. Виявлено, що у процесі очищення найменшу дисперсію тиску має найближчий до забруднення датчик. Під час очищення (при моделюванні відбувається зменшення товщини забруднення) відхилення акустичного тиску найближчого до забруднення датчика починають збільшуватись в обох напрямках, набуваючи максимального значення, коли тіло очищене. Отже, для визначення результатів очищення доцільно формувати цілеспрямований керуючий вплив інтенсивним ультразвуком з урахування відносних змін та дисперсії акустичного тиску в обраних точках контролю.

Ключові слова: ультразвукове очищення, моделювання, програмний засіб, ультразвуковий тиск.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-62-68

Проблема та зв'язок її з науковими та практичними задачами. Системи ультразвукового очищення забезпечують більш якісне та ефективне очищення, порівняно з ручним, механічним та хімічними способами. Але велика кількість факторів, що впливають на ефективність процесу очистки (розчин для миття, температура, наявність стоячих хвиль, потужність та частота ультразвуку, розмір і форма резервуара, тип забруднення, розташування ультразвукового перетворювача тощо) роблять цей процес досить складним для автоматичного керування. До того ж при очищенні виробів складної конфігурації необхідно враховувати їхню просторову розподіленість та формувати керуючий вплив згідно даних щодо стану об'єкта очищення. Оцінювання стану об'єкта очищення можна проводити шляхом аналізу результатів процесу віддзеркалення ультразвукових хвиль. Для визначення залежностей, що можуть бути основою для оцінювання стану процесу ультразвукового очищення, необхідно змоделювати цей процес та проаналізувати його перебіг. Існує велика кількість програмних засобів, що дозволяють моделювати процес розповсюдження ультразвукових хвиль. Проаналізуємо їхні особливості та визначимо оптимальне рішення щодо системи, яка має використовуватись для моделювання саме процесу очищення.

Аналіз досліджень та публікацій. Існує велика кількість програмних оболонок, що дозволяють моделювати процес поширення ультразвукових хвиль у неоднорідних середовищах. Це і програми загального призначення, які дозволяють моделювати дуже широкий спектр фізичних, хімічних, інженерних процесів, мають в своєму арсеналі велику кількість реалізованих методів розв'язування диференціальних рівнянь та систем диференціальних рівнянь. Яскравим представником такого програмного забезпечення є Comsol, за допомогою якого можна змоделювати майже всі фізичні процеси. Переваги таких систем в універсальності, у великій кількості методів розв'язку поставлених завдань, у зручному інтерфейсі, недоліки – це закритий код, що не завжди враховує останні розробки. Більш спеціалізовані програмні засоби базуються на обмеженій кількості використаних методів і призначені для певної сфери застосування. Взагалі, питання моделювання будь-яких процесів зводиться до того, на основі яких законів буде будуватися модель та якими методами будуть розв'язані еквівалентності, що лежать в основі цих законів. Саме за цими параметрами і доцільно класифікувати програмні засоби для моделюван-

ня ультразвукових розповсюджень з урахуванням особливостей інтерфейсу та можливості візуалізації отриманих результатів.

Одним з основних законів, що описує процес розповсюдження ультразвукових хвиль є рівняння Гельмгольца

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

де акустичний тиск $p = p_0 \exp(i\omega t)$, ω – кутова частота хвилі. Константи c та ρ – швидкість хвилі та густина рідини відповідно.

До програм, що базуються на моделюванні саме на цьому рівнянні відноситься Bem++ (boundary element method). Як зрозуміло з назви в основі цього програмного засобу лежить метод граничних елементів. Щоб застосувати природну сильну постановку граничних інтегральних задач, бібліотека використовує поняття просторів, подвійних просторів, операторів та функцій сітки. Слабка форма дискретизація робиться автоматично за потреби. Автоматичні проєкції забезпечують відображення між просторами функцій та їх відображеннями, щоб функції в сітках завжди представлені у правильних просторах. Згідно праці [1] основна перевага Bem++ – у використанні об'єднаних інтегральних рівнянь поля, що порівняно з більш простими формулами забезпечує стабільність на резонансних частотах.

Інший підхід використано у програмному пакеті Clawpack, що розроблено для вирішення нелінійних гіперболічних диференціальних рівнянь у часткових похідних із використанням методу кінцевого обсягу високої роздільної здатності, засновані на розв'язках та обмеженнях Рімана. Набір програмних засобів Clawpack призначений для вирішення нелінійних законів збереження, балансу та інших гіперболічних часткових диференціальних рівнянь першого порядку. Основні рішення засновані на алгоритмах поширення хвиль, описаних LeVeque в [2], і розроблені для декартової рівномірної або картографічної сітки або адаптивної ієрархії таких сіток. В одновимірному просторі гіперболічні системи, що вирішено у Clawpack, зазвичай мають форму закону збереження

$$q_t(x, t) + f(q(x, t))_x = 0, \quad (1)$$

та неконсервативної лінійної системи

$$q_t(x, t) + A(X)q(x, t)_x = 0, \quad (2)$$

де індекси позначають часткові похідні, а $q(x, t)$ – вектор з $m \geq 1$ компонентами. Матриця коефіцієнтів A в (2) або якобіанська матриця $f'(q)$ в (1) вважається діагоналізованою з дійсними власними значеннями для всіх відповідних значень q , x і t . Ця умова гарантує, що система гіперболічна з рішеннями, що є хвилеподібними. Власні вектори системи визначають співвідношення між різними компонентами системи або хвилі, а власні значення визначають швидкості, з якими ці хвилі розповсюджуються. Права частина цих рівнянь може бути замінена на "вихідний термін" $\psi(q, x, t)$, що призводить до появи неоднорідне рівняння, яке іноді називають «законом балансу», а не збереження. Функції потоку $f(q, x)$ в (1), що змінюються в просторі, також можна керувати за допомогою f -хвильового підходу.

Field II – це програмне забезпечення, яке може імітувати всі види ультразвукових перетворювачів та пов'язані з ними зображення полів. Програмний продукт Field використовує концепцію просторових імпульсних характеристик, розроблену Tupholme і Stepanishen у серії робіт [3-5]. Підхід спирається на теорію лінійних систем для того щоб знайти поле ультразвуку як для імпульсної, так і для неперервної хвилі. Це робиться через просторову імпульсну характеристику. Це дає можливість визначити випромінюване ультразвукове поле у певній точці простору як функцію часу, коли перетворювач збуджений дельта-функцією Дірака. Поле для будь-якого типу збудження може бути знайдене шляхом згортання просторового імпульсу з функцією збудження. Імпульсна відповідь буде змінюватися залежно від положення щодо перетворювача, звідси і назва просторової імпульсної реакції. Специфіка програми – у можливості моделювання ультразвукових перетворювачів будь-якої форми, що потім моделюються за допомогою розділення на квадратні випромінювачі заданого розміру (рис.1).

Програмний продукт μ -diff – це набір інструментів Matlab з відкритим кодом для вирішення задач багаторазового розв'язування за допомогою кластерів круглих циліндрів. Його застосування розглянуто в праці [6]. Суворе математичне формулювання ґрунтується на формулах інтегральних рівнянь. Метод наближення кінцевої розмірності – це спектральний метод Фур'є в поєднанні з лінійними методами алгебри (прямий гаусовий метод усунення або попередньо обумовлені ітераційні методи підпростору Крилова).

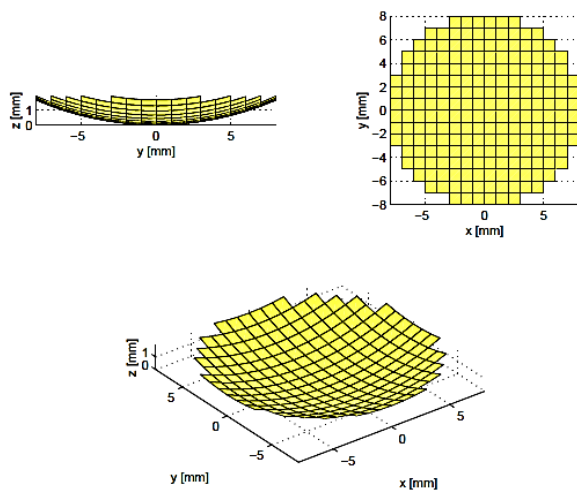


Рис. 1. Увігнутий, круглий перетворювач радіусом 8 мм, розділений на 1×1 мм математичні елементи

Ultrasim є інтерактивним графічним інтерфейсом, що виконує моделювання звукового поля від заданих ультразвукових перетворювачів. Однією з переваг такого підходу є те, що він є простим для користування. Для знаходження параметрів поля використовують інтеграл Релея

$$\phi = \frac{1}{2\pi} \iint \frac{u_n(r_0, t - r/c)}{r} dS, \quad (3)$$

де потенціал швидкості ϕ задається нормальною швидкістю u_n , інтегрованою над активною поверхнею перетворювача. Джерело передбачається площинним, тобто бічні розміри і радіус кривизни є великими порівняно

з довжиною хвилі і таким чином вигнуті перетворювачі, що використовуються в ультразвуковому діапазоні моделюються згідно з цим припущенням.

Існує також можливість впоратися з відхиленням середовища, беручи до уваги різні властивості середовища для кожного шляху від джерела до означеної точки. Інтеграл Релея знаходиться за допомогою дискретизації випромінюючої поверхні, припускаючи, що площинне джерело вібрає в одному режимі (режим товщини), і з урахуванням того, що поверхнева швидкість розділяється на просторову та часову частини

$$u_n(r, t) = O(r) \cdot u(t). \quad (4)$$

Площина спостереження також дискретизована, а інтеграція здійснюється шляхом знаходження відстані а затримка часу квантована від кожної точки джерела до кожної з точок спостереження. Форма хвилі є або безперервною хвилею або імпульсом, що нагадує тиск, вимірний у фокусній точці акустичної осі.

SimSonic – програмний засіб для моделювання розповсюдження ультразвуку на основі розв'язку еластодинамічних рівнянь методом кінцевих різниць в часовій області (FDTD). Розроблення SimSonic було розпочато в 2003 році Еммануелем Боссі. SimSonic використовується здебільшого для досліджень, пов'язаних із поширенням ультразвуку в кістній тканині. Однак, його можна застосовувати у різних ситуаціях, пов'язаних із поширенням ультразвуку у рідинах та/або твердих тілах (біомедична візуалізація, неруйнівне тестування, фотоакустична візуалізація тощо) [7].

FOCUS – це безперервний і перехідний хвильовий ультразвуковий симулятор, призначений для імітації ультразвукових хвиль в різних середовищах. FOCUS використовує два основні методи моделювання: швидкий ближній метод (FNM) та кутовий спектральний підхід (ASA). Для обчислення за допомогою FNM використовуються поля тиску біля грані перетворювача, тоді як підхід кутового спектра використовується для швидкого обчислення тиску на дальній ділянці [8].

DREAM (Discrete Representation Array Modeling) – це панель інструментів з відкритим кодом, що дозволяє аналізувати фокусування променя та апофіза для ширококутового (імпульсного) збудження як у ближньому, так і в далекому полі. Пакет інструментів DREAM використовує числову процедуру, що застосовує обчислювальну концепцію дискретного представлення і базується на загальному підході просторових імпульсних реакцій. Однією з переваг є наявність графічного інтерфейсу, що спрощує керування налаштуваннями [9].

Для моделювання саме високоінтенсивного ультразвуку є ряд програмних оболонок, в основі яких лежить рішення рівняння Хохлова-Заболоцької-Кузнецова. KZK (Khokhlov-Zabolotskaya-Kuznetsov) рівняння – це диференціальне рівняння третього порядку у частинних похідних, що описує розповсюдження звукового пучка в нелінійному середовищі з дисипацією

$$\frac{\partial^2 p}{\partial z \partial \tau} - \frac{c_0}{2} \nabla_{\perp}^2 p - \frac{\delta}{2c_0^3} \frac{\partial^3 p}{\partial \tau^3} = \frac{\beta}{2\rho_0 c_0^3} \frac{\partial^2 p^2}{\partial \tau^2}, \quad (5)$$

де p – тиск, z – основний напрямок поширення звуку, $\tau = t - z/c_0$ – затримка часу, c_0 – мала

сигнальна швидкість звуку, $\nabla_{\perp}^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ – лапласіан, що діє в площині, перпендикулярній

осі z , β – коефіцієнт нелінійності, ρ_0 – щільність, d – дифузивність звуку.

Для моделювання високоінтенсивного ультразвуку також застосовуються такі програми, як KZKTexas та HIFU_Simulator. KZKTexas – це комп'ютерний код, розроблений в Техаському університеті в Остіні для моделювання осесиметричних звукових променів у рідинах. Код ґрунтується на розширеному рівнянні KZK, яке враховує нелінійність, дифракцію, термовіскозну абсорбцію, поглинання та дисперсію через довільну кількість явищ релаксації. Існує дві версії коду, одна для нефокусованих джерел (KZKTexas1) та інша для орієнтованих джерел (KZKTexas2). Третій код (BurgersTX) використовує той же алгоритм, але для одновимірного поширення ультразвуку (без дифракції) в неоднорідній рідині. Код розроблено на основі досліджень, що наведено у праці [10].

HIFU_Simulator передбачає визначення багатьох важливих характеристик пучків безперервної хвилі, високоінтенсивного терапевтичного ультразвуку (HIFU) та їх нагрівальну дію. Це робиться шляхом інтеграції параболічного наближення високого порядку осесиметричного рівняння Вестервельта, відомого також як ширококутне рівняння Хохлова-Заболоцької-Кузнєцова (КЗК), з точки зору частотної області. Це призводить до просторового розподілу тиску кожної гармоніки з урахуванням дифракції пучка, ефектів перешкод, енергетичної частотної залежності ослаблення та відповідної дисперсії швидкостей фази, частки втрат енергії, що перетворюється на тепло, нелінійних ефектів вищого гармонічного генерування / поглинання фронтового фронту, посиленого вироблення тепла завдяки ударним формам хвиль. З цих полів тиску обчислюється середня часова інтенсивність та щільність потужності. Потім щільність потужності використовується як джерело для рівняння передачі біологічного нагріву, яке інтегрується для визначення температурних та теплових полів. Існує можливість імітувати широкий діапазон осесиметричних полів. Можливо вказати стільки шарів тканини, скільки потрібно. Просторове усереднення використовується для імітації наслідків гідрофонних вимірювань поля тиску. Система має досить гнучкий графічний вихід.

HIFU_Simulator створено для модулювання застосування HIFU для неінвазивних методів лікування раку. Пакет складається з двох модулів, які вирішують рівняння KZK (5) та рівняння біопереносу тепла Пеннеса (ВНТ)

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{k}{\rho c_p} \nabla^2 T - \frac{w}{\rho} T + \frac{H}{\rho c_p}, \quad (6)$$

де k – теплопровідність, c_p – питома теплоємність; w – швидкість перфузії крові.

Згідно праці [11] KZK розв'язуються різними числовими схемами, використовуючи оператор розщеплення умови. Лінійний член визначається в частотній області двома методами другого порядку: за допомогою діагональної неявної схеми Рунге-Кутта в області біля поверхні перетворювача, де рішення швидко коливається, і схеми Кранка-Ніколсона за межами цього регіону. Нелінійний термін вирішується у часовій області методом "висхідного / нисхідного". Однак для того, щоб утримувати обчислювальне навантаження на необхідному рівні, нелінійний член не обчислюється, якщо амплітуда рішення незначно мала. З числового рішення для тиску P , швидкість передачі енергії від розповсюджувальної хвилі тиску до середовища H , обчислюється відповідно до відношення $H = \alpha \rho_0^2 P^2 / \rho c_0$, де α – згаданий вище параметр загадання, ρ_0 – тиск, що створюється вихідним перетворювачем, ρ – щільність матеріалу і c_0 – швидкість звуку. H – це джерело нагрівання у ВНТ. Оскільки рівняння KZK засноване на параксіальному наближенні, воно моделює акустичне поле в положеннях, не надто близьких до джерела ультразвуку або занадто далеко від осі. Рівняння ВНТ, вирішується за допомогою неявної схеми Рунге-Кутта другого порядку. Потім обчислена температура T використовується для обчислення розподілу теплового розподілення.

Розглянуті програмні засоби моделюють розповсюдження ультразвукових коливань на основі диференціальних рівнянь в частинних похідних другого та вищих порядків. Це призводить до досить високих запитів до обчислювальної техніки та займає значні проміжки часу. Відмінність k-Wave – це побудова моделі на основі системи диференціальних рівнянь у частинних похідних першого порядку

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= -\frac{1}{\rho_0} \nabla p, \\ \frac{\partial p}{\partial t} &= -\rho_0 \nabla \cdot u - u \cdot \nabla \rho_0, \end{aligned}$$

$$p = c_0^2(\rho + d \cdot \nabla \rho_0 - L\rho),$$

де u – акустична швидкість частинки, d – зміщення акустичної частинки, p – акустичний тиск, ρ – акустична щільність, ρ_0 – навколишня (або рівноважна) щільність, c_0 – ізотропна швидкість звуку. L є лінійним інтегро-диференціальним оператором, що визначає акустичне поглинання та дисперсію [12]

$$L = \tau \frac{\partial}{\partial t} \left(-\nabla^2 \right)^{\frac{y}{2}-1} + \eta \frac{\partial}{\partial t} \left(-\nabla^2 \right)^{\frac{y+1}{2}-1},$$

де τ і η – коефіцієнти пропорційності поглинання та дисперсії

$$\tau = -2\alpha_0 c_0^{y-1}, \quad \eta = 2\alpha_0 c_0^y \tan(\pi y / 2),$$

тут α_0 – префактор закону про потужність в $Np (rad/s)^{-y} m^{-1}$, а y – показник закону потужності.

Розв'язок будується на основі псевдоспектрального методу k -space та методу колокації Фу-р'є і надає змогу будувати точні 3-D моделі за прийнятний час [13-14]. Не зважаючи на те, що початковою метою створення k -wave було моделювання розповсюдження ультразвукових хвиль в живих тканинах, наразі за допомогою цього програмного засобу виконується моделювання і в інших сферах застосування ультразвуку, наприклад, для визначення характеристик рудних матеріалів [15].

Постановка задачі. За допомогою обраного програмного засобу промоделювати процес ультразвукового очищення з метою встановити залежність між ультразвуковими відгуками, що отримують датчики у заданих точках, та перебігом процесу очищення.

Викладення матеріалу та результати. Розглянемо моделювання процесу ультразвукового очищення при наступних початкових умовах: в центрі ємності для очищення знаходиться об'єкт у вигляді астроїдального циліндру із забрудненням на одній із сторін (рис. 2а), датчики знаходяться на кожній з бокових сторін ємності по центру (рис. 2б). Чотири точкових джерела ультразвуку знаходяться на дні ємності на однакових відстанях від центру (рис. 3).

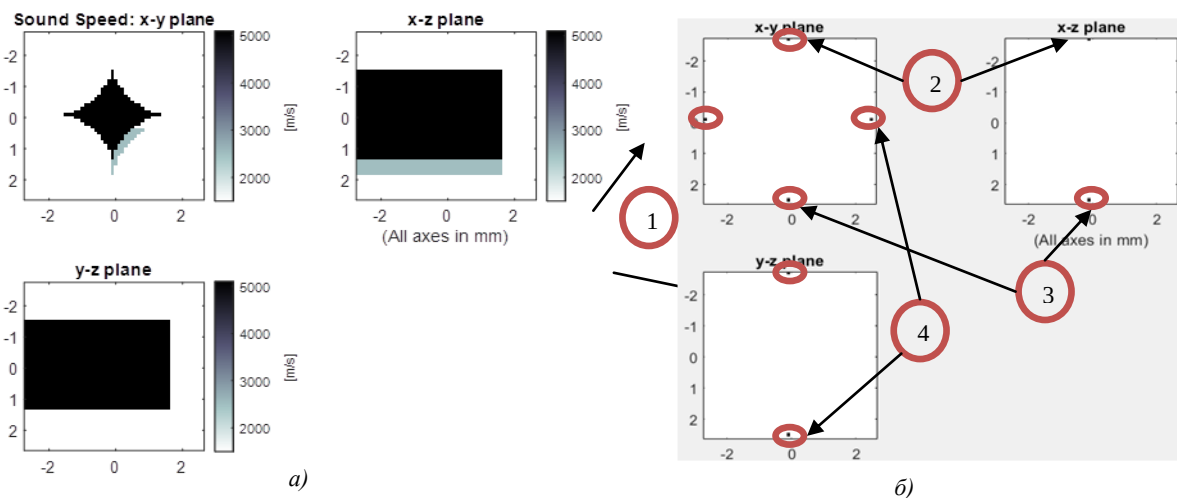


Рис.2. Початкові умови моделювання: а – об'єкт, що очищується зі щільністю $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ та швидкістю УЗ хвиль $c=5170 \text{ м/с}$, забруднення зі щільністю $\rho = 3100 \text{ кг/м}^3$, швидкістю УЗ хвиль $c=2500 \text{ м/с}$ та товщиною 5 мм; б – розташування датчиків

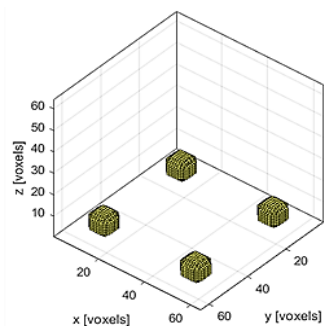


Рис.3. Джерела ультразвукових хвиль

Результати вимірювань датчиків отримані при початкових умовах наведено на рис. 4а. Можна побачити, що найменше відхилення тиску спостерігається на датчику 4, який розташовано безпосередньо навпроти забрудненої сторони. Під час очищення забруднення (тобто зменшення його товщини) значення відхилення тиску 4 датчика зростає (рис. 4б), в той час як значення інших датчиків залишаються постійними. І у випадку очищеного тіла маємо максимальні дані для 4 датчика (рис. 4в) і постійні значення для інших трьох датчиків. Відхилення тиску зростає як в додатному, так і у від'ємному напрямку, що обумовлюється конфігурацією об'єкта. Отже, наявність забруднення найбільше змінює зміни акустичного тиску того датчика, який знаходиться

найближче до нього і найменше впливає на віддалені датчики. Тому є сенс формувати управління процесом ультразвукової очистки цілеспрямовано із врахуванням цього фактору.

Висновки та напрями подальших досліджень. На основі аналізу особливостей існуючих програмних засобів моделювання процесів розповсюдження ультразвукових хвиль, принципів і методів, на яких вони побудовані, виявлено оптимальний варіант для моделювання ультразвукового очищення виробів складної конфігурації за критеріями точності та тривалості цієї процедури. На основі обраного програмного засобу побудовано тривимірну модель процесу очищення та зроблено аналіз результатів вимірювань ультразвукових датчиків. Виявлено, що у процесі очищення найменше відхилення тиску фіксує найближчий до забруднення датчик, результати вимірювань якого збільшуються під час очищення забруднення. Отже, для визначення результатів очищення доцільно формувати цілеспрямований керуючий вплив інтенсивним ультразвуком з урахуванням відносних змін та дисперсії акустичного тиску в обраних точках контролю.

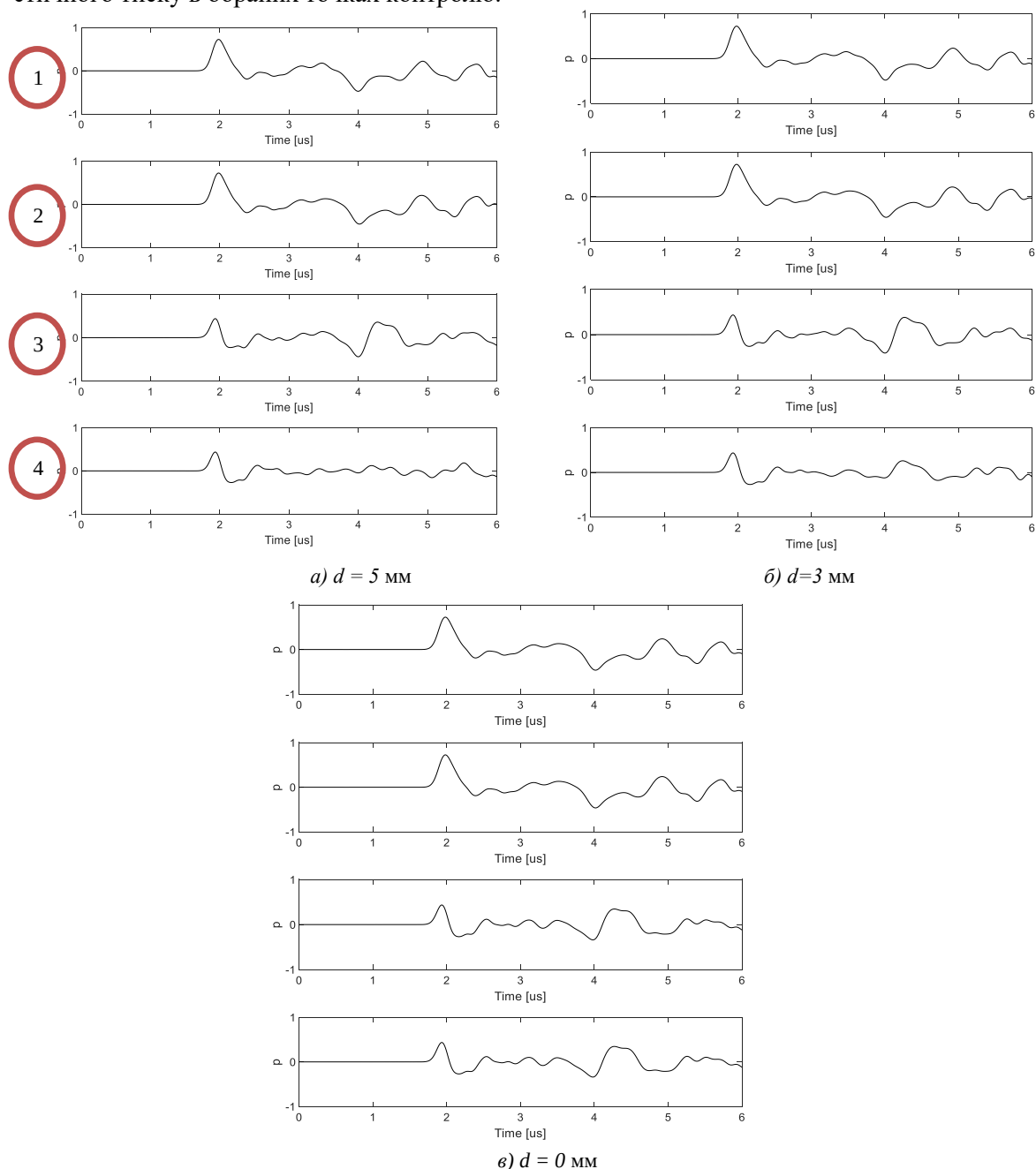


Рис.4. Результати вимірювань акустичного тиску датчиками при моделюванні процесу ультразвукового очищення, d – товщина забруднення

Список літератури

1. Smigaj W., Betscke T., Arridge S., Phillips J., Schweiger M. Solving boundary integral problems with BEM++. ACM Trans. Math. Softw. 2015, Vol. 41, No. 2, Article 6. doi: <http://dx.doi.org/10.1145/2590830>.
2. LeVeque R. J. Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems. Cambridge University Press. 2002, P. 687. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511791253>.
3. Topholme G. E. Generation of acoustic pulses by baffled plane pistons. Mathematika. 1969, Vol. 16, P. 209–224. doi: [10.1112/S0025579300008184](https://doi.org/10.1112/S0025579300008184).
4. Stepanishen P. R. The time-dependent force and radiation impedance on a piston in a rigid infinite planar baffle. J. Acoust. Soc. Am. 1971, Vol. 49, P. 841–849. doi: [10.1121/1.1912424](https://doi.org/10.1121/1.1912424).
5. Stepanishen P. R. Transient radiation from pistons in an infinite planar baffle. J. Acoust. Soc. Am. 1971, Vol. 49, P. 1629–1638. <https://doi.org/10.1121/1.1912541>.
6. Thierry B., Xavier A., Chokri C., Alzubaidi H. Mu-diff: an Open-Source Matlab Toolbox for Computing Multiple Scattering Problems by Disks. Computer Physics Communications. 2015, Vol. 192, P. 348–362. doi: [10.1016/j.cpc.2015.03.013](https://doi.org/10.1016/j.cpc.2015.03.013).
7. <http://www.simsonic.fr>.
8. FOCUS Quick Start Guide. Michigan State University. November, 2013. <https://www.egr.msu.edu/~fultras-web/files/documentation/Field-to-FOCUS.pdf>.
9. Lingvall F. User Manual for the DREAM Toolbox. 2009.
10. Lee Y.-S. Numerical solution of the KZK equation for pulsed finite amplitude sound beams in thermoviscous fluids. The University of Texas at Austin: Ph.D. dissertation, 1993.
11. Pozzi S., Borrazzov C., Carni M., Di Castro E., Valentini S., Caccia B. A computational tool for evaluating HIFU safety. Ann Ist Super Sanità. 2016, Vol. 52, No. 2, P. 256–260. doi: [10.4415/ANN_16_02_18](https://doi.org/10.4415/ANN_16_02_18).
12. Treeby B. E., Cox B. T. k-Wave: MATLAB toolbox for the simulation and reconstruction of photoacoustic wave fields. Journal of Biomedical Optics. 2010, Vol. 15, No. 2. doi: [10.1117/1.3360308](https://doi.org/10.1117/1.3360308).
13. Morkun V. S., Morkun N. V., Pikilnyak A. V. Augmented reality as a tool for visualization of ultrasound propagation in heterogeneous media based on the k-space method. CEUR Workshop Proceedings. 2020, Vol. 2547, P. 81–91.
14. Morkun V., Pikilnyak A. Simulation of high-energy ultrasound propagation in heterogeneous medium using k-space method. Metallurgical and Mining Industry. 2014, Vol. 6, P. 23–27.
15. Morkun V., Morkun N., Pikilnyak A. Iron ore flotation process control and optimization using high-energy ultrasound. Metallurgical and Mining Industry. 2014, Vol. 6(2), P. 36–42.

Рукопис подано до редакції 21.03.2020

UDC 331.101.38:622.012

N.G. KUTOVA^{*}, Candidate of Economic Sciences, Senior Lecturer, A.Y. SHAKHNO, Doctor of Economic Sciences, Assoc. Prof., K.O. DEMIANENKO, student, Kryvyi Rih National University

DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF FACTORS ON THE STATE OF PERSONNEL INCENTIVES OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISES

Purpose. To conduct diagnostics of personnel incentives, by which it is necessary to establish the influence of certain factors on the productivity of personnel at enterprises.

Research methods. The methods of statistical analysis, regression analysis, modelling of economic indicators using MS Excel are used.

Scientific novelty lies in the identification of significant factors for the stimulation of personnel to form an evaluation system improving the economic mechanism of incentives for the personnel at enterprises.

Practical value is that the results of the study revealed the most problematic aspects of the employee incentive system, and suggested a systematic approach to improve the process of forming an economic incentive mechanism for enterprise personnel.

Results. The efficiency of industrial enterprises personnel use was analyzed on the basis of comparing the level of labour productivity and the average monthly salary of the personnel, the indicators of productivity of labour and payment of management and industrial-production personnel were calculated. The study of the dynamics of the basic and additional pay growth rates, incentives and compensation in the payroll of the management staff of enterprises showed that accrued bonuses in the payroll fund have a negative tendency. The interdependence between business performance and personnel incentives has been identified. This analysis has revealed the negative impact of certain factors on labour productivity, the main ones being the imperfection of the current labour legislation, the lack of proper control over its observance, the spread of opacity in labour relations and the reduction of social protection of workers.

Key words: personnel, personnel incentives, diagnostics, personnel use evaluation, labour productivity, payroll, labour incentive issues.

doi: [10.31721/2306-5451-2020-1-50-68-73](https://doi.org/10.31721/2306-5451-2020-1-50-68-73)

Problem Setting. In the period of permanent changes in economic conditions, special attention is paid to the use of human factors, to the improving of the quality and creative impact of intellectual, human resources, to the improving of the training and use of enterprise staff. The investing to the human resources and enhancing the efficiency of their use are becoming a long-term factor for competitiveness and survival of enterprises. The problem of research is relevant because the decisive factor in the effectiveness of the national economy of any country is the productive forces, the main component of which are people, their skill, education, training as well as motivation. The efficiency of the economic mechanism, the image of the enterprise, its financial stability and success depend on the enterprise providing with qualified personnel, their rational use.

Analysis of Research and Publications. The research of the personnel use efficiency is reflected in the works of both domestic and foreign scientists. A decisive influence on the efficiency of work and the efficiency of the enterprise as a whole has a level of understanding by managers of the importance of enterprise personnel in its development. In modern conditions of management, it is necessary to analyze in more details the use of personnel, their stimulation and motivation to active labour activity, which are able to stabilize the state of activity of enterprises. Competition in the global markets is intensifying and the requirements for the quality of manufactured products are increasing, which is why the enterprises supply personnel is of particular importance [1].

Research Objective and Tasks. The research objective is conducting of personnel incentives diagnostics, by which it is necessary to establish the influence of certain factors on the performance of enterprises personnel and to develop proposals for the creation of a system of evaluating its incentives on the basis of a conceptual model.

Material presentation. The assessment of the rational use of staff should be based on the following [2]: identifying the causes of incomplete or ineffective use of employees working hours (the total amount of direct and hidden losses of working time); deviations of the actual total working time fund from the potential value of the nominal working time, justification of the time losses reasons grouping due to its irrational use; assessing of working time savings reserves and developing the measures to optimize staff performance.

The analysis of personnel support of the enterprises activity should be carried out according to the principles and goals of the personnel policy of the enterprise [3]. The research monitored the personnel incentives, the performance of the enterprise and the assessment of the impact of external and internal factors on the performance.

The analysis of the enterprises' activity was carried out taking into account various factors. In addition to determining absolute and relative dynamics over time, productivity and average pay rates per employee were used to measure the enterprise performance, taking into account both pay and material incentive costs.

The analysis of the average monthly pay for the years 2013-2018 at the enterprises gives grounds to claim that its highest level was at PJSC «Krivoj Rog's Iron-Ore Combine» or PJSC «KZRK» (in 2018 compared to 2013, it increased by 103.92%), for PJSC «Kryvyi Rih Mining Equipment Plant» or PJSC «KZGO» - 3.34 times smaller than at PJSC «Krivoj Rog's Iron-Ore Combine» (Fig. 1).

Wage is no less important indicator and is defined as the sum of labour costs, which is included to the sum of costs for production (sale) of a production unit (Fig. 2). According to the analysis of wage, we can conclude that salary at enterprises provide not only a stimulating function, but also a reproductive function. The lowest level is at PJSC "MRZ", but there is some positive dynamics at this enterprise - from 0.07 UAH in 2013, to 0.09 UAH in 2018, and at PJSC «KZGO» - from 0.12 UAH in 2016 to 0.14 in 2018.

Estimation of the average monthly salary and labour productivity of personnel is an important stage in the analysis of the efficiency of enterprises personnel use, therefore, on the basis of these enterprises, the indicators of labour productivity and salary of management and industrial production personnel were calculated. Thus, the labour productivity increased during the analyzed period due to an increase in manufactured goods at the researched enterprises. However, in 2017, compared to 2013, at PJSC «KZGO», the following indicator decreased: labour productivity of management and industrial production personnel.

Also, the efficiency of the personnel of enterprises is characterized by the growth rate of labour productivity and the average monthly salary. It is known that there are prerequisites for the level of

salary raising with the growth of labour productivity, and the growth of labour productivity should outstrip the growth of salary [4].

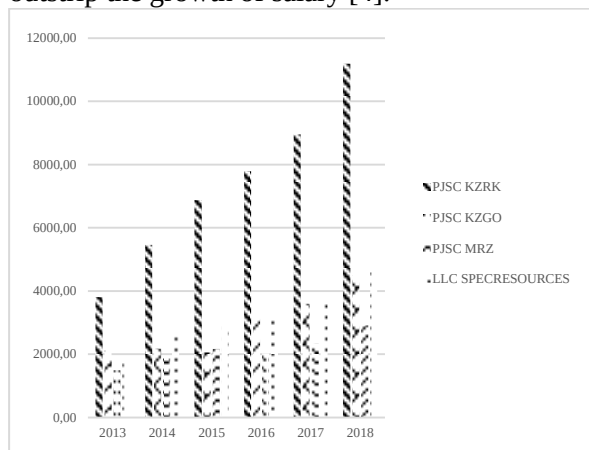


Fig. 1. Dynamics of the average monthly salary of one employee at enterprise

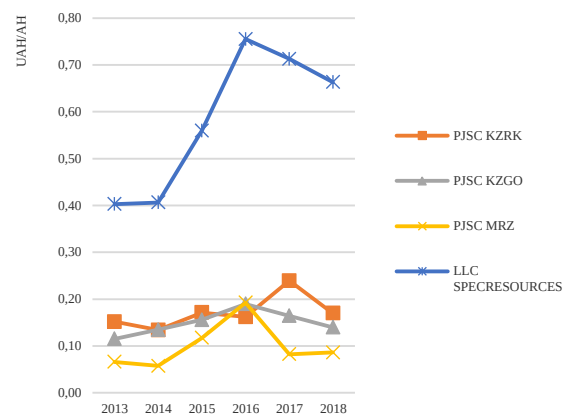


Fig. 2. Dynamics of enterprises production wage

Source: Formed by the author on the basis of Form No. 1 – “Labour Report”

Fig. 3 presents the estimated growth rates of labour productivity and total salary of personnel at enterprises. Therefore, according to Fig. 3 there is a direct link between labour productivity and salary, depending on how the average annual productivity of the employee increases, and the total salary of all the personnel of enterprises. The exception is the enterprise of PJSC «KZGO». Therefore, labour productivity during 2013-2018 increased due to an increase in the volume of manufactured products at the enterprise of PJSC «KZRK».

When analyzing the efficiency of personnel use the working time losses are studied, and the results of the calculations indicate that the largest losses of working time occurred at the enterprise of PJSC «KZGO» - at the rates in 2017, compared to 2013, (increased by 124.6%) due to forced vacations caused by the downturn and the financial crisis. PJSC «KZRK» reduced its working time loss by 31.3% in the corresponding period due to organizational measures for the increase of discipline level. The age of employees has a significant impact on the efficiency of working time and productivity of the personnel of enterprises. Thus, at all enterprises the largest share belongs to employees aged 35-49 - a zone of sustainable working capacity, which characterizes stable productivity. The rate of change in the age structure of employees at enterprises in 2018-2013 is presented in Fig. 4.

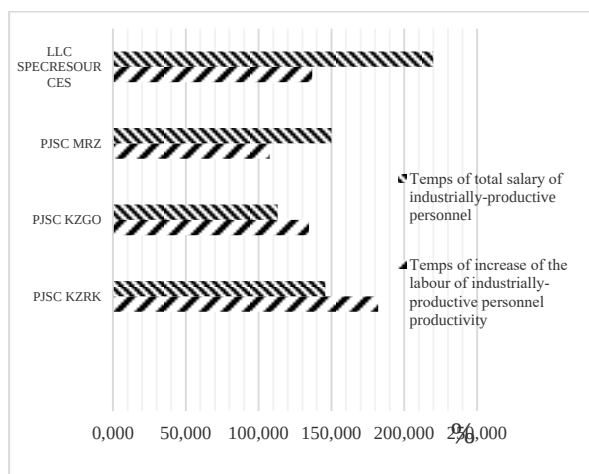


Fig. 3. Growth rates of labour productivity and total salary of personnel at enterprises in 2018/2013, %

Source: Formed by the author on the basis of Form No. 1 – “Labour Report”

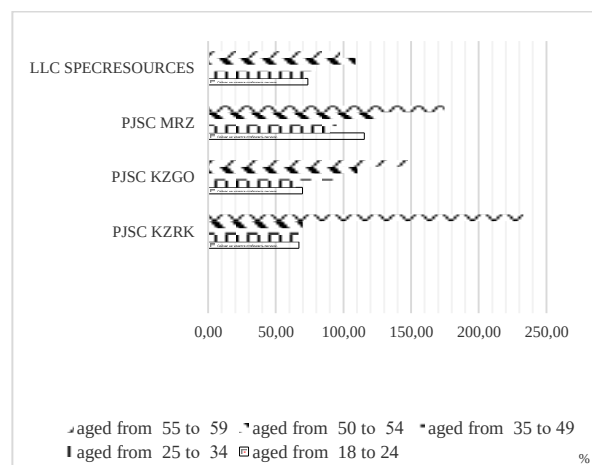


Fig. 4. Rates of change in the age structure of employees at enterprises 2018/2013, %

Source: author's calculations

For PJSC «KZRK» in 2018 compared to 2013 “aged from 50 to 54” the growth rate of employees is almost 2.46 times, while for PJSC «KZGO» “aged from 55 to 59” is almost 1,56 times. Whereas

the industrial-production personnel of the age group 25 to 34 are decreasing rapidly in each enterprise: the growth rate of 2018/2013 for PJSC «KZRK» is 70.314%, «KZGO» - 67.776%, which indicates ineffective personnel policy that does not provide an influx of young professionals.

Thus, the analysis of employees' age structure shows that, unfortunately, existing personnel incentive measures do not assist fixing of perspective young people in the company.

It should be noted that the efficiency of personnel use depends not only on the correspondence between the professions and the nature of the work performed, but also the appropriate qualifications, so it is advisable to analyse the structure of employees by educational level and work experience, as the necessary production skills and experience are acquired with increasing work experience [5]. We will analyse the structure of employees by the level of education at «KZRK». Groups by level of education were formed in accordance with the latest version of the Law of Ukraine "On Education" (Fig. 5).

PJSC «KZRK» has a positive tendency of increasing the number of employees with the master's degree - in 2018 compared to 2013 the share of this category of employees increased 118.77%, accordingly there was a decrease of employees with secondary education.

The indicator of personnel turnover is important among the qualitative characteristics studied in the analysis of the personnel of enterprises. Every business should keep this figure to a minimum as it helps to increase productivity. Also, the stability of an enterprise's activity is influenced by the average length of service of an employee - his / her life cycle stage in an individual enterprise (Fig. 6). In 2017, compared to 2013, the share of PJSC «KZRK» increased by 113,367% in the category of employees "8 <experience <15 years", in the second place - by 107,968%. This indicates the effectiveness of incentive measures.

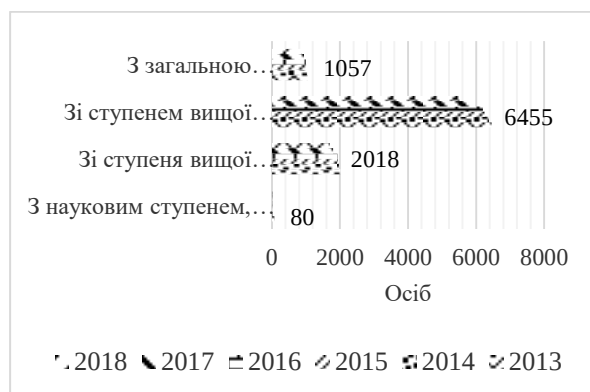


Fig. 5. Dynamics of changes in the structure of employees by educational level at PJSC «Kryvyi Rih Iron and Steel Works»

Source: author's calculations

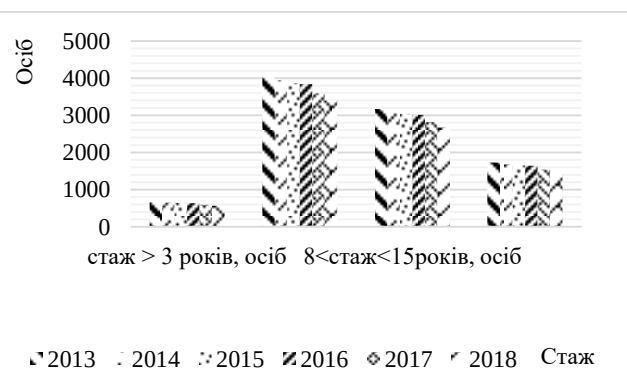


Fig. 6. Dynamics of average length of service in the enterprise on the example of PJSC «Kryvyi Rih Iron and Steel Works»

Source: author's calculations

Analysis of the structure and dynamics of changes in the salary of management and industrial-production personnel of enterprises shows that the structure of the share of basic salary at the researched enterprises ranges from 60.49% to 75.9%. Thus, the lowest value of this indicator is at PJSC «KZGO» (60.49%), and the highest - at PJSC «KZRK» (75.9%). The share of additional payment for the 2013-2018 period ranges from 20.24% to 38.25%. Its highest level in the payroll fund is observed at PJSC «KZGO» - 38,25%. Bonuses in the supplementary payment fund range from 3.73% (PJSC «KZGO») to 25.01% (PJSC «KZGO»), supplements to 8.53% (PJSC «KZRK»). The share of bonuses in the payroll of enterprises ranges from 6.83% (PJSC «KZGO») to 11.59% (PJSC «KZRK»), other payments - from 0.41% (PJSC «KZRK»). With the help of bonuses, allowances and other payments, the company can motivate the staff to perform highly productive. The main thing is to justify the factors and define the motivation criteria, as well as to establish the relationship between the indicators that reflect the performance and motivation. Dynamics of changes in the growth rate of the share of bonuses, allowances and surcharges in the total pay bill of the personnel of enterprises shows that the highest growth rates at PJSC «KZGO» in 2018 of the share of bonuses by - 1,61%, surcharges - 25,58%, allowances - 51,69%.

The impact of material incentives can be estimated by means of regression analysis, determining the relationship between output and staff incentives [6], in particular the components of the additional pay bill (bonuses (X1), surcharges (X2) and allowances (X3) on the output (Y). Calculations made

with the help of MS Excel, obtained models of influence on the volume of manufactured products for all five enterprises are presented in Table 1.

Therefore, all constructed regression models are significant because the coefficient of determination is in the range from 0.638 to 0.815. According to the results of the research, it can be concluded that the existing system of material incentives for personnel at the researched enterprises is not effective. Thus, the impact of the factor x_1 «Bonus» is positive only for PJSC «MRZ»: an increase in the amount of personnel bonuses by one hryvnia will increase the volume of manufactured products up to 246.22. The influence of the factor "Surcharges" has a positive value of PJSC «KZGO» and LLC "SPECRESOURCES": respectively, the value of the regression coefficient b_2 states 146,029 and 6,591. The impact of the x_3 factor is positive only for PJSC «KZRK» - the regression coefficient b_3 is equal to 75.26.

Table 1

Regression models of the impact of material incentives on the volume of manufactured products

Enterprise name	Multiple regression equation	Multiple correlation coefficient	Multiple coefficient of determination	Normalized correlation coefficient
PJSC «KZRK»	$Y = -1181123 - 11,0X_1 - 37,54X_2 + 75,26X_3$	0,871	0,759	0,397
PJSC KZGO	$Y = 556578,2 - 82,326X_1 + 146,029X_2 - 5,68X_3$	0,903	0,815	0,538
PJSC «MRZ»	$Y = 12034,72 + 246,223X_1 - 330,13X_2 - 24,071X_3$	0,799	0,638	0,095
LLC "SPECRESOURCES"	$Y = 5778,116 - 1,609X_1 + 6,591X_2 - 2,9161X_3$	0,891	0,796	0,445

Source: author's calculations

The main problems of personnel incentives are formed on the basis of researches of activity of managerial and industrial-production personnel [7-9]: absence of an effective mechanism of stimulation of personnel, especially young people; inconsistency of the current mechanism of personnel incentives to European practices; ineffective application of scientific approaches to human resources management, especially of young specialists and skilled personnel; poorly developed social infrastructure; sub-optimal structure of the social package (problems with housing, lack of non-state pension insurance); dissatisfaction with the primary social needs of employees (transport, clothing, etc.); inconsistency of the safety system, unsatisfactory level of responsibility of the personnel for performance of work; the level of payment that does not meet the expectations of employees and the level of inflation, low investment in personnel development; negative dynamics of growth of satisfaction of needs of personnel, consumers; deterioration of business reputation of enterprise (decrease in market share, loss of trust of business partners); the imperfection of the incentive system. [10]

Conclusions and Further Research. As a result of the study of industrial enterprises, it was found that the formation of the mechanism of personnel incentives is adversely affected by a number of factors as following: the imperfection of the current labor legislation, the lack of proper control over its observance of the transparency of labor relations, and the reduction of social protection of employees. While improving the economic mechanism of staff incentives, the main prerequisite is the development of a system for evaluating its incentives based on a conceptual model. The results of the research allowed us to identify the most problematic aspects of the personnel incentive system, to offer a systematic approach to improve the processes of forming an economic mechanism for personnel incentives of enterprises, taking into account the integral indicator of the evaluation of motivational processes.

References

1. **Kutova N.** Analysis of the influence of labour and investment factors on production volumes: international scientific-practice. Conf. Sustainable Development of Mining and Metallurgical Industry, May 25-28, 2011, Ukraine., Kryvyi Rih: Kryvyi Rih. Univ, 2011. P. 44-45.
2. **Kutova N.** Methodological bases and advantages of material incentives for personnel: materials of international. Research Practice Conf. "Actual problems of economic development in the context of global challenges", September 19-23, 2013, Odessa, Ukraine: Odesa Nat. econom. Universities [and others] - Odessa: Atlant, 2013. - P. 58-61.
3. **Kutova N.** Comparative Analysis of Enterprise Personnel Incentive Systems: Materials I Intern. Research Practice internet conf. Strategic-Innovative Development of Economic System Entities in the Globalization Conditions, 16-18 November 2016, Kremenchuk, Ukraine: Kremenchuk National University after M. Ostrogradsky [and others] - Kremenchuk, 2016. 298 p. P. 31-33.
4. **Kutova N.** Research of factors of influence on procedures of stimulation of work at the enterprises: materials «Current status and problems of development of statistics, accounting and audit in the conditions of globalization and energy

saving»: Proceedings of the 5th International scientific-practical conference (Dnipro, April 4-5, 2017). In 2 volumes. - Dnipro: DNU O. Potter, 2017. Tom. 1, P. 127-130.

5. Business Description [Electronic resource]. - URL: <https://www.stockworld.com.ua/en/analytics/emitent/template/49004/156>

6. **Yeliseyeva O.** Statistical analysis and modelling of socio-economic processes. Dnepropetrovsk: "Science and education" 2012. 216 p.

7. **Eckerson U.** Indicator panels as a management tool: key performance indicators, activity monitoring, performance evaluation. M.: Alpina Business Bucks, 2007. 400 p.

8. **O. Akimova, A. Baldak, P. Vavulin, S.V. Voitko, OA Havrysh** [and others] Sustainable development analysis - global and regional contexts: Monograph. Int. the Science Council (ICSU), etc.; of scientist M. Zgurovsky. - K.: NTUU "KPI", 2014. Part 2. Ukraine in sustainable development indicators (2013). 172 p.

9. **Grishnova O.** Personnel assessment: current approaches to ensuring efficiency. Human Resource Management: Problems, Theories and Practices. 2010. № 7. P. 42-50.

10. **Oksana Jelisejevá, Natalie Kutová** Teoretické a metodologické aspekty řízení zaměstnanci průmyslových závodů. Praha: OKTAN PRINT s.r.o., 2019. 212 p.

The editorial board received a manuscript on 24.03.2020

УДК 622.684

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

В.С. ГІРІН, д-р техн. наук, проф.,

Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ЗАХОДІВ, СПРЯМОВАНИХ НА ЗНИЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ВИКИДІВ ПРОМИСЛОВОГО АВТОТРАНСПОРТУ

Мета. Основною метою роботи є кількісна оцінка забруднення атмосфери викидами автотранспорту підприємств в умовах Кривбасу і розробка аналітичної методики комплексного підвищення екологічної безпеки шляхом зниження рівня шкідливих викидів від промислової автотехніки в навколишнє середовище.

Методи дослідження. В роботі використовувалися як теоретичні (математичне моделювання, використання теорії планування експерименту), так і експериментальні методи дослідження. Також застосовується ряд приватних методів: аксіоматичний і гіпотетичний методи, аналіз та синтез, метод інтерпретації. Вихідні дані були отримані шляхом обстеження міських транспортних магістралей і аналізу автотранспортних потоків гірничодобувних підприємств м.Кривого Рогу.

Наукова новизна. В роботі отримані наступні наукові результати:

розроблено метод прогнозу забруднення повітря автотранспортом для окремих ділянок автодоріг;

розроблені статистичні схеми прогнозу шкідливих викидів автотранспорту за матеріалами спостережень у Кривбасі;

розроблені методичні підходи прогнозування забруднення повітря автотранспортом на перспективу з урахуванням запланованих заходів щодо зниження промислового транспортного навантаження на атмосферне повітря;

розроблена методика обстеження складу і інтенсивності викидів потоку промислового автотранспорту.

Практична значимість роботи. Розроблені модель, методика і програма розрахунку показників режиму руху і питомої витрати палива на 1т км виконаної транспортної роботи дозволяють для конкретних умов експлуатації обґрунтовано визначити оптимальний режим руху транспортних засобів, який поряд з максимальною умовною питомою продуктивністю забезпечуватимуть зниження концентрації шкідливих викидів рухомого складу під час експлуатації.

Результати. Розроблено методику щодо ефективної експлуатації промислового автотранспорту, яка дозволяє істотно підвищити екологічний ККД рухомого складу. Запропоновано рекомендації щодо зниження автотранспортного забруднення повітряного середовища міста, які ґрунтуються на організаційних, технологічних і конструктивних рішеннях. На підставі проведених розрахунків полів концентрацій шкідливих викидів розроблений комплекс заходів щодо зниження рівня забруднення від промислового автотранспорту, який може бути використаний в виробничих програмах,

Ключові слова: промисловий автотранспорт, експлуатаційні властивості, електромагнітний паливний фільтр.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-73-78

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Однією з гострих екологічних проблем теперішнього часу є забруднення атмосферного повітря. У великих містах до числа основних джерел забруднення атмосферного повітря належить автотранспорт, парк якого в теперішній час налічує понад мільярд одиниць в світі. Гази, що відходять з двигунів, містять складну суміш з більш двохсот компонентів, серед яких чимало канцерогенів. Автотранспорт є,

крім того, одним з основних споживачів нафтопродуктів і, як наслідок, емітерів CO_2 . В сучасних умовах зростаючої обмеженості природних ресурсів і асиміляційного потенціалу навколишнього середовища необхідна розробка і реалізація механізмів оптимального використання цих ресурсів, пошук шляхів сталого екологічно збалансованого економічного розвитку суспільства. Двигуни внутрішнього згоряння впливають на навколишнє середовище багатогранно і ступінь цього впливу багато в чому пов'язана з особливостями їх конструкції, видами палива, яке застосовується, регулювань, режимів експлуатації, кліматичних і географічних умов і так далі. До 40% токсичних речовин, що викидаються в атмосферу всіма джерелами, надходить з труб двигунів внутрішнього згоряння, в тому числі: до 34% - від загальних викидів окису вуглецю, до 64% - окислів азоту та до 30% - твердих частинок, включаючи сажу. В даний час на автомобільному транспорті ведуться роботи з вишукування найбільш раціональних шляхів зниження рівня шкідливих викидів, які б при цьому не знижували ефективність використання рухомого складу, в першу чергу таких, які дозволили б забезпечити раціональне використання ресурсу АТЗ.

Аналіз досліджень і публікацій. Аналіз відомих наукових досліджень в області підвищення паливної економічності промислового автотранспорту показав, що в даний час сформована певна теоретична і експериментальна база. Дослідженням у цій галузі присвячені роботи Н.Б. Островського, М.Л. Минкина, Н.В. Семенова, Г.С. Лосавіо, А.Н. Островцева, Д.П. Великанова, Е.А. Чудакова, З.І. Лейбзона, І.Ж. Шартуні, А.М. Шейніна, Г.В. Крамаренко, М.І. Лурье, А.М. Бородича, Н.Я. Говорущенко, Л.Г. Резника, В.І. Ерохова, Н.А. Кузьмина, В.Н. Карнаухова, Л.І. Виленського, Д.А. Захарова, Н.І. Веревкіна, В.Н. Іванова, І.І. Курбановича, А.А. Токарева, Г.М. Ромалиса, І.М. Головіних, М.С. Висоцького, А. І. Коваля, А.Е. Симеонова, В.А. Зеєра, А.В. Хоміча, В.Ю. Гітиса.

Природоохоронні заходи при експлуатації автотранспорту вивчені в працях Башкатової С.Т., Билібіна Н.Ф., Гурєєва А.А., Гусарова А.П., Данилова А.М., Євгенєва Г.І., Ємельянова В.Е., Єрохова В.І., Капустина В.М., Кац Г.Б., Лосікова Б.В., Луканина В.Н., Магарил Е.Р., Митусової Т.Н., Невелєва А.А., Павлової Е.І., Резника Л.Г., Трофименко Ю.В., Фукса І.Г., Школьникової В.М., Юсуфович Б.Е. Проаналізовані роботи мають велике теоретичне значення, однак при всій увазі до проблеми значущості скорочення концентрації парникових газів в атмосфері, повноті вирішення методологічних і практичних питань формування та практичної реалізації економічного механізму зниження викидів CO_2 , питання вдосконалення інструментарію підвищення екологічної безпеки технологічного автотранспорту залишається розкритим не повною мірою. Актуальність і недостатня розробленість цієї проблеми послужили підставою для вибору мети дослідження.

Постановка завдання. Для реалізації мети в роботі були поставлені наступні завдання:

- провести аналіз факторів, що найбільш впливають на кількість виділених токсичних речовин у відпрацьованих газах промислового автотранспорту;
- провести інформаційні дослідження способів зниження викидів забруднюючих речовин в навколишнє середовище, що утворюються при роботі двигунів промислового автотранспорту;
- систематизувати технічні і конструктивні заходи щодо скорочення шкідливих викидів автотранспортом;
- знайти можливі шляхи зниження витрати палива двигунами машин, які обслуговують виробничі процеси;
- обґрунтувати механізм і запропонувати конструктивні методи шляхів скорочення токсичних викидів виробничими автомобілями;
- здійснити математичне планування багатфакторного експерименту для перевірки працездатності і ефективності електромагнітного паливного фільтру і розробити алгоритм по його адаптації до конкретних виробничих умов.

Викладення матеріалу та результати. Ефективна експлуатація промислового автотранспорту Кривбасу в нових економічних умовах можлива з урахуванням нових критеріїв і підходів до вирішення цієї проблеми. В якості комплексного критерію пропонується цільова функція по оптимізації річного виробітку автотранспорту, енергетичного ККД і екологічного ККД.

Річне виробництво автотранспорту, відповідно до формули Лейдермана, визначається як добуток змінного виробітку одного автомобіля на число автомобіле-змін роботи за календарний період. З урахуванням виконаного факторного дослідження встановлено, що на річний виробіток найбільш впливають швидкісний режим руху автомобіля, коефіцієнт використання

змінного часу і коефіцієнт використання календарного фонду часу. Таким чином, мінімізація всіх простоїв автотранспорту та особливо простоїв через відмови і відновлення цих відмов, є обов'язковою умовою досягнення цільової функції.

Під енергетичним ККД автотранспорту пропонується використовувати питому витрату палива на 1 т км виконаної транспортної роботи. Підставою для цього є виконані економіко-математичні дослідження, в результаті яких встановлено, що більше 50% експлуатаційних витрат в собівартості перевезень припадає на автомобільне паливо. У зв'язку з цим зменшення питомої витрати палива автомобілів також є обов'язковою умовою підвищення ефективності експлуатації промислового автотранспорту.

Під екологічним ККД автотранспорту пропонується використовувати загальну кількість виділених токсичних речовин у відпрацьованих газах від потоку автотранспорту [21, 22]

$$Q = \sum g_i N_i k_i \quad (1)$$

де g_i - викиди окису вуглецю (CO) по масі на одиницю довжини шляху від одного автомобіля i -ої групи, г/км; N_i - фактична інтенсивність руху автомобілів i -ої групи, автомобілів в секунду; k_i - коефіцієнт, що характеризує підвищення токсичності вихлопних газів автомобіля в залежності від режиму роботи двигуна, дорівнює 1,2-1,5; n - число типових груп автомобілів в потоці.

В результаті виконаних досліджень визначено інтенсивність і склад транспортного потоку на міських автодорогах і в зонах промислових об'єктів. Визначена також питома витрата палива і викиди окису вуглецю по масі на одиницю довжини шляху по міських автодорогах в залежності від середньої швидкості руху. Розроблена математична модель також враховує вплив дорожніх умов, число смуг руху, вплив складу транспортного потоку на середню швидкість руху і концентрацію окису вуглецю в придорожній зоні в залежності від її віддаленості від проїжджої частини автодороги. Крім того, модель враховує характеристику житлової забудови вздовж автодороги, характеристику вітрового потоку і ступінь продувності проїжджої частини автодороги. Для порівняння в математичну модель були введені гранично допустима концентрація окису вуглецю в повітрі: середньодобова - 3,0 мг/м³ і максимальна разова - 5,0 мг / м³. Дослідження проводилися на ділянці автодороги пл. Визволення - пл. Горького, яка має максимальну інтенсивність руху автотранспорту та довжина якої становить 4км. Для цього району міста характерні метеоумови: вітер північно-східний, швидкість вітру 10 м/с. Визначення концентрації окису вуглецю проводилися в повітрі придорожньої зони на відстані 15 м від краю проїжджої частини і на лінії житлової забудови в 22 м від краю проїжджої частини автодороги.

В результаті проведених досліджень встановлено, що при середній інтенсивності руху автотранспорту концентрація окису вуглецю перевищує максимально-разову в 2,1 рази, а середньодобову - в 3,6 рази. При максимальній інтенсивності руху автотранспорту концентрація окису вуглецю перевищує в 2,7 рази максимально-разову і в 4,6 рази - середньодобову. Максимальна концентрація окису вуглецю зафіксована в години «пік» на відстані 2 - 4 м від краю проїжджої частини автодороги. І тільки при видаленні від краю проїжджої частини автодороги на відстань 40-120м концентрація окису вуглецю не перевищувала норми гранично допустимої.

Зменшення швидкості вітру з 10 до 1 м/с прямо пропорційно збільшує концентрацію окису вуглецю в повітрі придорожньої зони. Напрямок вітру також впливає на концентрацію окису вуглецю. Найвища концентрація окису вуглецю зафіксована при направленні вітру перпендикулярно до поздовжньої осі автодороги.

Таким чином, виконані дослідження підтверджують, що мінімізація кількості токсичних речовин, що виділяються з відпрацьованими газами, також є обов'язковою умовою підвищення ефективності експлуатації автотранспорту.

Розробка наукових напрямків щодо підвищення ефективної експлуатації промислового автотранспорту виконувалася при проведенні комплексних наукових досліджень на ПрАТ «Північний ГЗК». Проведеними дослідженнями встановлено, що одним з найважливіших напрямків ефективної експлуатації промислового автотранспорту є застосування високоякісних сортів паливно-мастильних матеріалів з поліпшеними експлуатаційними властивостями. Саме експлуатаційні властивості дизельного палива і олів вирішальним чином впливають на питому витрату палива, на кількість виділених токсичних речовин у відпрацьованих газах і на термін служби паливної апаратури дизельних двигунів і автомобілів в цілому. Від цього залежить економічність застосування технологічного автотранспорту в складних гірничотехнічних умовах кар'єрів Кривбасу.

В цьому сенсі найефективнішим науково-виробничим напрямком поліпшення експлуатаційних властивостей паливно-мастильних матеріалів є метод електрофізичного впливу [23, 24], на основі якого розроблений високоефективний електромагнітний паливний фільтр принципово нової конструкції і принципу дії. При використанні розробленого паливного фільтра підвищення паливної економічності обумовлено тим, що на дизельне паливо, що протікає в постійному магнітному полі з певною орієнтацією, впливають високочастотним електромагнітним полем. В результаті такого впливу відбувається зміна енергетичного стану молекул вуглеводневого палива. Підвищення енергетичного стану молекул дизельного палива обумовлює збільшення швидкості реакції окислення в основній фазі згоряння, що в свою чергу сприяє більш повному згорянню палива і підвищенню потужності дизельного двигуна, яке в кінцевому підсумку призводить до зниження питомої витрати палива автомобілем і зменшення токсичності відпрацьованих газів.

Для перевірки працездатності та ефективності електромагнітного паливного фільтра були розроблені програма і методика стендових і експлуатаційних випробувань нових фільтрів на автомобілях КамАЗ-5320, БелАЗ-7519 і автобусі Ікарус-260.

Методика проведення експлуатаційних випробувань передбачає наступне:

дизельний двигун автомобіля, призначеного для випробувань, повинен перебувати в повній справності і проходити випробування згідно до комплектності, встановленої відповідними стандартами і нормативно-технічними умовами і при дотриманні вимог, встановлених ДЕСТ 14846-81. Паливна апаратура повинна бути відрегульована на нормативну величину подачі. Паливні штатні фільтри повинні бути промиті і очищені. З цією метою двигун і всі його системи, а також автомобіль в цілому повинні піддатися перед випробуванням регламентним роботам ТО-2;

випробування проводяться на дизельному паливі марки Л по ДЕСТ 305-82 щільністю при 200С 820-830 кг/м³;

порівняльні експлуатаційні випробування електромагнітного паливного фільтра проводяться на всіх режимах зовнішньої швидкісної характеристики двигуна по ДЕСТ 14846-81 і на режимах холостого ходу в умовах звичайної експлуатації автомобіля;

підготовлений до випробувань автомобіль без електромагнітного фільтра протягом 10 днів експлуатується на одному і тому ж маршруті з метою визначення норми витрат дизельного палива на 1 т км роботи за кожну відпрацьовану зміну;

протягом 10 днів випробувань на початку і кінці роботи за допомогою газоаналізаторів проводиться вимірювання концентрації токсичних компонентів у відпрацьованих газах двигуна відповідно до ДЕСТ 17.2.2.01-84 та ДЕСТ 17.2.2.05-86;

на автомобілі, призначеному для випробувань, повинен бути справний і опломбований спідометр. Показання лічильника пройденої відстані знімаються на початку роботи, при кожній заправці паливом і в кінці роботи;

після закінчення першого нормативного етапу випробувань проводиться установка і підключення до паливної системи двигуна електромагнітного паливного фільтра. Після установки і настройки електромагнітного паливного фільтра перевіряють герметичність паливних трубопроводів, справність усіх систем двигуна і готовність всього автомобіля до проведення другого етапу випробувань;

тривалість і умови випробування на другому етапі аналогічні, як і при першому етапі з дотриманням вимог зазначених ДЕСТів.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Проведені численні дослідження роботи автомобілів з електромагнітними паливними фільтрами показали наступні результати:

ступінь очищення від смолистих речовин і різних феромагнітних частинок і продуктів зносу склала 99,5%;

економія палива склала 5-8%;

зниження концентрації токсичних компонентів у відпрацьованих газах склало 6-10%;

терміну служби паливної апаратури збільшився в 2-3 рази.

Реалізація розробок проведених комплексних досліджень на промислових підприємствах Кривбасу дозволяє істотно підвищити енергетичний ККД, екологічний ККД і, в кінцевому підсумку, збільшити річний виробіток автотранспорту.

Список літератури

1. Карнаухов В.Н. Определение коэффициента наполнения в ДВС / В.Н. Карнаухов, И.В. Карнаухова // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Международной научно-технической конференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – С. 72–75.
2. Генсон Е.М. Методика оперативного корректирования норм расхода топлива в технологическом режиме эксплуатации / Е.М. Генсон, Н.В. Лобов, Д.В. Мальцев // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Междунар.науч.-техн. конф., 20апреля 2017г., г. Тюмень. –Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2017. –с. 283-288
3. Захаров Д.А. Расчет топливной экономичности автомобилей при низких температурах / Д.А. Захаров, И.В. Карнаухова, В.Н. Карнаухов // Транспорт Урала. – 2014. – No 4 (43). – С. 93–95.
4. Карнаухов В.Н. Топливная экономичность двигателей внутреннего сгорания / В.Н. Карнаухов, И.В. Карнаухова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – No 6 (89). – С. 142–147.
5. Карнаухова И.В. Влияние коэффициента наполнения на расход топлива ДВС в зависимости от температуры и давления воздуха на входе в дизельных двигателях / И.В. Карнаухова, В.Н. Карнаухов, Д.А.Захаров // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. – 2016. – No1. – С. 66–70.
6. Григорьев, М.А. Современные автомобильные двигатели и их перспективы / М.А. Григорьев // Автомобильная промышленность. – 2009. – No 7. – С. 9–16.
7. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей / под. ред. А.С. Орлина и М.Г. Круглова // – М.: Машиностроение, 2009. – 283 с.
8. Шароглазов, Б.А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов: Учебник по курсу «Теория рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания» / Б.А. Шароглазов, М.Ф. Фарафонов, В.В. Клементьев // – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2004. – 344 с.
9. Kittelson D.B. Formation of nanoparticles during exhaust dilution / D.B. Kittelson Abdul-Khalek I // EFI Members conference “Fuels, Lubricants, Engines & Emissions” – 1999. – January 18-20. – 13 p.
10. Голубева, А.С. Обоснование необходимости сокращения эмиссии CO₂ автотранспортным сектором/ А.С. Голубева, Е.Р. Магарил // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. Екатеринбург: УрФУ. – 2012. – № 2. – С. 109-117.
11. Голубева А.С. Совершенствование механизма экономического стимулирования сокращения выбросов CO₂ автомобилями/ А.С. Голубева, Е.Р. Магарил // Транспорт Урала. – 2013. - №3(38). – С. 39-44.
12. Магарил Е.Р. Эколого- экономические проблемы и перспективы использования топливно-энергетических ресурсов/ Е.Р. Магарил, Л.Л. Абржина, А.С. Голубева // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. Екатеринбург: УрФУ. – 2013. – № 5. – С. 114-130.
13. Голубева А.С. Повышение топливной экономичности как способ сокращения эмиссии CO₂ автотранспортом/ А.С. Голубева, Е.Р. Магарил // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. С. 118-123.
14. Golubeva A.S. Improved economic stimulation mechanism to reduce vehicle CO₂ emissions/ A.S. Golubeva, E.R. Magaril// WIT Transactions on the Built Environment, 130. – UK: WIT Press, 2013. – P. 485-494.
15. Клементьев А.С. Влияние электронных систем регулирования рабочих процессов автомобильного двигателя на выбросы отработавших газов - / Клементьев А.С., Бибииков М.Н., Филькин Н.М., Меркушев А.В. // - Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 5 (17). – С. 78-81.
16. Филькин Н.М. Экспериментальное исследование влияния топлива на эксплуатационные характеристики малотоннажного грузового автомобиля - / Филькин Н.М., Клементьев А.С. // -Грузовик. – 2011. - №2. – С. 38-41.
17. Клементьев А.С. Испытания эффективности использования различных видов топлива // Транспортные и транспортно-технологические системы - / Клементьев А.С., Пономарев В.М., Бибииков М.Н. // - Материалы Международной научно-технической конференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. – С.141-145.
18. Клементьев А.С. Экспериментальное исследование влияния вида топлива на эксплуатационные характеристики автомобиля // Проблемы и достижения автотранспортного комплекса - / Клементьев А.С., Филькин Н.М. // - Сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2011. – С. 97-101.
19. Монастирський Ю. А. Моделювання функціонування кар'єрних автосамоскидів / Ю. А. Монастирський // Качество мінерального сиров'язь: сб. научн. трудов. – Кривой Рог, 2011. – С. 420-424.
20. Монастирський Ю.А. Сучасний стан технологічного автотранспорту залізничних кар'єрів / Ю.А. Монастирський, А.С. Вивчарик, И.В. Бондарь, Т.А. Климов // Сучасні автомобільні розробки України. – Миколаїв, 2015. – С.82-85.
21. Філіпов А.З. Промислова екологія. / А.З. Філіпов // Транспорт - К.:Техніка, 1992.-50с.
22. Дьяков А.Б. Экологическая безопасность транспортных потоков / А.Б. Дьяков, Ю.В. Игнатьев, Е.П. Коншин //.-М.: Транспорт, 1989.-128с.
23. Пахомов В.И. Разработка нового метода снижения токсичности отработавших газов и повышение топливной экономичности карьерного транспорта / В.И. Пахомов, В.И. Морозов // Сборник «Научно-технический прогресс в горном деле», Кривой Рог: - НИГРИ, 1993. –С.121-123.
24. Морозов В.И. Повышение экономических и экологических показателей дизельных двигателей / В.И. Морозов, В.И. Пахомов, В.А. Рубцов // Сборник «Исследование процессов подготовки, применения и контроля качества авиа ГСМ и спецжидкостей» - Киев: Книга, 1994.-9с.
25. Голубева А.С. Влияние автотранспорта на выбросы углекислого газа / А.С. Голубева, Е.Р. Магарил // YOUNG ELPIT 2011. 23 Международный инновационный форум молодых ученых в рамках III Международного

конгресса (V Международной научно-технической конференции) «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно – транспортных комплексов» ELPIT 2011 (Тольятти – Самара, Россия, 21-25 сентября 2011 года): сборник научных докладов: в 2 т./ под ред. А. В. Васильева. – Тольятти: Изд – во ТГУ, 2011. – Т. 1. – С. 72-77

Рукопис подано до редакції 23.10.2019

УДК 622.271.4:622.271.32-027.235

С.А. ЛУЦЕНКО, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ЛИКВИДАЦИИ ВСКРЫШНОГО ОТСТАВАНИЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КАРЬЕРА ПО РУДЕ

Цель. Для увеличения производительности карьера по руде необходимо произвести расширение рабочих площадок с целью ликвидации вскрышного отставания. В таких условиях составление производственных программ предприятий, а в последующем и их выполнение, становится все более проблематичным, что подтверждается практикой производства, поэтому в первую очередь необходимо определить годовые объемы ликвидации вскрышного отставания. Целью данной работы является усовершенствование научно-методической базы в области проектирования и планирования открытых горных работ путем разработки критериев и методов определения годовых объемов ликвидации вскрышного отставания, обеспечивающих в карьере нормальные условия добычи полезного ископаемого при изменении его производительности, которые должны учитывать взаимосвязь параметров системы разработки, исходя из условия обеспечения нормативного объема готовых к выемке запасов.

Методы исследования. При определении годовых объемов ликвидации вскрышного отставания необходимо исходить из граничных объемов ликвидации вскрышного отставания, а также количества горного оборудования, которое предусмотрено для обеспечения производственной мощности по горной массе. При этом необходимо учитывать взаимосвязь параметров системы разработки, которые обеспечивают в карьере необходимый объем готовых к выемке запасов.

Научная новизна. Предложенная методика определения годовых объемов ликвидации вскрышного отставания при изменении производительности карьера по руде позволяет учитывать взаимосвязь режима горных работ и производительности карьера по руде при условии обеспечения в карьере норматива готовых к выемке запасов.

Практическая значимость. Результаты выполненных исследований могут быть использованы проектными организациями и горнодобывающими предприятиями при определении производительности карьера по руде.

Результаты. Разработана методика определения оптимальных годовых объемов ликвидации вскрышного отставания при изменении производительности карьера по руде, а также критерий оценки вариантов работы карьера в условиях ликвидации вскрышного отставания. Определена область возможных вариантов производительности по руде в переходные периоды работы карьера.

Ключевые слова: железорудные карьеры, вскрышные работы, коэффициент вскрыши, рабочая площадка уступа, ликвидация вскрышного отставания.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-78-82

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Перспектива развития горного производства заключается в росте объемов добычи полезных ископаемых при усложнении условий эксплуатации месторождений. Основные тенденции открытых горных работ на ближайшую перспективу характеризуются постоянным ростом объемов выемки вскрышных пород, что в наибольшей степени вызвано увеличением глубины ведения работ и ростом спроса на полезное ископаемое [1]. Современное состояние железорудных карьеров Кривбасса характеризуется значительной их глубиной (более 400 м), которая и в дальнейшем будет увеличиваться до проектных отметок.

При изменении производительности карьера по руде, что характерно для современной экономики, соответственно будут меняться и параметры системы разработки, в частности ширина рабочей площадки и длина фронта горных работ. Увеличение производительности карьера по руде приводит к увеличению ширины рабочих площадок. Поэтому выполнение заданной производительности карьера по руде возможно за счет изменения режима горных работ [2] вследствие корректировки параметров системы разработки для обеспечения нормативных запасов руды готовых к выемке [3]. Невыполнение данного объема вскрыши при увеличении производительности по руде приведет к нарушению законов развития карьерного пространства и как следствие этого неплановому накоплению объемов вскрышных пород. В данных условиях ликвидации отставания по вскрыше осуществляется с нарушением планомерного и равномерного

развития вскрышных и добычных работ. Поэтому составление производственных программ предприятий, а в дальнейшем и их выполнения, становится все более проблематичным, что подтверждается практикой производства, поэтому в первую очередь необходимо определить годовые объемы ликвидации отставания по вскрыше.

Анализ исследований и публикаций. В результате выполненного анализа научных публикаций посвященным вопросам уменьшения объемов вскрышных работ [4-8] было установлено, что существующие методы планирования горных работ не учитывают взаимосвязь режима горных работ и производительности карьера по руде [9, 10] при условии обеспечения в карьере норматива готовых к выемке запасов в случае изменения производительности.

Постановка задач. Цель настоящей работы – разработка методики определения годовых объемов ликвидации вскрышного отставания, а также определение возможных вариантов работы карьера при увеличении производительности карьера по руде.

Изложение основного материала и результатов. Исследованиями было установлено, что увеличение производительности по руде должно осуществляться с учетом изменения режима горных работ, который характеризуется количеством и продолжительностью периодов усреднения, а также значениями эксплуатационных коэффициентов вскрыши по каждому из периодов. В соответствии с этим изменится и производственная мощность по горной массе, которая определяет минимально необходимое количество единиц горного оборудования.

Поэтому при увеличении производительности карьера по руде с величины A_p до A'_p значение эксплуатационного коэффициента вскрыши изменится с n до n' , а производственной мощности по горной массе с $Q_{зм}$ до $Q'_{зм}$. Прирост производственной мощности по горной массе определяется по формуле, m^3

$$\Delta Q_{зм} = Q'_{зм} - Q_{зм} = A'_p (1 + n') - A_p (1 + n). \quad (1)$$

Ликвидация вскрышного отставания должна предшествовать увеличению производительности по руде, и производится в переходные периоды работы карьера от одного положения рабочего борта к другому, продолжительность которых, для обеспечения покрытия спроса на железорудную продукцию, должна быть минимальна. При этом переходные периоды характеризуются значительным увеличением текущих коэффициентов вскрыши и соответственно производственной мощности по горной массе. В связи, с чем потребуются дополнительные капитальные вложения на приобретение основного горного оборудования, что является нецелесообразным ввиду краткосрочности переходных периодов. Поэтому необходимо стремиться произвести ликвидацию вскрышного отставания без дополнительных капитальных затрат.

Чтобы запланировать производственные показатели карьера в период ликвидации вскрышного отставания необходимо определить годовые объемы ликвидации вскрышного отставания, которые и определяют необходимое количество основного горного оборудования.

Годовые объемы ликвидации вскрышного отставания определяются:

исходя из граничных объемов ликвидации вскрышного отставания;

исходя из количества горного оборудования, которое предусмотрено для обеспечения производственной мощности по горной массе $Q'_{зм}$ при производительности карьера по руде A'_p .

При известной производительности карьера по руде и граничном коэффициенте ликвидации вскрышного отставания можно определить годовой объем ликвидации вскрышного отставания по формуле, $m^3/\text{год}$,

$$V_{отст}^{zod} = n^{zp}_{отст} A_p. \quad (2)$$

Исходя из количества горного оборудования объем вскрышного отставания, который можно ликвидировать за один год без дополнительных капитальных вложений определяется по формуле, m^3

$$V_{отст}^{zod} = Q_{np}^{z.o.} - (A_{p(i)} n_{(i)} + A_{p(i)}), \quad (3)$$

где $Q_{np}^{z.o.}$ - суммарная производительность горного оборудования в карьере, $m^3/\text{год}$; i – вариант увеличения производительности карьера по руде в диапазоне от A_p до A'_p ; $n_{(i)}$ - эксплуатационный коэффициент вскрыши, обеспечивающий нормальную работу карьера с производительностью $A_{p(i)}$, $m^3/\text{т}$.

Время ликвидации вскрышного отставания определяется по формуле, лет

$$t_{\text{лво}} = \frac{V'_{\text{отст}}}{V_{\text{отст}}^{\text{год}}}, \quad (4)$$

где $V'_{\text{отст}}$ - объем вскрышного отставания который необходимо ликвидировать при увеличении производительности карьера с A_p до A'_p .

Графическое решение по определению области возможных вариантов работы карьера, обеспечивающих ликвидацию вскрышного отставания представлено на рис. 1.

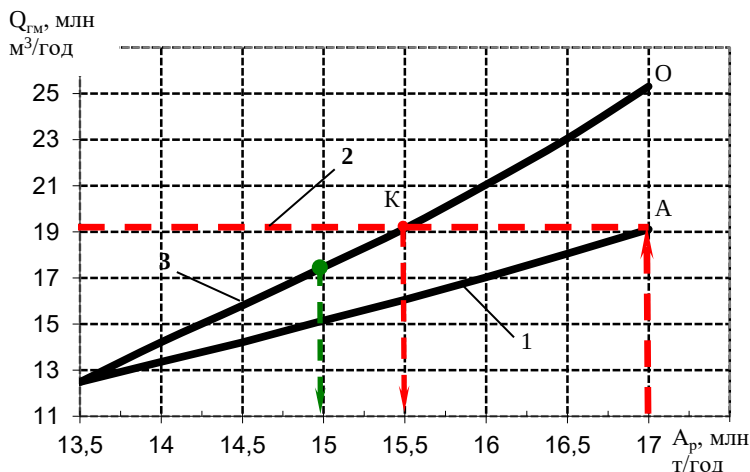


Рис. 1. Определение области возможных вариантов производительности по руде в переходные периоды работы карьера

На рис. 1 линия 1 показывает изменение объемов выемки горной массы при увеличении производительности по руде без учета объемов вскрышного отставания (объемов горной массы, которые извлекаются при реконструкции борта карьера [11]). Линия 2 показывает суммарную производительность основного горного оборудования в карьере.

Для обеспечения в карьере нормативов готовых к выемке запасов необходимо произвести расширение рабочих площадок с целью ликвидации вскрышного отставания. Линия 3 показывает изменение объемов выемки горной массы при увеличении производительности по руде с учетом объемов вскрышного отставания. Таким образом, для обеспечения запланированного увеличения производительности по руде необходимо ликвидировать 6,2 млн м³ вскрышного отставания (AO).

Точка пересечения линии 3 с линией 2 (точка K) показывает граничный вариант производительности по руде при которой возможна ликвидация вскрышного отставания. Отсюда можно определить варианты производительности карьера по руде (в пределах 13,5-15 млн т/год), которые позволяют ликвидировать вскрышное отставание без дополнительных капитальных вложений на приобретение основного горного оборудования.

Варианты работы карьера отличаются как режимом горных работ и годовыми объемами ликвидации вскрышного отставания, так и производительностью карьера по руде. Поэтому в качестве критерия оценки предлагается рассматривать максимум чистой современной стоимости денежных потоков, грн,

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+E)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{K_t}{(1+E)^t}, \quad (5)$$

где CF_t – чистый денежный поток (суммарная прибыль от реализации железорудного товарной продукции) в t -й год, грн; E – ставка дисконта, доли ед; K – капитальные инвестиции в t -м году на увеличение производительности карьера, грн; T – оцениваемый период времени, лет.

Капитальные инвестиции, необходимые для дальнейшего развития карьера и увеличение производственной мощности, согласно условию (1) одинаковы. В дальнейшем капитальные инвестиции, вложенные в производственные фонды, постепенно возвращаются в виде амортизационных отчислений. Поэтому для упрощения экономической оценки эффективности вариантов работы карьера можно исключить из расчетов как капитальные инвестиции, которые не оказывают существенного влияния на разницу между вариантами, так и амортизационные отчисления.

Таким образом, формула определения NPV приобретет следующий вид, грн

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+E)^t}. \quad (6)$$

Оптимальный вариант определяется исходя из максимального размера чистой современной стоимости денежного потока за оцениваемый период

$$NPV \rightarrow \max. \quad (7)$$

Чистый денежный поток представляет собой разницу между положительным денежным потоком (поступлением денежных средств) и отрицательным денежным потоком (расходом денежных средств). Чистый денежный поток определяется следующим образом, грн

$$CF_{(t)} = (CIF_{(t)} - COF_{(t)}) \times (1 - N), \quad (8)$$

где $CIF_{(t)}$ – денежные поступления (выручка) от реализации товарной продукции в t -й год, грн; $COF_{(t)}$ – денежные затраты (эксплуатационные расходы) предприятия, грн; N – ставка налога на прибыль, выраженная десятичной дробью.

Денежные поступления или выручка включает в себя денежные средства, полученные в результате реализации товаров, готовой продукции, работ, услуг. Денежные поступления определяются, грн

$$CIF_{(t)} = \varphi \cdot A_{p(t)} \cdot \gamma_k, \quad (9)$$

где φ – цена реализации товарной продукции, грн/т; $A_{p(t)}$ – производительность карьера по руде в t -й год, т; γ_k – выход товарной продукции из добываемой руды, доли ед.

Денежные затраты включают в себя все издержки (затраты), понесенные предприятием на производство и реализацию товарной продукции.

В связи с тем, что на протяжении исследуемого периода возможны значительные колебания объемов выемки вскрышных пород и руды, то расчет денежных затрат необходимо осуществлять на основании условно-постоянных и условно-переменных затрат.

Тогда затраты можно представить в виде формулы, грн

$$COF_{(t)} = COF_{(t)}^{Ak} + COF_{(t)}^{Ap} + COF_{(t)}^{omcm}, \quad (10)$$

где $COF_{(t)}^{Ap}$ – производственные затраты на добычу руды в t -й год, грн; $COF_{(t)}^{Ak}$ – производственные затраты на переработку руды и реализацию продукции в t -й год, грн; $COF_{(t)}^{omcm}$ – производственные затраты на ликвидацию вскрышного отставания в t -й год, грн

Производственные затраты на добычу руды составят, грн

$$COF_{(t)}^{Ap} = A_{p(t)} c_p^{y.nep.} + 3K^{y.nost.}, \quad (11),$$

где $3K^{y.nost.}$ – условно-постоянные затраты на добычу руды, грн; $c_p^{y.зм.}$ – удельные условно переменные затраты на добычу руды, грн/т;

$$c_p^{y.nep.} = a_o^{y.nep.} + n \cdot b^{y.nep.}, \quad (12)$$

$a_o^{y.nep.}$ – удельные условно переменные затраты на добычу руды без затрат на вскрышу, грн/т;

$$a_o^{y.nep.} = f(A_{p(t)}, L_{p.a.}, B_n), \quad (13)$$

n – эксплуатационный коэффициент вскрыши, обеспечивающий нормальную работу карьера с производительностью $A_{p(t)}$, м³/т; $b^{y.nep.}$ – удельные условно переменные затраты на выемку вскрышных пород, грн/м³

$$b^{y.nep.} = f(A_{p(t)}, L_{p.a.}, B_n). \quad (14)$$

Производственные затраты на производство и реализацию товарной продукции определяются по формуле, грн,

$$COF_{(t)}^{Ak} = 3\Phi^{y.зм.} + 3\Phi^{y.nost.}, \quad (15)$$

$3\Phi_{(t)}^{y.nep.}$ – условно-переменные затраты на переработку руды и реализацию продукции в t -й год, грн; $3K^{y.nost.}$ – условно-постоянные затраты на переработку руды и реализацию продукции, грн.

Производственные затраты на ликвидацию вскрышного отставания определяются по формуле, грн

$$COF_{(t)}^{omcm} = V_{omcm(t)}^{zod} \cdot b^{y.nep.}, \quad (16)$$

После преобразования получим конечный вид критерия

$$NPV = \sum_{t=1}^T \left(\frac{A_{p(t)} \gamma_k \cdot \varphi}{(1+E)^t} - \frac{A_{p(t)} (a_o^{y.зм.} + n \cdot b^{y.зм.}) + 3K^{y.nost.}}{(1+E)^t} + \right.$$

$$+ \frac{3\Phi_{(t)}^{y.пер} + 3\Phi_{(t)}^{y.пост} + V_{отст(t)}^{год} b^{y.пер}}{(1+E)^t} \times (1-N) \rightarrow \max. \quad (17)$$

Таким образом, конкретизированной критерий направлен на максимизацию прибыли в условиях увеличения производительности карьера по руде с учетом ликвидации отставания по вскрыше.

Выводы и направление дальнейших исследований. В результате выполненных исследований была разработана методика определения оптимальных годовых объемов ликвидации вскрышного отставания при изменении производительности карьера по руде, а также критерий оценки вариантов работы карьера в условиях ликвидации вскрышного отставания.

Список литературы

1. Соколовский А.В. Принципы проектирования развития действующего карьера / А.В.Соколовский // Горн. инф.-аналит. бюлл. – 2007. – №12. – С.21-26.
2. Луценко С. А. Исследование режима горных работ, обеспечивающего достижение максимально возможной производительности карьера по руде / С.А.Луценко // Вісник НТУУ "КПІ". – Київ. – 2017. - Вип. 34. – С34-40.
3. Луценко С. А. Определение ширины рабочей площадки и длины фронта горных работ при изменении производительности карьера по руде / С.А.Луценко // Збірник наукових праць НГУ. - Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2017. - №50. С. 63-69.
4. Арсентьев А.И. Проектирование горных работ при открытой разработке месторождений / А.И. Арсентьев, Г.А. Холодников – М.: Недра, 1994. – 336 с.
5. Новожилов М.Г. Технология открытой разработки полезных ископаемых. Ч.2 / М.Г. Новожилов, В.С. Хохряков, Г.Д. Пчелкин, В.С. Эскин. – М.: Недра, 1971. – 552с.
6. Ржевский В.В. Научные основы проектирования карьеров / В.В. Ржевский, М.Г. Новожилов, Б.П. Юматов. – М.: Недра, 1971. – 600 с.
7. Близиуков В.Г. Один из путей сохранения нормальной ширины рабочей площадки при уменьшении объемов вскрышных работ в карьере / В.Г. Близиуков, С.Ю. Оводенко // Разработка рудных месторождений. – Изд-во: «Техника», 1988. – №45. – С. 11–14.
8. Близиуков В.Г. Планирование режима вскрышных работ с учетом производительности карьера по полезному ископаемому / В.Г. Близиуков, А.В. Савицкий, О.Ю. Близиукова // Горный журнал. – 2013. – №5. – С. 4–8.
9. Lutsenko A. Sergey. Open pits productivity control along with iron ore products demand variation / A. Sergey Lutsenko // Quality – Access to Success. – 2017. – vol. 18(S1) – С. 226-230.
10. Близиуков В.Г. Improvement of technical criteria for comparative evaluation of mining operation options of iron ore open pits / В.Г. Близиуков, С.А. Луценко // Науковий вісник НГУ. – Д.:ДВНЗ «НГУ», 2017. - №1. С. 44-49.
11. Луценко С.А. Методика определения объемов вскрышных работ при увеличении производительности карьера по руде / С.А. Луценко // Вісник ЖДТУ. – Житомир, 2017.- №1 (79). – С. 191-197.

Рукопись поступила в редакцию 07.02.2020

УДК 622.2

Б.І. РИМАРЧУК, д-р техн. наук, проф., О.Л. ШЕПЕЛЬ, канд. техн. наук, доц.,
М.В. ХУДИК, канд. техн. наук, ст. викладач
Криворізький національний університет

ПРО ПИТАННЯ ЗНИЖЕННЯ ГІРНИЧОГО ТИСКУ ПРИ ВИПУСКУ РУДИ З ОБВАЛЕНИХ БЛОКІВ

Мета. Метою даної роботи є аналіз досліджень ефективності випуску руди, як основного процесу підземних гірничих робіт при системах розробки підповерхового обвалення руди й вмішувальних порід, які забезпечують покращення параметрів випуску руди.

Методи. У роботі використано такі методи: детальний аналіз та дослідження вітчизняного досвіду випуску обваленної руди з панелей та блоків, що актуальний на теперішній час; аналітичні дослідження процесу випуску руди по всій площині блоку при горизонтальному контакті між рудою й налягаючими породами й відсутності сильного гірського тиску на підготовчі виробки; експериментальні дослідження випуску руди в лабораторних умовах на моделях максимально приближених до реальних умов; програмні методи для оброблення результатів експериментів.

Наукова новизна. В процесі аналізу випуску руди по всій площині панелі або блоку припущено, що випуск обваленної руди із блоку або панелі викликає перерозподіл тиску в зоні очисних робіт. Встановлено закономірності зміни тиску обвалених порід на днищі блоку при розробці потужних крутоспадних покладів великого простягання. Наведено певні співвідношення між вихідними параметрами, за якими можна регулювати величину тиску обвалених

порід у широких межах. Обґрунтовано залежність змінення абсолютної величини тиску зі збільшенням розміру блоку за простяганням (вхрест простягання).

Практична значимість. Пропонується ефективний спосіб і порядок підготовки, розташування й перетин виробок. Для практичного застосування на шахтах рекомендовано застосовувати безціликовий спосіб підготовки блоків. Запропоновано оптимальні параметри блоку при системі підповерхового обвалення руди та вмішувальних порід.

Результати. На підставі виконаних лабораторних досліджень випуску руди в окремому блоці, розташованому довгою стороною вхрест простягання покладу, величина й характер розподілу тиску обвалених порід на днищі в основному залежить від розмірів блоку за простяганням. Зі збільшенням розміру блоку за простяганням зростає не тільки абсолютна величина тиску, але й нерівномірність його розподілу. Приведено напрям подальших досліджень та основні пункти його змісту.

Ключові слова: руда, технологія, випуск, відбійка, гірський тиск, дослідження.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-82-87

Проблема та її зв'язок з науковими або практичними завданнями. Завдяки практичним даним розробки рудних родовищ, відомо, що випуск руди – одна з важливих операцій систем розробки поверхового й підповерхового обвалення руди та вмішувальних порід [1], від якої залежать, як якісні, так і кількісні результати вилучення. Тому, вдосконалення технологій відпрацювання покладів, які забезпечують поліпшення параметрів випуску руди, є актуальним науково-технічним завданням.

Аналіз досліджень і публікацій. Глибоке вивчення проблеми показує, що раніше питаннями зниження гірського тиску на днищі блоків при випуску відбитої руди вчені не займалися. Проте встановлено, що найбільш низькі втрати й засмічення отримуються при горизонтальному контакті поверхні обваленої руди з налягаючими породами, що опускаються, мінімальній відстані між виходами дучок на горизонті підсічки й рівномірному випуску руди із всіх люків. Однак практично створити такі умови для випуску вдається рідко, внаслідок труднощів одночасного їхнього виконання й тому питання звичайно доводиться вирішувати компромісним шляхом [2].

Випуск по всій площині блоку при горизонтальному контакті між рудою й налягаючими породами й відсутності сильного гірського тиску на підготовчі виробки нижче горизонту підсічки звичайно буває, допустимий, при наступних умовах:

- при невеликій площі родовищ, що розробляються одним блоком;
- при вийманні блоків, що висікають у цілику руди або руди й породах (у таких умовах розробляється половина блоків у шаховому порядку їхнього виймання, а також частина блоків і при послідовному їх вийманні;

- у деяких випадках при вийманні блоків лише однією бічною стороною, що примикають до виробленого простору, зокрема це може бути припустимо при помірній потужності родовища з вертикальним або дуже крутим кутом падіння, що залягають у більш-менш стійких бічних породах, що розробляються блоками шириною на всю потужність;

- при вийманні блоків і декількома сторонами, що примикають до виробленого простору, але при невеликих горизонтальних їхніх розмірах.

Звичайно для зниження тиску на підготовчі виробки одночасний випуск виконується на частині площі блоку при похилому контакті між рудою й породами. Величина кута нахилу контакту змінюється в межах від 30 до 70 градусів, але в середньому переважає 45-60 градусів [3].

Зі збільшенням цього кута нахилу тиск на підготовчі виробки знижується, але одночасно із цим зростають втрати й засмічення руди. Випуск руди виконується рівномірно із всіх робочих дучок і по можливості в невеликих кількостях, щоб поверхня контакту між рудою й породою залишалася більш-менш рівної.

Максимальна площа випуску визначається горизонтальною проекцією поверхні контакту між рудою й породами при поширенні її до горизонту підсічки. Аналіз практики показує, що збільшення кута нахилу поверхні контакту (особливо більше 50 градусів) негативно впливає на показники випуску: обсяг чистої руди, що вилучається до початку засмічення, зменшується, а обсяг порожніх примішаних порід, зростає [4-8].

З методів розробки з обваленням системи поверхового й підповерхового обвалення дають найбільші втрати й засмічення руди. Найменші втрати й засмічення бувають при висічці блоків у цілику руди завдяки випуску великої частини руди без зіткнення з обваленими породами й

невеликій їхній величині, і при його закінченні внаслідок горизонтального контакту при ньому руди з породами.

Найбільш низькі якісні й кількісні результати вилучення дає виймання блоків декількома бічними сторонами, що примикають до виробленого простору, по контакту з якими виходять систематичні втрати й засмічення, з початку й до кінця випуску, що має набагато більше значення, ніж маючі місце по контакту з налягаючими зверху породами.

Застосування способів підготовки блоків і систем розробки в основному залежить від природних (потужність, кут падіння, міцність руди й вмщувальних порід, технічних (застосовуване встаткування) і технологічних (параметри блоків) факторів [9].

Вартість проходки підготовчо-нарізних виробок становить значну частину собівартості по системі розробки (від 33,0% до 56,2%). Незважаючи на те, що з підготовчо-нарізних виробок добувається тільки 5–10% чистої руди, трудомісткість підготовчих виробок займає одне з головних місць, у загальному більше трудових витрат по системі розробки підповерхового обвалення.

Прийнятий спосіб і порядок підготовки, розташування й перетин виробок повинні відповідати наступним вимогам:

- відповідати сучасним тенденціям розвитку технології ведення гірських робіт;
- забезпечувати своєчасну підготовку поверхів і блоків для збереження постійного резерву підготовлених і готових до виймання запасів руди;
- сприяти зниженню гірського тиску на виробки в межах виймальної ділянки;
- приводити до скорочення витрат на кріплення і його ремонт;
- забезпечувати максимальну концентрацію гірських робіт й інтенсивне відпрацювання запасів блоку;
- підвищувати продуктивність очисного вибою;
- знижувати трудомісткість на прохідницькі роботи;
- забезпечувати по системі в цілому мінімальну собівартість 1 т видобутої руди;
- планувати можливість застосування високопродуктивного бурового, навантажувально-доставочного й транспортного встаткування;
- скорочувати втрати руди в надрах землі;
- відповідати вимогам санітарно-гігієнічних умов, безпеки ведення підготовчих й очисних робіт.

На теперішній час одним з варіантів відповідності цим вимогам є безціликова схема підготовки блоків, що широко поширена на практиці. Найбільш важливі переваги цього способу підготовки блоків:

розташування підповерхових ортів під рудною товщею, а вентиляційних ортів у суміжному блоці забезпечує достатню їхню стійкість при відпрацюванні запасів руди від лежачого боку до висячого;

- скорочуються витрати на перекріплення підповерхових виробок;
- зберігається гарна вентиляція очисних вибоїв на весь період відпрацювання підповерхів;
- можливість селективного виймання руди;
- достатня акумулююча ємність рудоспусків, що проводяться на кожний очисної вибій при відпрацюванні запасів блоку;

створюється можливість для відпрацювання потужних покладів в умовах високого гірського тиску при інтенсивному очисному вийманні панелей і вторинного використання підготовчих ортів для розбурювання масиву глибокими свердловинами;

усувається необхідність залишення підповерхового надортового цілика, завдяки чому скорочуються втрати й підвищується якість видобутої руди [10].

Недоліки:

- складність ведення очисних робіт на різних горизонтах при збільшенні числа підповерхів;
- необхідність суворого дотримання черговості відпрацювання панелей у блоках;
- збільшення довжини підготовчо-нарізних виробок внаслідок проходки додаткових підповерхових ортів і збільшення на 5 м довжини штреків скреперування [11].

Отже, оптимальними параметрами блоку при системі підповерхового обвалення руди та вмщувальних порід є такі, які забезпечують максимально можливе вилучення чистої руди до початку засмічення, мінімальні витрати на підготовчі роботи й мінімальну собівартість видобу-

тку 1 т руди. Оптимальні параметри блоку: висота підповерхів – 40 м, довжина блоків – 60 м [12, 13].

Постановка задачі. Таким чином, необхідно обґрунтувати оптимальні параметри випуску відбитої руди, що дозволяють покращити показники засмічення та втрат руди, а також знизити абсолютне значення гірського тиску на днищі блоків.

Викладення матеріалу та результати. Тиск при випуску руди із обвалених блоків, розташованих на глибині кілька сотень метрів і більше, рахуючи від поверхні, встановлює свої специфічні завдання перед вивченням динаміки цього процесу. При випуску руди із обвалених блоків під налягаючими породами, в умовах підвищеного гірського тиску протікає значно складніше, ніж витікання сипучого матеріалу з вертикальної циліндричної посудини (випуск із бункерів). В останньому випадку завдання динаміки випуску зводяться до визначення тиску потоку сипучого матеріалу при його русі на днищі й стінках суцільної частини. Джерелом тиску тут є потік сипучого матеріалу, що рухається. В умовах підземних рудників конструктивні елементи блоку й обвалена руда ще до її випуску перебувають під статичним тиском, величина якого в десятки разів перевищує тиск, надаваний потоками обваленної руди при її русі до випускних отворів.

Випуск обваленної руди із блоку або панелі викликає перерозподіл цього тиску й може бути у зв'язку з цим важливим заходом для зниження його величини в зоні очисних робіт.

Головним конструктивним елементом систем розробки з обваленням, підданим тиску, є днище блоку й стінки його в зоні опорного вертикального тиску.

Горизонтальний тиск під впливом, так називаного ламаного розпору, обумовлений утворенням склепіння та що представляє інтерес при витіканні сипучих тіл із силосних веж, при випуску обваленної руди відступає на задній план. По-перше, тому що розрахунок стінок блоку на міцність не є необхідним, і, по-друге, тому що величина його незначна в порівнянні з вертикальним опорним тиском. Оскільки випуск руди ведуть, як правило, із серії випускних отворів блоку з утворенням загальної зони розпушення в межах всієї площини, що відпрацьовується, ущільнення руди під впливом горизонтального розпору при випуску з якого-небудь отвору зберігається при включенні в роботу сусідніх прилягаючих до нього отворів.

Крім того це явище не має серйозного значення для практики, оскільки бічне засмічення при випуску руди з отворів, що граничать із виробленим простором, спостерігається завжди, незважаючи на те, що ущільнення порожніх порід під впливом горизонтального розпору повинне було б мати місце.

Це все потрібно враховувати, якщо випускати руду з одного випускного отвору в виробки доставки. Але ситуація може змінитися, якщо випуск робити зонами. Тому в цьому випадку горизонтальний розпір буде впливати на ущільнення порожніх порід і зниження бічного засмічення, що можна буде встановити в перспективі в лабораторних умовах.

Під керуванням гірським тиском прийнято розуміти сукупність таких практичних заходів щодо штучного регулювання величини характеру наростання й розподілу тиску на навколишні підповерхові виробки, які дозволяють забезпечити стійкість порід в одних виробках і навпаки, рівномірний розвиток їхнього самообвалення в інших. При підземній розробці рудних родовищ цей комплекс заходів складається у виборі раціональних для даних конкретних умов розмірів і форм виробок, ціликів і застосування певної послідовності ведення очисних робіт у межах блоку й усього родовища [14-16].

Перехід розробки окремих, розташованих у масиві, блоків до широкого застосування систем поверхового самообвалення, при цьому масове застосування системи зіштовхнулося із цілим комплексом явищ, які не мали місця при вийманні ізольованих блоків. До їхнього числа ставиться посилений прояв тиску у виробках горизонту скреперування, повне їхнє руйнування на значних площах, а в окремих випадках – руйнування рудного масиву днища й виробок у ньому до закінчення підсічки блоку.

На рис. 1 представлена модель випуску обваленної руди з випускних отворів, біля яких розташовувалися тензометричні датчики для визначення значення навантаження на кожен тензодатчик. Модель представлена і виконана в масштабі М 1:100 з передньою скляною стінкою. Відстань між випускними отворами – 5 м, діаметр випускних отворів – 2 м. В якості сипучого матеріалу використовувалась мартитова руда із гранулометричним складом +1 – 5 мм. Висота обваленного шару в панелі – 40 м. Залежно від розташування тензометричних датчиків на днищі

панелі відповідно змінюються значення навантаження при випуску руди. Результати лабораторних досліджень представлені в табл. 1.

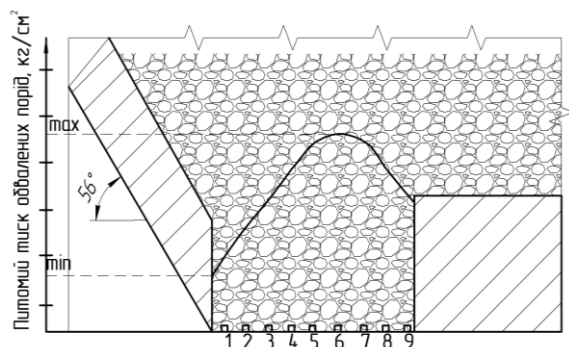


Рис. 1. Абсолютні значення навантаження на кожен тензодатчик: 1-9 – відповідно розташування тензодатчиків на днищі блоку

З отриманої епюри на рис. 1 видно значну нерівномірність у розподілі тиску. Максимум епюри зміщений до лежачого боку й відповідає тиску стовпа обвалених порід.

Тиск обвалених порід на днищі блоку при розробці потужних крутоспадних покладів великого простягання залежить не тільки від глибини гірських робіт, що визначає висоту стовпа

обвалених порід над днищем, але й від горизонтальних розмірів блоку, від інтенсивності випуску руди й послідовності робіт у шахтному полі, що визначає розміри й розташування площ, що одночасно перебувають на стадії випуску.

Таблиця 1

Результати лабораторних досліджень

Номер тензодатчика	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Абсолютні значення навантаження на кожен тензодатчик, кг/см ²	20,8	26,0	31,0	41,5	47,5	53,3	49	48	39,2

Приймаючи певні співвідношення між цими параметрами можна регулювати величину тиску обвалених порід у широких межах зберігаючи її на рівні значно меншої ваги всього стовпа обвалених порід.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином в окремому блоці, розташованому довгою стороною вхрест простягання покладу, величина й характер розподілу тиску обвалених порід на днищі в основному залежить від розмірів блоку за простяганням. Зі збільшенням розміру блоку за простяганням зростає не тільки абсолютна величина тиску, але й нерівномірність його розподілу. При цьому максимум тиску в блоці, розташованому в масиві, переважно схиляється до сторони лежачого боку, а в блоці, розташованому між обваленими породами – у центр. Напрямок подальших досліджень полягає у розгляді перелічених питань при проведенні розширених лабораторних досліджень випуску руди. Також в подальшому буде рекомендована технологія розробки, що призводить до загального підвищення інтенсивності відпрацювання підповерхів блоку. За рахунок підвищення інтенсивності відпрацювання підповерху підвищується в цілому ефективність відпрацювання запасів, тому що знижуються строки їхньої служби.

Список літератури

1. Цариковский В.В. Перспективы применения различных систем разработки при подземной добыче руд в Кривбассе / В.В. Цариковский, А.П. Григорьев // Разработка рудных месторождений. – 2004. – №85. – С. 164–167.
2. Васильченко Т.П. Влияние объема и формы подсеки на уровень потерь и разубоживания руды при системе разработки с отбойкой руды в зажатой среде // Основные вопросы комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых. – М.: ИПКОН АН СССР, 1981. С. 46–56.
3. Коляда Е.И. Исследование, выбор и разработка эффективного варианта системы подэтажного обрушения, обеспечивающего снижение потерь руды в недрах / Коляда Е.И. – Кривой Рог, 1980. – С. 50–60.
4. Малахов Г.М. Теория и практика выпуска руды / Малахов Г.М., Безух Р.В., Петренко П.Д. – М.: Недра, 1968. – 311 с.
5. Анистратов Ю.И., Жабин Н.И. Теория и практика бункеризации склонной к слеживаемости горной массы. – М.: Наука, 1968.
6. Чернокур В.Р. Добыча руд с подэтажным обрушением / Чернокур В.Р., Шкробко Г.С., Шелегеда В.И. – М.: Недра, 1992. – 217 с.
7. Стариков Н.А. Системы разработки месторождений. – М.: Metallurgizdat, 1967.
8. Демидов Ю.В., Аминов В.Н. Подземная разработка мощных рудных залежей. – М.: Недра, 1991. – 204.
9. N.I. Stupnik, V.A. Kalinichenko, V.A. Kolosov [Etc.] // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – No. 3. – P. 32–36.
10. Ступник Н.И. Улучшение показателей извлечения руды при системе подэтажного обрушения / Н.И. Ступник, В.А. Калиниченко, О.Я. Хивренко [и др.] // Збірник наукових праць Державного підприємства «Науково-дослідний гірничорудний інститут». – Кривий Ріг: НДГРІ, 2011. – № 53. – С. 136–142.
11. Именитов В.Р. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений / Именитов В.Р. – М.: Недра, 1984. – 504 с.

12. Ефремов В.С. и др. Подготовка блоков при разработке рудных залежей. – М.: Недра, 1974. – 208 с.
13. Ривкин И.Д., Волощенко В.П., Маймин Л.Р. Инструктивные указания по определению параметров систем разработки с обрушением по условиям проявления горного давления с увеличением глубины ведения горных работ на шахтах Кривбасса: Утв. 05.03.64. – НИГРИ. – Кривой Рог, 1964. – 37 с.
14. Влох Н.П. Управление горным давлением на подземных рудниках. М.: Недра, 1994. – 208 с.
15. Зубков А.В., Леликов В.П., Пятков Ю.Ф. Распределение давления в днище блока в ходе ведения очистных работ // Подземная добыча руд черных металлов: Сб. научн. тр. / НИГРИ. – Кривой Рог, 1979. – С. 61–63.
16. B.I. Rymarchuk, O.L. Shepel, M.V. Khudyk Expediency of application of the vertical concentrated charges to decrease losses of ore on a lying wall of deposits // Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu. – 2017.– no.3, P. 32–37.

Рукопис подано до редакції 25.03.2020

УДК 622.274.3:622.22

С.В. ПИСЬМЕННИЙ, канд.техн.наук
Криворізький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ВМІСТУ ЗАЛІЗА В ВИДОБУТІЙ РУДНІЙ МАСІ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ БАГАТИХ ЗАЛІЗНИХ РУД В УМОВАХ РОЗВИТКУ ГІРСЬКОГО ТИСКУ

Мета. Метою виконаних досліджень є підвищення показників вилучення рудної маси при розробці багатих залізних руд за рахунок зміни форми очисної камери та обґрунтування її стійких параметрів в умовах прояву гірського тиску.

Методи досліджень. Впровадження на комбінатах ресурсозберігаючих технологій на окремих технологічних процесах дозволяє підвищити вміст заліза в видобутій рудній масі на 0,5–1,5% без збільшення собівартості видобутку. Підвищити вміст заліза в видобутій рудній масі можливо за рахунок застосування очисних камер зі збільшеним об'ємом. Існуючі методики, що застосовуються на шахтах для визначення конструктивних елементів системи розробки ґрунтуються на розрахункових еквівалентних прольотах оголення очисних камер прямокутної або шатрової форм. Також вони не враховують гірський тиск, який діє в межах виймального блоку та зміну напружень в залежності від геометричних параметрів покладу.

Наукова новизна. Вперше за допомогою програмного комплексу ANSYS встановлено, що при формуванні компенсаційної камери квазіпараболічної форми дозволяє суттєво зменшити концентрацію напружень навколо очисного блоку. Так, формування очисної камери квазіпараболічної форми дозволяє знизити вертикальні напруження у порівнянні з горизонтальними, при цьому без зростання горизонтального тиску.

Практична значимість. При відпрацюванні виймального блоку запропоновано очисну камеру формувати квазіпараболічної форми з геометричними параметрами які безпосередньо залежать від параметрів покладу, глибини розробки та напрямку дії головних напружень.

Результати. Встановлені залежності величини напружень від глибини розробки та фізичних властивостей порід та довжини за простяганням рудного покладу. Так в залежності від дії впливу розробки та довжини за простяганням гірський тиск на очисну камеру квазіпараболічної форми зменшується при нерівномірному навантаженні. Формування очисної камери квазіпараболічної форми дозволить збільшити об'єм чистої руди, що вилучається з блоку в 1,2–1,5 рази.

Ключові слова: підземна розробка, квазіпараболічна камерна, якість, головні напруження, склепіння.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-87-93

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Залізні руди Криворізького залізничного басейну відпрацьовуються підземним способом на глибині нижче 1350 м з вмістом корисного компоненту в масиві 58–67% [1–4]. При застосуванні традиційних систем розробки вміст заліза в видобутій рудній масі не перевищує 59–61%. Зменшення вмісту заліза в видобутій рудній масі призводить до втрат світового ринку збуту, це пов'язано з тим, що ринок потребує продукцію з мінімальним вмістом заліза в товарній продукції 62%.

З метою залазитись на світовому ринку, гірничо-добувні підприємства підвищують ефективність відпрацювання родовищ за рахунок удосконалення окремих технологічних процесів, а саме впроваджують на першій стадії підземного видобутку очисного блоку новітні елементи технології системи розробки [5–8]. Дані дослідження дозволяють зменшити собівартість видобутку в 1,2–1,4 рази з забезпеченням показників вилучення на рівні 84–88%. Слід зауважити, що запропоновані елементи технології систем розробки не дозволяють суттєво підвищити вміст заліза в видобутій рудній масі.

Таким чином, розробка удосконалення технологій відпрацюванні покладів природно-багатих руд на значних глибинах, яка забезпечить високі показники вилучення на першому етапі є вельми актуальним.

Аналіз досліджень і публікацій. В Криворізькому залізорудному басейні з пониженням глибини розробки при застосуванні традиційних систем розробки навколо виробленого простору одночасно виникають зони підвищеного та пониженого тиску. Це призводить до вивалоутворень [9-11], а як наслідок додаткового засмічення руди до початку відпрацювання очисного блоку (етап утворення компенсаційного простору).

Так, на руднику Кіруна (Швеція), що розробляє залізорудне родовище з метою підвищення якості корисного компоненту в видобутій рудній масі в кінцевому продукті на стадії транспортування здійснюється її сортування [12]. Це дозволяє отримувати кінцевий продукт відповідної якості корисного компоненту без застосування процесу збагачення, при цьому показники вилучення чистої руди складають 90–92%. При застосуванні в умовах Криворізького залізорудного басейну технологію розробки, яка застосовується на руднику Кіруна призведе до збільшення експлуатаційних витрат в 2–5 разів.

Досвід роботи шахт Криворізького залізорудного басейну довів, що на ефективність відпрацювання родовищ впливає порядок очисного виймання та система розробки [13-15]. Так, при застосуванні системи розробки з торцевим випуском автори робіт [13,15], прийшли до висновку, що випереджувальна виїмка пластів зі сторони висячого боку знижує гірський тиск в рудному тілі основного простягання.

В роботах [16-18] з метою збільшення вмісту корисного компоненту в видобутій рудній масі пропонується селективна розробка багатих руд системами з масовим обваленням та з відкритим очисним простором. Запропоновані технологічні рішення дозволяють суттєво підвищити вміст корисного компоненту в видобутій рудній масі на 2–5 % без збільшення собівартості видобутку та впровадження додаткових технологічних процесів збагачення. Однак, при застосуванні даних систем розробки в нестійких породах, на етапі підготовки очисного блоку до виймання в компенсаційний простір потрапляють пусті породи, які суттєво погіршують показники вилучення [19].

В результаті виконаних досліджень [9], встановлено, що форма компенсаційного простору суттєво впливає на стійкість гірського масиву в умовах прояву гірського тиску. Так, доведено, що при відробці покладу основного простягання з використанням похилої компенсаційної камери нормальні напруження в верхній частині прольоту оголення зменшуються в 4 рази. А найбільш нестійкою формою камери є горизонтальна, у зв'язку збільшення нормальних напружень у порівнянні з вертикальною або похилою компенсаційними камерами на значних глибинах в 2 рази.

Згідно даним практики та теоретичним дослідженням до найбільш стійких форм виробленого простору слід віднести виробки круглої, шатрової та склепінної. При розробці крутоспадних пластоподібних рудних покладів відпрацювати виймальний блок із застосуванням очисних камер круглої або шатрової форм практично не можливо, що обумовлено гірничо-геологічними умовами Криворізького залізорудного басейну. Створення очисної камери висотою 45–90 м склепінної форми для умов Криворізького залізорудного басейну призводить до втрат руди при відпрацюванні міжкамерних ціликів до 20–25%. При зменшенні втрат руди до нормативних 16% коефіцієнт вилучення чистої руди не перевищує 70%.

Таким чином, виникає необхідність в удосконаленні технології при відпрацюванні багатих залізних руд, яка дозволить збільшити вміст заліза в видобутій рудній масі в умовах прояву гірського тиску на значних глибинах.

Постановка задачі. Для досягнення поставленої мети необхідно визначити параметри стійких оголень очисної камери параболічної форми в залежності від дії головних напружень в гірському масиві предсталеним породами нижче середньої стійкості при розробці рудних покладів на значних глибинах.

Викладення матеріалу та результати. Ефективність системи розробки визначається показниками вилучення та собівартістю видобутку рудної маси [20]. Для підвищення ефективності системи розробки доцільно збільшити об'єм очисної камери при забезпеченні їй стійких параметрів.

Збільшення об'єму прямокутної очисної камери в 1,1–1,5 рази призводить до зменшення її

стійкості та збільшенню: ширини ціликів, часу на відпрацювання блоку (панелі), експлуатаційних витрат, витрат на відпрацювання міжкамерних ціликів.

Згідно дослідженням [21] форма очисної камери повинна бути наближена до фігури випуску, яка представляє собою еліпс. Слід зауважити, що умови стійкості камери при цьому не визначались. В роботі [22] автор стверджує, що при створенні очисних камер параболічної форми стійкість камери підвищується, а її об'єм збільшується, рис. 1.

Координати точок кривої KLM , яка описує камеру параболічної форми, рис. 1 визначається виразом

$$y = -c \cdot \frac{\int (x^{2k-1} dx)}{\sqrt{(b^2 - x^2)^r}} \text{ при } k > 0,5; 0 < r < 2,$$

де c, k – дійсні числа; r – найменше непарне дійсне число; x, y – поточні координати.

Рис. 1. Розрахункова схема до визначення об'єму камери параболічної форми: 1 – контур камери прямокутної форми; 2 – контур камери параболічної форми

При зміні значень x від 0 до b крива функції убуває, при цьому крива ML буде опуклою при всіх значеннях похідної $-b < x < b$. Стійкість очисної камери забезпечується у випадку коли діючі максимальні напруження в гірському масиві менші за межу міцності руди або порід оточуючих її. Умова стійкої рівноваги описується виразами [22-24], т/м^2

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma], \quad \tau_{\max} \leq [\tau], \quad \sigma \gg \tau,$$

де $\sigma_{\max}$ – максимальні напруження внутрішніх сил, в масиві, т/м^2 ; τ – максимальні дотичні напруження, що виникають в масиві, т/м^2 ; $[\sigma]$ – межа міцності матеріалу, т/м^2 .

Відомо, що при розрахунку стійкості ціликів основним критерієм є вигін [22, 25]. Однак, в породах гірського масиву при перевищенні максимальних напружень утворюються зони тріщин, які призводять до зниження межі міцності цілика складеного гірськими породами, а з часом до його руйнування.

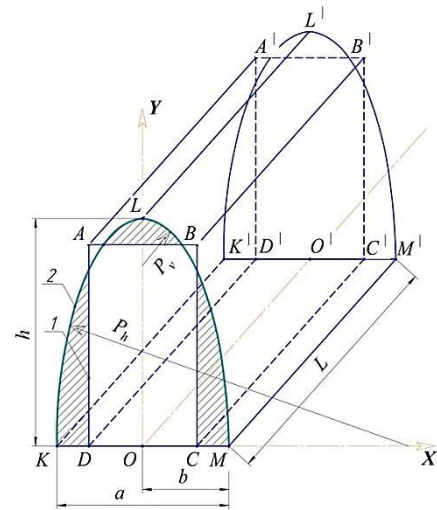
В роботі [24] доведено, що на головні вертикальні напруження впливають об'ємна маса та глибина розробки. В непорушеному гірському масиві головні вертикальні напруження є максимальними, а при проведенні підземних гірничих робіт вони залишаються без змін, або зменшуються. Таким чином, значення руйнівного тиску повинно задовольняти граничним умовам [22, 23], т/м^2

$$\begin{cases} [\sigma] \geq \sigma_3, \\ \sigma_3 = \gamma \cdot H, \end{cases}$$

де σ_3 – головні вертикальні напруження, т/м^2 ; γ – об'ємна маса гірських порід, т/м^3 ; H – глибина ведення гірничих робіт, м.

Згідно досліджень [9, 22] доведено, що руйнівний тиск, який виникає на контурі камери залежить від радіусу криволінійного оголення виробки, куту прикладеного навантаження та фізико-механічних властивостей гірських порід. За результатами досліджень [9] об'єм камери параболічної форми визначають з виразу, м^3

$$V = \pm 2 \cdot L \cdot a \cdot \int_0^b \left(2 \cdot \sqrt[3]{\frac{\sigma_3^2}{[\sigma_{st}]}} \right) \cdot \sqrt[4]{1 - \frac{x^2 dx}{4 \cdot \sigma_3 \cdot \sqrt[3]{\frac{\sigma_3^2 \cdot \cos \beta \cdot \text{tg } \rho}{[\sigma_{st}]^2}}}}^3, \quad (1)$$



де L – довжина очисної камери за простяганням, м; a – ширина очисної камери параболічної форми, м; β – кут зсуву гірських порід, град.; ρ – кут внутрішнього тертя гірських порід, град.; $[\sigma_{st}]$ – межа міцності порід на стискання, т/м².

Слід зауважити, що загальний тиск σ_3 , який входить в формулу (1) визначається як рівномірно-розподілене навантаження. При визначенні навантаження на очисну камеру (виймальний блок) слід враховувати вагу налягаючих порід в залежності від порядку та черги відпрацювання блоку в поверсі.

Перший – навантаження від порід приймається як рівномірно-розподілене, коли висота динамічного зводу більше висоти обвалених порід до земної поверхні. В цьому випадку на камеру діє повна вага налягаючих вище порід, яка визначається за формулою, т/м²

$$\sigma_3 = \gamma_b \cdot H \cdot K_l, \quad (2)$$

де γ_b – об'ємна вага обвалених порід, т/м³; K_l – коефіцієнт розрихлення вищележачих порід у зоні обвалення.

Другий – навантаження визначається вагою порід, ув'язнених у зводі нестійкої рівноваги, коли висота склепіння нестійкої рівноваги менша глибини розробки та виконується умова, м

$$h_v \ll H,$$

де h_v – висота динамічного зводу, м.

Відповідно до гіпотези склепіння [23], тиск на блок визначається вагою налягають порід, ув'язнених у зводі нестійкої рівноваги або динамічно-розвантаженого куполу (зводу), з якого частинки рухаються тільки під власною вагою. При великій прохідності частинок і малому куті внутрішнього тертя витікання відбувається дуже плавно, а під дією вертикальних сил звод руйнується, в зв'язку з чим спостерігаються пульсуючі поштовхи.

Швидкість випадіння або заміщення частинок в динамічному зводі визначається висотою еліпсоїду нестійкої рівноваги, площею поверхні динамічного зводу, внутрішнім тертям між поверхнями частинок, а крива динамічного зводу описується рівнянням [22]

$$y^2 = 2 \cdot p \cdot x,$$

де p – висота фігури склепіння (динамічного зводу), м; x – поточна координата по осі x-x.

Питоме навантаження на камеру від вміщуючих порід, ув'язнених у зводі нестійкої рівноваги, визначаємо за формулою [9], т/м²

$$\sigma_3 = \frac{\pi \cdot L \cdot \gamma_b}{8 \cdot f_r}, \quad (3)$$

де f_r – коефіцієнт внутрішнього тертя.

Вертикальний тиск завжди менше ніж горизонтальний, але на деяких рудниках, тиск може обернено змінюватись. Горизонтальний тиск визначається за формулою [23, 24], т/м²

$$\sigma_{1,2} = \frac{\mu}{1 - \mu} \cdot \sigma_3, \quad (4)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона.

Виконавши розрахунки за формулами (2), (3) та (4), побудовані залежності величини напружень від глибини розробки та фізичних властивостей порід, рис. 2.

З графіків приведених на рис. 2 видно, що при рівномірно-розподіленому навантаженні, зі збільшенням глибини розробки з 800 до 1600 м тиск збільшується з 1760 до 3520 т/м³, при цьому горизонтальний тиск зменшується з 828 до 1656 т/м³. У випадку, коли тиск від ваги склепіння нестійкої рівноваги тиск не залежить від глибини розробки та залишається постійним, при довжині за простяганням шахтного поля 1000 м, тиск дорівнює 1727 т/м³.

На рис. 3 приведені залежності зміни тиску в склепінні від довжини рудного покладу за простяганням.

З рис. 3 видно, що зі збільшенням довжини підробки рудного покладу з 600 до 1400 м, тиск в склепінні збільшується з 1036 до 2418 т/м³. Таким чином, зменшити тиск в блоці можливо шляхом зменшення довжини підробки рудного покладу, за рахунок залишення опорних ціликів або розподілу довжини покладу на окремі виймальні блоки.

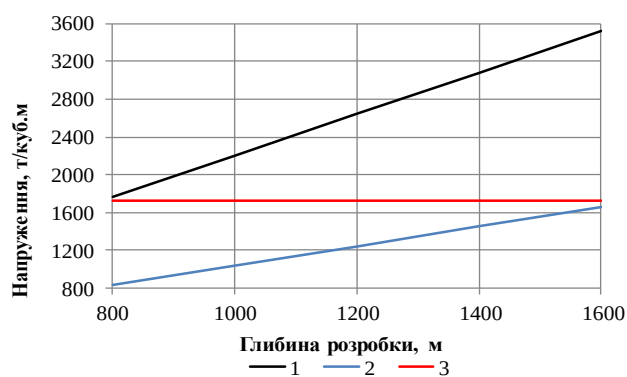


Рис. 2. Залежності величини напружень від глибини розробки та фізичних властивостей порід: 1 – рівномірно-розподілене вертикальне навантаження; 2 – горизонтальне навантаження; 3 – навантаження в склепінні

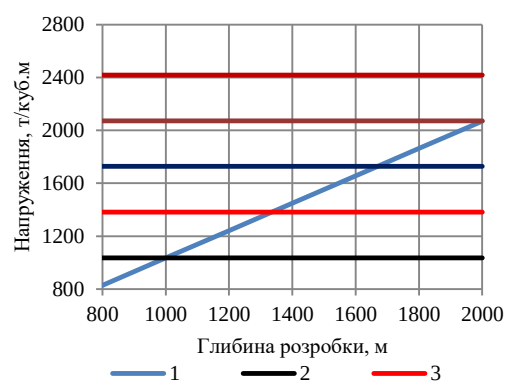


Рис. 3. Залежності величини напружень від глибини розробки та довжини за простяганням рудного покладу: 1 – горизонтальне навантаження; 2, 3, 4, 5 – навантаження у склепінні при довжині покладу відповідно 600, 800, 1000, 1200 та 1400 м

З метою підтвердження теоретичних досліджень були проведені лабораторні експерименти чисельним методом з використання кінцевих елементів. Для цього за допомогою програмного комплексу ANSYS були виконані дослідження розподілу еквівалентних напружень навколо очисних камер прямокутної та квазіпараболічної форм, рис. 4.

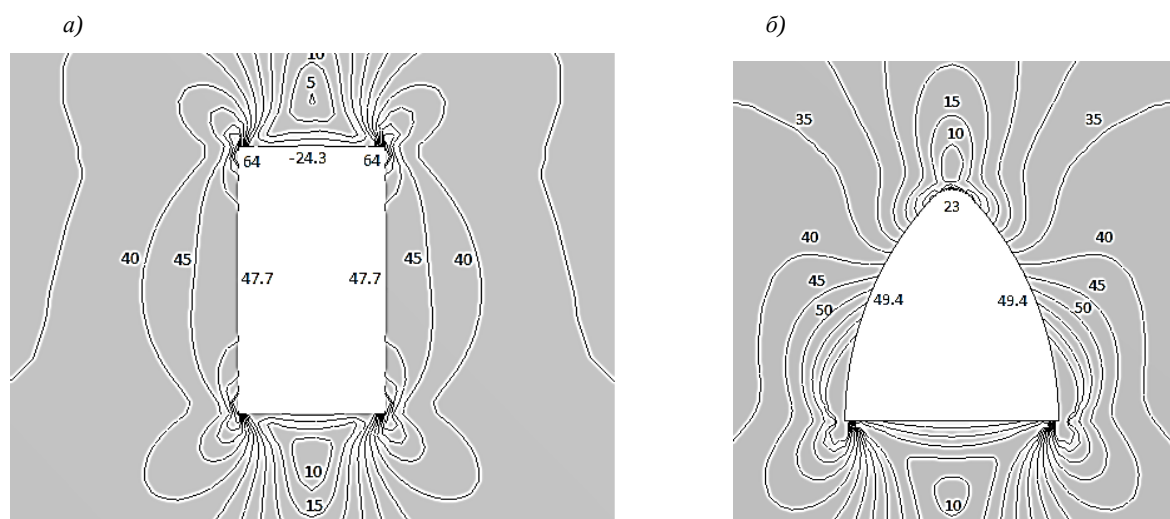


Рис. 4. Розподіл еквівалентних напружень навколо очисної камери: а – прямокутної форми; б – параболічної форми

Слід враховувати, що даний програмний комплекс розраховує еквівалентні напруження в масиві. Тому, за методикою [60] були визначенні стійкі параметри конструктивних елементів очисної камери (ширина, довжина, еквівалентний прогін оголення) за згідно гірничо-геологічним умовам шахти Тернівська публічного акціонерного товариства Криворізький залізрудний комбінат.

Вихідними даними для розрахунків були наступні: питома вага порід 2800 кг/м^3 ; межа міцності на стиснення 60 МПа ; межа міцності на розтягнення 9 МПа ; модуль Юнга 50000 МПа ; коефіцієнт Пуассона $0,23$; площа поперченого перетину камери 1970 м^2 ; глибина розробки 1200 м . Параметри для очисної камери прямокутної форми приймалися наступні: ширина 33 м , висота 60 м . Для камери параболічної форми: радіус вертикального оголення $77,5 \text{ м}$, горизонтального 5 м , ширина очисної камери 50 м а висота 60 м .

Аналізуючи розрахункові дані (рис. 4) встановлено, що на контурі очисної камери в середній частині діють стискаючі напруження які відрізняються не більше ніж на $3,45 \%$. Слід зауважити, що об'єм очисної камери параболічної форми був збільшений в $1,2$ рази у порівнянні з камерою прямокутної форми, при цьому, еквівалентні напруження з боків камери мають однакові значення.

Таким чином вважаємо, що зміна форми очисної камери надає їй додаткову стійкість, за рахунок зміни в верхній частині камери розтягуючих напружень на стискаючі.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Встановлено, що в нестійких породах на глибині 1350 м та довжини покладу за простяганням 600 м вертикальні напруження менші ніж горизонтальні на 370 т/м². В цьому випадку ширина очисної камери збільшується в залежності від співвідношення вертикального та горизонтального оголення збільшується з 1,08 до 1,55 разів при забезпеченні їй стійкості. Зі збільшенням довжини покладу за простяганням з 600 до 1400 м при радіусі вертикального оголення 90 м, ширину камери необхідно зменшити з 1,55 до 1,23 рази.

Список літератури

1. **Ступнік М.І.** Комбіновані способи подальшої розробки залізрудних родовищ Криворізького басейну / **М.І. Ступнік, С.В. Письменний** // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – 2012. – № 95(1). – С. 3-7.
2. **Колосов В.А.** Современное состояние и перспективы развития предприятий по добыче и переработке железорудного и флюсового сырья в Украине / **В.А. Колосов, В.П. Воловик, Н.И. Дядечкин** // Горный журнал. М.: МГУ. – 2000. – №6. – С. 162-168.
3. **Khomenko O.** Ecological and technological aspects of iron-ore underground mining / **O. Khomenko, M. Kononenko, I. Myronova** // Mining Of Mineral Deposits. – 2017. – Vol. 11, No 2. – P. 59-67.
4. **Ступнік Н.И.** Перспективные технологические варианты дальнейшей отработки железорудных месторождений системами с массовым обрушением руды / **Н.И. Ступнік, С.В. Письменний** // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – № 30. – С. 3-7.
5. **Ступнік Н.И.** Технология разработки рудных месторождений открыто-подземным способом / **Н.И. Ступнік, Б.Н. Андреев, С.В. Письменний** // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – № 33. – С. 3-8.
6. **Khomenko O.** Automation of drill and blast design / **O. Khomenko, D. Rudakov, M. Kononenko** // Technical And Geoinformational Systems In Mining. – 2011. – P. 271-275.
7. **Rymarchuk B.I.** Expediency of application of the vertical concentrated charges to decrease losses of ore on a lying wall of deposits / **B.I. Rymarchuk, O.L. Shepel, M.V. Khudyk** // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2017. – № 3. – P. 32-37.
8. **Ступнік Н.И.** Параметры этажно-камерной выемки железистых кварцитов с наклонными целиками / **Н.И. Ступнік, С.В. Письменний** // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – Кривий Ріг. – 2013. – № 96. – С. 3-7.
9. **Ступнік Н.И.** Исследование формы поперечного сечения подземных выработок при комбинированной отработке месторождений / **Н.И. Ступнік, Б.Н. Андреев, С.В. Письменний** // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – № 32. – С. 3-6.
10. **Щелканов В.А.** Анализ сложноструктурных залежей Кривбасса / **В.А. Щелканов, О.Я. Хивренко, В.О. Хивренко** // Разработка рудных месторождений: Научно-технический сборник. Кривой Рог: КТУ. – 2001. – Вып.75. – С. 30-35.
11. **Лавриненко В.Ф.** Уровень удароопасности пород на глубоких горизонтах шахт Кривбасса / **В.Ф. Лавриненко, В.И. Лысак** // Разраб.рудн. месторождений. Киев: Техника, КГРИ. – 1991. – Вып. 52. – С. 30–37.
12. **Herbert R., Nordström A.** Leachate generation and nitrogen release from small-scale rock dumps at the Kiruna iron ore mine. International mine water association conference. – 2017. – P. 140-146.
13. **Khomenko O.** Modeling of bearing massif condition during chamber mining of ore deposits / **O. Khomenko, M. Kononenko, M. Danylenko** // Mining Of Mineral Deposits. – 2016. – Vol. 10, No 2. – P. 40-47.
14. **Stupnik N.I.** Testing complex-structural magnetite quartzite deposits chamber system design theme / **N.I. Stupnik, V.A. Kalinichenko, V.A. Kolosov, S.V. Pismenniy, M.B. Fedko** // Metallurgical and mining industry. – 2014. – No 2. – P. 89-93.
15. **Khomenko O.** Analytical modeling of the back-fill massif deformations around the chamber with mining depth increase / **O. Khomenko, M. Kononenko, M. Petlovanyi** // New Developments In Mining Engineering 2015. – 2015. – P. 265-269.
16. **Khomenko O.** Classification of Theories about Rock Pressure. / **O. Khomenko, M. Kononenko, J. Bilegsaikhan** // Solid State Phenomena. 2018. – 2018. – Issue 277. – P. 157-167.
17. **Vladyko O.** Imitating modeling stability of mine workings / **O. Vladyko, M. Kononenko, O. Khomenko** // New techniques and technologies in mining. Netherlands: CRC Press Balkema. – 2012. – P. 147-150.
18. **Carusone O., Hudyma M.** Variations in apparent stress and energy index as indicators of stress and yielding around excavations. in M Hudyma & Y Potvin (eds), Proceedings of the First International Conference on Underground Mining Technology. Australian Centre for Geomechanics. Perth. – 2017. – P. 205-218.
19. **Kalinichenko V.** Selective underground mining of complex structured ore bodies of Kryvyi Rih Iron Ore Basin / **V. Kalinichenko, S. Pysmennyi, N. Shvahr, O. Kalinichenko** // E3S Web of Conferences, 60, art. no. 00041. 2018.
20. **Pysmennyi S.** Development of complexstructure ore deposits by means of chamber systems under conditions of the Kryvyi Rih iron ore field / **S. Pysmennyi, D. Brovko, N. Shwager, I. Kasatkina, D. Paraniuk, O. Serdiuk** // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2018. – Vol. 5, No 1 (95). – P. 33–45.
21. **Малахов Г.М.** Управление горным давлением при разработке рудных месторождений Криворожского бассейна // Киев: Наукова думка. – 1990. – 204 с.
22. **Письменний С.В.** Методика визначення активної зони склепоутворення на контурі підземно-транспортної

виробки при комбінованій розробці залізрудних родовищ / **С.В. Письменний** // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. Х.: НТУ "ХПІ". 2017. № 16 (1238). С. 99–106.

22. **Куликов В.В.** Выпуск руды // Москва: Недра. – 1980. – 303 с.

23. **Галаев Н.З.** Управление состоянием массива горных пород при подземной разработке рудных месторождений // Москва: Недра. – 1990. – 176 с.

24. **Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В.** Основы механики горных пород // Ленинград: Недра. – 1977. – 503 с.

25. **Hudyma M.R.** Geomechanics of Sill Pillar Mining / **Hudyma M.R., Potvin Y, Grant D.R., Milne D., Brummer R.K., Board M.** // Rock Mechanics Models and Measurements Challenges from Industry. Proceedings of the 1st North American Rock Mechanics Symposium / the university of Texas at Austin. A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield. 1994. P. 969–976.

Рукопис подано до редакції 22.03.2020

УДК 622.1:528.02

П.Й. ФЕДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф.,

О.В. ДОЛГІХ, Л.В. ДОЛГІХ, кандидати техн. наук, доценти

Криворізький національний університет

СИСТЕМИ ПРОГРАМ ДЛЯ ОПРАЦЮВАННЯ МАТЕРІАЛІВ ЗЙОМОК КАР'ЄРУ З БПЛА

Метою є дослідження актуального питання вибору ефективних програмних засобів для опрацювання знімків, отриманих камерою, встановленою на безпілотному літальному апараті.

Методи. Безпілотні літальні апарати широко впроваджуються на гірничодобувних підприємствах для вирішення різних задач за результатами цифрових повітряних зйомок. Доведено, що такий спосіб знімання дозволяє суттєво зменшити витрати на отримання необхідної маркшейдерської графічної документації, яка використовується різними службами підприємства для планування та контролю гірничих робіт, для визначення об'ємів гірських мас тощо. Останнім часом безпілотні літальні апарати використовують для дослідження небезпечних зон, виконуючи дистанційні спостереження за ними.

Наукова новизна. Для вирішення цих та інших задач важливо вірно вибрати камеру та програмне забезпечення до неї, так як саме від цього залежить точність вирішення тієї чи іншої задачі. Як цифрова камера, так і програмне забезпечення до неї, має певні характеристики, які впливають не тільки на якість отриманої цифрової моделі чи плану, а й на час вирішення задачі, зручність використання тощо. Саме з цією метою виконані дослідження різних програмних засобів до цифрових камер, що встановлюються на безпілотних літальних апаратах. Досліджено таке програмне забезпечення, як: RealityCapture BETA 1.0, 3DF Zephyr Aerial, Pix4d, Agisoft Metashape Professional, Autodesk ReCap. Досліджено роботу по опрацюванню знімків в різних програмних засобах з метою вибору найбільш ефективного.

Практична значимість. Встановлено, що кожна з програм має як переваги так і недоліки. Зроблений аналіз дозволив визначити час, необхідний на опрацювання знімків з опорними точками та без них. Досліджено можливості двопроцесорної графічної станції Lenovo P700 та різні налаштування програмних засобів з метою вибору оптимального режиму роботи програм.

Результати виконаних робіт необхідні для подальшого дослідження процесу аерознімання об'єктів гірничодобувних підприємств за допомогою безпілотних літальних апаратів з метою підвищення точності та оперативності цих робіт.

Ключові слова: цифрова камера, знімки, програмні засоби, процесор.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-93-99

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Останнім часом для виконання знімальних робіт на об'єктах гірничодобувних підприємств використовуються безпілотні літальні апарати (БПЛА), на яких встановлюються цифрові камери [1-5]. Знімальний процес здійснюється з суттєвими відмінностями від класичних фотограмметричних методів. В результаті такої зйомки отримані знімки опрацьовуються за допомогою спеціальних систем програм, які різняться між собою за своїми характеристиками, так як зйомки мають різне призначення і відповідно вимагають різної точності вирішення задачі [6]. Важливо вибрати найбільш доцільну у кожному окремому випадку.

Аналіз досліджень і публікацій. Для отримання за результатами знімання з БПЛА даних, придатних для вирішення задач маркшейдерського забезпечення гірничого виробництва, необхідно вірно вибрати не тільки сам літальний апарат, а й камеру та програмне забезпечення до неї. Так як вирішення кожної задачі вимагає певної точності та оперативності отримання результату, то важливо дослідити велику кількість, на сьогодні, БПЛА, камер, програм [7-9]. Багато наукових праць присвячено питанню отримання якісного зображення, перетворення отриманого зображення, що впливає на якість вирішення тієї чи іншої задачі [10-15].

Постановка задачі. Відомо, що на сьогоднішні потужні комп'ютери використовуються для різних комп'ютерних ігор, для яких важливо мати потужні процесори, відеокарти, високу швидкість та великий об'єм пам'яті. Створення комп'ютерних ігор є стимулом для виробників потужних комп'ютерів. Але потужні комп'ютери необхідні і для технічних наук, наприклад, у фотограмметрії при опрацюванні результатів знімання [16-17].

Метою роботи є аналіз та порівняння програм, які використовуються для опрацювання результатів фотограмметричних зйомок, їх можливість працювати з нестандартним апаратним забезпеченням, таким як двопроцесорна графічна станція Lenovo P700.

В експерименті були використані такі програми, як RealityCapture BETA 1.0, 3DF Zephyr Aerial, Pix4d, Agisoft Metashape Professional, Autodesk ReCap. Для опрацювання даних використовувалася графічна станція Lenovo P700 з наступними характеристиками: процесор - Intel Xeon CPU E5-4650 V3 (2 шт.); літографія 22 nm; кількість ядер 12 (загалом 24); кількість потоків 24 (загалом 48); базова тактова частота процесору 2,10 GHz; максимальна тактова частота з технологією Turbo Boost 2,80 GHz; кеш-пам'ять 30 MB (загалом 60MB); частота системної шини 9.6 GT/s. Наведені лише ті параметри, які істотно впливають на швидкість розрахунків. Отже з двох процесорів мали 24 ядра і 48 потоків.

Також слід зазначити, що процесори Intel Xeon V3 підтримують швидку регістрову пам'ять DDR4 з чотирма каналами. Це фактично означає, що з двома процесорами пам'ять буде працювати у 8-канальному режимі, але так як заповнені не всі слоти, то реальна пам'ять в даній конфігурації працює у шестиканальному режимі, що також є доволі потужно. Також важлива підтримка пам'яті ECC «довірчі розрахунки». На комп'ютері з процесором Intel core i7-4790k на сонеті 1150 деякі складні задачі не були вирішені, як ми вважаємо, через велику кількість помилок оперативної пам'яті. Тому перевагу слід віддати регістровій пам'яті. Швидкості на читання, запис, копіювання і латентність за результатами бенчмарку Aida64 наведені на рис. 1.

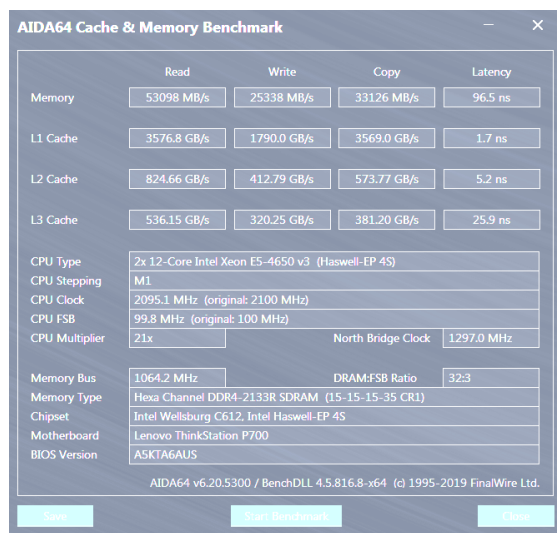


Рис 1. Швидкості на читання, запис, копіювання і латентність за результатами бенчмарку Aida64

Кількість оперативної пам'яті теж має значення, тому що іноді програма заповнює більше ніж 100 ГБ оперативної пам'яті і переносить розрахунки в файл підкачки, що в декілька разів уповільнює розрахунки. В даній конфігурації використовувалось 112 ГБ оперативної пам'яті, що для даного класу задач це не так багато, але за умови невеликого об'єму знімків достатньо. В даному випадку загальний об'єм знімків 1,77 ГБ, кількість знімків 211.

Завдяки включеній технології Hyper-Threading, станція має 48 потоків, тому сама по собі вона доволі потужна, але за умови, що програма зможе повністю завантажити всі 48 про-

грамні потоки. Від цього залежить швидкість виконання розрахунків.

Викладення матеріалу та результати. Програма Agisoft Metashape Professional має достатньо стандартних налаштувань у процесі вирівнювання: «дуже низька», «низька», «середня», «висока» і «дуже висока». В програмі є можливість використовувати при обчисленнях графічний процесор відеокарти. Використовуючи спільну роботу GPU і CPU можна час обробки скоротити в два-чотири рази, наприклад, для самої низької точності час обробки окремо CPU і сумісно GPU+CPU скорочується з 2 хв. 40 сек. до 1 хв. 25 сек. На низьких налаштуваннях різ-

ниця незначна, а при високих налаштуваннях економія часу суттєва, наприклад при самих високих налаштуваннях час без GPU і з CPU+GPU дорівнює відповідно 403 сек. і 2027 сек. При подальших розрахунках функція сумісної обробки GPU і CPU ввімкнена.

Час, необхідний для обчислень даних без опорних точок та з опорними точками, суттєво різниться, в табл. 1 ці величини наведені окремо.

Agisoft розділяє перший етап опрацювання зображень на чотири: пошук точок, вибір пар, пошук відповідностей та визначення позицій зйомки. Перший етап в першу чергу спирається на можливості GPU, а три останні етапи – на потужність CPU.

На етапі створення хмари точок програма здійснює вибір якості побудови: «дуже низька», «низька», «середня», «висока» і «дуже висока».

Таблиця 1

Час необхідний на першому етапі опрацювання знімків при різних налаштуваннях

	Режим роботи	При налаштуванні, «дуже низька», сек.	При налаштуванні, «низька», сек.	При налаштуванні, «середня», сек.	При налаштуванні, «висока», сек.	При налаштуванні, «дуже висока», сек.
Без опорних точок	CPU+GPU	85	110	185	245	403
	Без GPU	160	224	360	652	2027
З опорними точками	CPU+GPU	100	113	170	247	370
	Без GPU	Не тестувалось	Не тестувалось	Не тестувалось	Не тестувалось	Не тестувалось

Таблиця 2

Час необхідний на етапі створення «хмари» точок при різних налаштуваннях

	При налаштуванні, «дуже низька», сек.	При налаштуванні, «низька», сек.	При налаштуванні, «середня», сек.	При налаштуванні, «висока», сек.	При налаштуванні, «дуже висока», сек.
Без опорних точок	100	230	590	2849	Не тестувалось
З опорними точками	190	323	720	2902	12960

З налаштуванням «дуже висока» отримано модель з високою деталістю (рис.2). Відстань між точками 3D-моделі становить від 5 см до 4 мм. Висока деталість дозволяє розпізнати брівку укусу крізь суцільну залісеність, яку складно ідентифікувати при стереоспостереженні за допомогою стереосистеми.

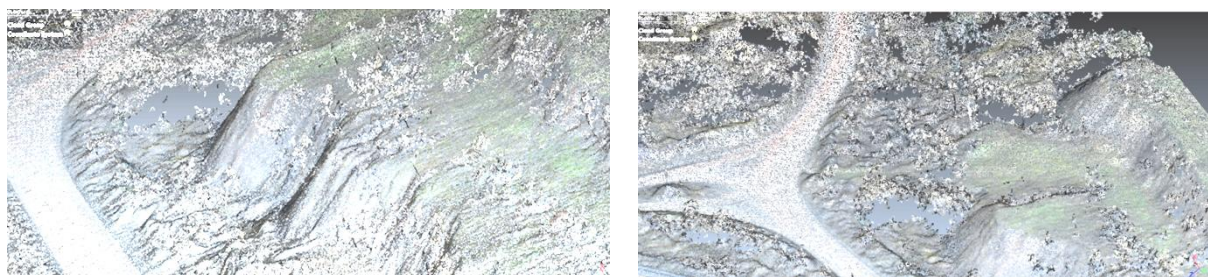


Рис. 2. Детальність цифрової моделі, створеної системою Agisoft Metashape Professional

Слід відзначити достатньо точну прив'язку навіть без опорних точок, так як програма зчитує не тільки GPS-теги, а й кутові елементи орієнтування.

Дослідження показали, що в процесі пошуку точок, процесор завантажений недостатньо, але та як дана операція виконується із GPU, то швидкість обчислень більше залежить від потужності відеокарти. У процесі визначення положення точки знімання, навантаження на процесор суттєво зростає, паралельно зростає і швидкість опрацювання.

Потужним програмним засобом обробки фотограмметричних даних є 3DF Zephyr Aerial. При середніх стандартних налаштуваннях можна отримати якісну цифрову але згладжену і дещо генералізовану модель. Опрацювання даних не супроводжувалась екстремальним навантаженням на процесор чи пам'ять. 3DF Zephyr Aerial завантажував процесор на 75%-100% і

добре працює з багатопотоковістю. Задача завершилась за 4 години 17 хвилин, але за час обробки додатково було створено текстури, які зайняли багато часу.

Так як отримана цифрова модель доволі згладжена, то на ній відсутні дрібні деталі. В 3D навіть не можна розпізнати стовпи. На деяких ділянках спостерігаються відхилення у вигляді нереальних форм рельєфу.

Опрацювання в режимі High Details суттєво не вплинуло на результат, але знадобилося значно більше часу. Недоліком є те, що програмою автоматично не зчитуються зі знімків кутові елементи орієнтування, в результаті чого будується модель, «перекручена» по осях умовної системи координат, хоча в налаштуваннях встановлюється WGS84 та СК42 за вихідну. Отже опрацювання знімків без опорних точок неможлива.

Система 3DF Zephyr Aerial не ефективно використовує апаратні можливості, то завантажує процесор до 100%, то здійснює зчитування інформації в оперативну пам'ять.

Найбільш ефективно програма використовує апаратні можливості при виконанні операції Calculating regions і Computing photoconsistency.

За допомогою системи програм RealityCapture було отримано 4 моделі за різною кількістю знімків (115, 2, 2, 5). Програма не змогла зв'язати ці моделі між собою. 86 знімків, які були отримані при повній хмарності, програма, як і очікувалось, не вирівняла. Попередній процес вирівнювання Alignment Draft зайняв 41 сек., а повний процес вирівнювання зайняв 1 хв. 40 сек. При цьому всі ядра процесорів були завантажені по всіх протоколах майже на 100%. Загальний об'єм використаної пам'яті склав 3,9 ГБ.

Отримання 3D-моделі у вигляді хмари точок середньої детальності спочатку виконувалося не так швидко через неповне завантаження процесора (від 3% до 17%). Після повного завантаження проекту в пам'ять, апаратні ресурси почали використовуватись більш раціонально: завантаження процесорів складало 90%-100%; виділення оперативної пам'яті під операцію максимально 26 ГБ. Задача виконана за 24 хвилини. Наступний процес розфарбування цифрової моделі (Colorise) зайняв приблизно одну хвилину. На побудову цифрової моделі високої щільності було витрачено 1 годину і 39 хвилин.

Отже, для побудови моделі нормальної (середньої) щільності витрачено 26-27 хвилин, а для побудови моделі високої щільності з фарбуванням – 1 година і 52 хвилини (рис. 3, 4).

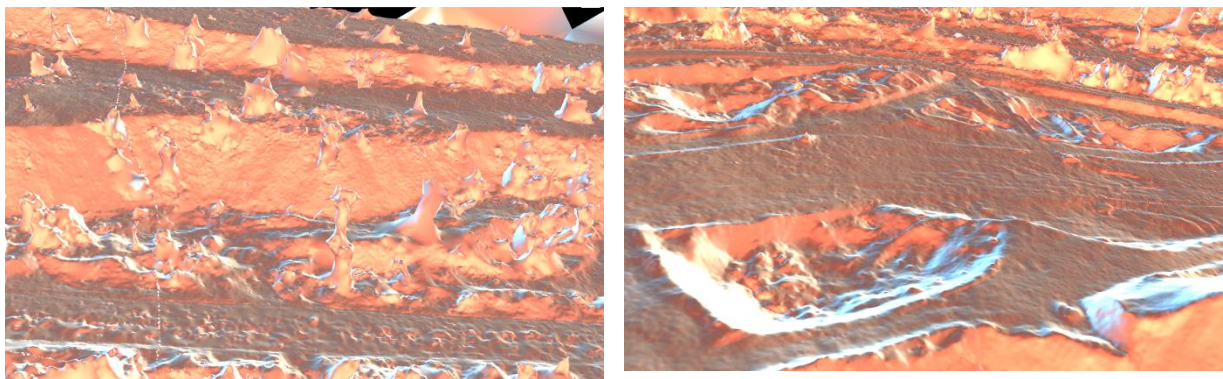


Рис. 3. Артефакти на цифровій моделі низької роздільної здатності

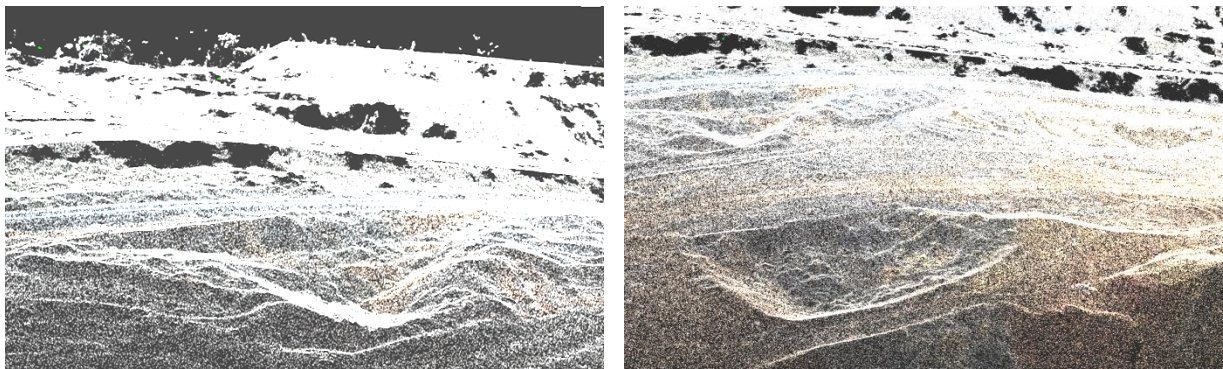


Рис. 4. Кольорова цифрова модель високої роздільної здатності в системі RealityCapture

RealityCapture дає можливість встановлювати кількість та щільність точок, але для досліджуваного об'єкту установки не змінювались, так як якість отриманих моделей задовільна. RealityCapture має недолік (перекручування координатних осей при реконструкції моделі без опорних точок), який, можливо, може виправлятися, але для досліджуваного об'єкта це не вдалося. В результаті отримана модель високої детальності, але не орієнтована в просторі. На відміну від програми Agisoft Metashape Professional програма RealityCapture не дає можливості якісно «посадити» цифрову модель на ділянку без опорних точок. Включення в розрахунок GPS-тегів також суттєво не покращило ситуацію.

Pix4d позиціонується, як базова програма для обробки даних з дрону. При роботі з цією програмою, нею були зчитані всі теги з файлу, навіть точність rtk-режиму. В програмі відсутні роз'яснення щодо використання різних елементів орієнтування: «курс, тангаж, крен»; «поздовжній кут нахилу, поперечний кут нахилу, кут розвороту». Тому при створенні моделі без опорних точок, вона не буде прив'язаною до місцевості.

На початковому етапі Pix4d, як і 3DF Zephyr Aerial, програма завантажила космічні знімки з GoogleMaps, що є зручною функцією. Pix4d на середніх налаштуваннях побудувала модель за 45 хвилин. В результаті отримана детальна, але засмічена 3D-поверхня. На ній достатньо чітко розпізнаються стовпи, дроти ліній електропередач, але їх розміри спотворені в 2-3 рази (рис. 5).



Рис. 5. Стовпи і дроти на цифровій моделі побудованій системою Pix4d

Завантаження ЦП коливаються від 96% до 100% від максимального, при середньому значенні 99,88%. Pix4d використовує всю апаратну потужність при Generating points.

Систему Autodesk ReCap не можна порівнювати з іншими, тому що вона розрахунки цифрової моделі, орієнтування знімків, створення поверхні тощо виконує на серверах Autodesk, тому для роботи з програмою не потрібні потужні апаратні засоби, а лише потужна мережа Інтернет. Результати зйомки опрацювати не вдалося. Після завантаження і 24-годинного очікування, операція зупинилась на останньому п'ятому етапі обробки і видала помилку. Через це, порівняти її результати з отриманими за допомогою інших програм, не вдалося (рис. 6).

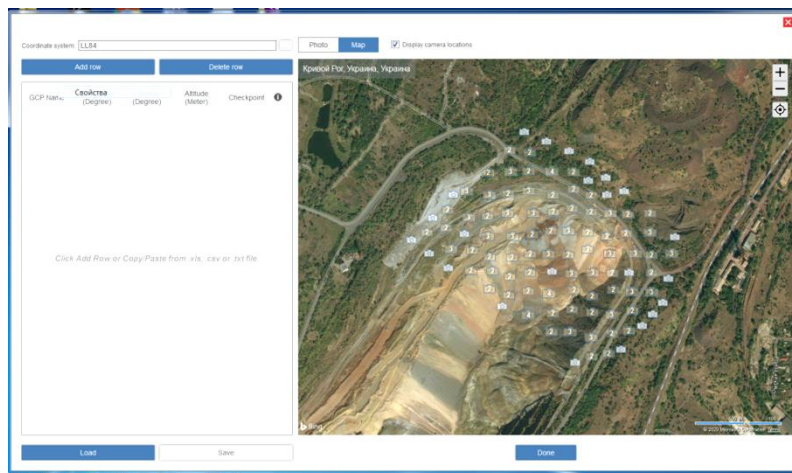


Рис. 6. Графічний інтерфейс Autodesk ReCap

Висновки та напрямки подальших досліджень. На основі досліджень програмних систем отримано наступні результати:

за якістю отриманих результатів Agisoft Metashape Professional має перевагу перед іншими програмами, Agisoft Metashape Professional змогла розпізнати всі теги зображення (окрім точності) і дозволила оперативно їх змінити на потрібні, в результаті отримана високодетальна цифрова модель з прив'язкою до місцевості;

найбільш зручна і інтуїтивна зрозумілість інтерфейсу у Pix4d, де всі налаштування прості і знаходяться у межах досяжності;

за можливістю роботи з багатопроцесорними системами краще зарекомендувала себе RealityCapture;

за ціною на програмне забезпечення вигідною є Agisoft Metashape Professional, яка коштує найдешевше 3499 дол.

Всі програмні продукти мають демоверсії, які і були використані в дослідженні. Значна ціна на фотограмметричні системи дещо згладжується тим, що кожен продукт можна взяти в оренду строком від тижня до трьох місяців.

Список літератури

1. Долгіх О.В., Долгіх Л.В., Балязіна С. А., Майборода Ю. І. Використання БПЛА для удосконалення методики контролю за станом лінійних споруд. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток промисловості та суспільства» – 2018 р. – Кривий Ріг: КНУ, 2018 р. С. 97
2. Долгіх О.В., Долгіх Л.В., Іванович Л.Г., Овсейчик І.В. Про доцільність використання сучасних літальних апаратів для зйомок кар'єрів. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток промисловості та суспільства» – 2019 р. – Кривий Ріг: КНУ, 2019 р. С. 65
3. Хлебникова Т.А., Оприцова О.А. Экспериментальные исследования современных программных продуктов для моделирования геопространства по материалам БПЛА. Вестник СГУГиТ, том 22, № 1, 2017, С. 119-131
4. Архипов П.О., Сидоркин И.И., Цуканов М.О. Алгоритмическая модель технологии минимизации искажений при сшивании снимков, полученных с БПЛА. М.: Радиотехника Системы высокой доступности, т. 14, №5, 2018 г
5. Carvajal, F. Surveying a landslide in a road embankment using unmanned aerial vehicle photogrammetry / F. Carvajal, F. Agüera, M. Pérez // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - 2011. - № XXXVIII-1/C22. - pp. 201-206.
6. Dolgikh A.V., Dolgikh L.V. Definition of the ground surface deformations and constructions in the rock breakage zone. Traditions and innovations of resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Petrosani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2019, 300-309
7. Долгіх О.В. Використання можливостей сучасних приладів при дослідженнях зсувів на територіях гірничодобувних підприємств. Сборник научных трудов «Качество минерального сырья». Кривой Рог, 2018: Издательский центр ГБУЗ «КНУ» – С. 323-331.
8. V.O. Kalinichenko, O.V. Dolgikh, L.V. Dolgikh, Digital survey in studying open pit wall deformations. E3S Web of Conferences 123, art. no. 01047 (2019). [doi:org/10.1051/e3sconf/201912301047](https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301047)
9. Кузнецова И. А., Тюлегенова А. В. Использование данных дистанционного зондирования Земли для создания цифровых топографических планов на карьерах. Горный журнал Казахстана, 2012. № 6. С. 21-23
10. Пушин А.В. Оценка стабильности спектральной чувствительности цифровых цветных фотоаппаратов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 3. С. 363-368.
11. Fanlu Wu, Hong Wei, and Xiangjun Wang. Correction of image radial distortion based on division model. Opt. Eng. 56 (1). 013108, 2017.
12. Кунина, И.А. Слепая компенсация радиальной дисторсии на одиночном изображении с использованием быстрого преобразования Хафа / И.А. Кунина, С.А. Гладилин, Д.П. Николаев // Компьютерная оптика. - 2016. - Т. 40, № 3. - С. 395-403. - Б01: 10.18287/24126179-2016-40-3-395-403.
13. Peterman, V. Landslide activity monitoring with help of unmanned aerial vehicle / V. Peterman // The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. - 2015. - Volume XL-1/W4. - pp. 215-218.
14. Potential analysis of image based methods for deformation monitoring, with special regard on the comparison of different image processing software: report / Beregovoi D. - Leoben: Montanuniversität Leoben department of mineral resources engineering, 2015. - 32 p.
15. Visual 3d modeling from images-tutorial notes: technical report / Pollefeys, M. - Chapel Hill: University of North Carolina. - pp. 55-65. - Режим доступа: <http://www.cs.unc.edu/~marc/tutorial.pdf> (дата обращения: 05.05.2019)
16. Кузнецова И. А., Тюлегенова А. В. Использование данных дистанционного зондирования Земли для создания цифровых топографических планов на карьерах. Горный журнал Казахстана, 2012. № 6. С. 21-23
17. Гонзалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.

Рукопис подано до редакції 19.03.2020

УДК 550.832.9

В. С. МОРКУН, Н. В. МОРКУН, доктори техн. наук, професори,
В. В. ТРОНЬ, канд. техн. наук, доц., А. А. ГАПОНЕНКО,
І. А. ГАПОНЕНКО, наукові співробітники, Криворізький національний університет
Д. І. ПАРАНЮК, інж., ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ПОШИРЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ В ГІРСЬКІЙ ПОРОДІ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ АКУСТИЧНОГО КАРОТАЖУ БУРОВИХ СВЕРДЛОВИН

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

Методи дослідження. У роботі використано такі методи: аналіз вітчизняного і закордонного досвіду; методи математичної статистики і теорії імовірності для оброблення результатів експериментів; методи аналітичного конструювання і комп'ютерного моделювання; методи чисельного моделювання для синтезу і аналізу математичної моделі.

Наукова новизна полягає у розробленні методу визначення фізико-механічних і хіміко-мінералогічних характеристик гірської породи на основі значень швидкості поширення поздовжніх і поперечних хвиль, коефіцієнту загасання ультразвуку на основній частоті та першій гармоніці, а також співвідношення цих параметрів.

Практичне значення полягає у розробленні ультразвукового вимірювального каналу, що складається з генератора та приймача ультразвукового сигналу, підсилювачів у вхідному та вихідному каналах, осцилографа та комп'ютера. Для збудження і прийому ультразвукових коливань у стінці пробуреної свердловини пропонується використовувати електромагнітний акустичний перетворювач. Сигнал, що генерується за допомогою цифрового осцилографа, посилюється з використанням підсилювача перед подачею до генератора. Приймач також підключений до цифрового осцилографа через спеціально розроблений підсилювач.

Результати. Для визначення фізико-механічних та хіміко-мінералогічних характеристик гірських порід як оціночні параметри було використано такі параметри: швидкість поширення поздовжніх і поперечних ультразвукових хвиль на частоті 2,5 МГц, коефіцієнт загасання ультразвуку на частоті 100 кГц та 2,5 МГц на основній частоті та першій гармоніці, а також співвідношення цих параметрів. Запропонований спосіб ідентифікації основних різновидів гірських порід характеризується точністю 87 %. Для досягнення більш високої якості ідентифікації геолого-мінералогічної структури досліджуваного середовища доцільно застосувати додатково магнітометричні та ядерно-фізичні вимірювання.

Ключові слова: ультразвукові хвилі, акустичний каротаж, мінерало-технологічні різновиди руди, електромагнітний акустичний канал.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-99-106

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Визначення геолого-мінералогічної структури рудних родовищ є однією із головних задач початкового етапу видобутку та переробки сировини для металургійного виробництва. Одним із найбільш поширених методів вирішення цієї задачі є буріння розвідувальних свердловин із подальшим дослідженням хіміко-мінералогічних та фізико-механічних характеристик гірської породи через яку вони проходять. Ця інформація може бути отримана шляхом дослідження безпосередньо керна, які достають із свердловини або методом каротажу, тобто за допомогою геофізичних вимірювань: ядернофізичних, магнітометричних, акустичних тощо. Зазначені вимірювання виконуються із використанням спеціальних зондів, які опускаються у свердловину і мають контакт із її стінками. Кожний із згаданих методів вимірювань надає можливість визначити як правило неоднозначну залежність відповідних параметрів від характеристик гірської породи.

Аналіз досліджень та публікацій. Промислові контури корисних копалин, представлених мінерало-технологічними різновидами, визначають за допомогою буріння розвідувальних свердловин з подальшим дослідженням шламу або керна, випробуванням шламу вибухових свердловин, бороздовим випробуванням або випробуванням за допомогою різних геофізичних засобів [1–4].

Використання механічної швидкості буріння як динамічного показника, що характеризує властивості породи, запропоновано у [5]. Проте в умовах складної геологічної структури залізничних родовищ потрібен аналіз більшої кількості показників, що підтверджується результатами, одержаними у [6–7]. Зокрема, у [6] запропоновано визначати тип породи в процесі буріння

ня за двома показниками: механічна швидкість буріння і крутний момент. Водночас досягнення необхідної точності розпізнавання різновидів породи можливо лише в умовах бінарної геологічної структури.

Для моніторингу процесу буріння у роботі [8] використані такі параметри: горизонтальні і вертикальні вібрації, осьовий тиск, крутний момент, швидкість буріння, швидкість обертання тощо. Водночас, у переліку контрольованих параметрів наявні лише параметри бурової установки і не здійснюється пряме або непряме вимірювання характеристик породи, що буриться. Аналогічний підхід використано у роботі [9] для розпізнавання геологічної структури з наявністю трьох різновидів породи. Проте, розпізнавання різновидів породи головним чином здійснювалося за одним показником і за параметрами бурильної установки без вимірювання характеристик власне породи.

До недоліків розглянутих способів випробування варто віднести такі: зниження вірогідності інформації через поділ операцій відбору і аналізу проб, велика трудомісткість і відсутність оперативності. Найбільш ефективним вирішенням проблеми є каротаж - повний запис інформації, зібраної під час буріння свердловини за допомогою геофізичних досліджень. Така інформація дозволяє побудувати повну картину геологічного розрізу, пройденого даної свердловиною. Отже, для ідентифікації геолого-мінералогічної структури гірського масиву потрібен комплекс вимірювань із подальшою математичною обробкою отриманих результатів.

Як показано у роботах [10,11] перспективним методом геофізичних досліджень бурових свердловин є акустичний (ультразвуковий) каротаж. Він дозволяє за допомогою вимірювань параметрів процесу розповсюдження ультразвукових хвиль в гірській породі з достатньо високою точністю визначати її фізико-механічні і хіміко-мінералогічні характеристики. Для формування ультразвукового вимірювального каналу пропонується використовувати електромагнітні акустичні перетворювачі, що дозволяє формувати та приймати ультразвукові хвилі без безпосереднього контакту з досліджуваною структурою.

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

Викладення матеріалу та результати. *Залежність швидкості розповсюдження ультразвукових хвиль від характеристик гірської породи.* У гірських породах швидкості поширення пружних хвиль змінюються в широкому діапазоні і залежать від фізичних властивостей, структури, текстури, стану та інших внутрішніх і зовнішніх факторів. У роботах [10–14] показано, що швидкість поширення поздовжніх пружних хвиль C_p в скельних породах змінюється в основному у інтервалі 1500-7000 м/с, поперечних хвиль C_s – 800-5000 м/с. Співвідношення швидкостей поширення поздовжніх і поперечних пружних хвиль у магматичних і метаморфічних порід зазвичай $C_p/C_s=1,7-1,9$. У разі повного водонасичення порід відношення C_p/C_s збільшується. У осадових порід C_p/C_s варіюється у інтервалі від 1,5 до 2,0 і більше. Зі збільшенням глибини залягання осадових порід діапазон варіювання співвідношення C_p/C_s різко звужується. У табл. 1 наведені найбільш ймовірні значення швидкостей поширення пружних хвиль в різних гірських породах [10].

Швидкості поширення пружних хвиль в породах помітно змінюються в залежності від мінерального складу, густини, пористості, зернистості і інших параметрів. Їх значення збільшуються від кислих різниць інтрузивних порід до основних і ультраосновних. У вивержених порід помітно зменшення значень швидкостей поширення пружних хвиль із збільшенням вмісту SiO_2 . У породах основного складу швидкості поздовжніх хвиль в інтрузивних різницях в середньому на 20% вище, ніж в ефузивних. З підвищенням кислотності ця різниця зменшується. У швидкостей поширення поперечних хвиль такий зв'язок не спостерігається [10]. Значення швидкостей поширення поздовжніх і поперечних пружних хвиль для магматичних і метаморфічних порід лінійно пов'язані з густиною. Для осадових порід такі закономірності не встановлені. Значення швидкостей пружних хвиль змінюються в зв'язку з нестриманістю структурно-текстурних характеристик порід в різних місцях відбору проб для випробувань. Так, коефіцієнт варіації швидкостей поздовжніх хвиль у порід, взятих з одного родовища, складає: у глин до 40%, у вапняків і доломіту до 25%. Розподіл значень швидкостей пружних хвиль у більшості магматичних і метаморфічних порід підпорядковується нормальному закону [10,11].

Швидкості поширення пружних хвиль в гірських породах

Породи	Густина	Швидкість поширення пружних хвиль, м/с		C_p/C_s
		поздовжніх	поперечних	
Дуніти	3,02	6370	3140	1,87
Перідотіти	3,05	6520	3610	1,82
Піроксеніти	3,28	7200	4160	1,72
Габро	2,99	6410	3590	1,80
Базальти	2,81	5360	3160	1,72
Діабази	2,95	5910	3440	1,77
Діорити	2,84	5390	3320	1,82
Сисніти	2,74	5180	2810	1,87
Граніти	2,72	5460	3170	1,71
Пегматити	2,63	4120	2600	1,78
Гнейси	2,77	5870	3100	1,77
Кварцити	2,8-2,9	4600-6000	2630-3810	1,75
Мармури	2,7	5400	3000	1,8
Пісковики	2,49-2,56	2290-3160	2290-3160	1,67-1,77
Доломіти	2,6-2,79	3600-4930	2190-3220	1,55-1,7
Вапняки	2,6-2,68	3110-4630	2330-3010	1,66-1,88
Вугілля	1,44	1500-1800	810	1,9

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

Коефіцієнт загасання збільшується зі зростанням частоти. Однак чітко вираженою однозначною функціональною залежністю загасання від частоти для порід не встановлено. Наприклад, у гранітів в інтервалі частот від 10 до 1000 кГц найкраща апроксимація спостерігається при описі частотної залежності квадратичною функцією $\alpha = mf^2$, де m - коефіцієнт пропорційності. У габро-діабазів, кварцитів, граніто-гнейсів, піщаників, сланців і інших порід частотна залежність в інтервалі від 500 до 5000 кГц підкоряється закону $\alpha = A_1 f + A_2 f^2$. Така залежність спостерігається як для поздовжніх, так і для поперечних хвиль [10,11].

Можна вважати, що декремент загасання, що дорівнює добутку коефіцієнта загасання на довжину хвилі ($\alpha\lambda$), у кожному типі вивержених і осадових порід не залежить від частоти. Вплив міжзеренних границь на коефіцієнт загасання виявляється у тому, що коефіцієнт загасання у монокристалі принаймні на порядок менше, ніж у породі, що складається з даного мінералу. При цьому чим дрібніше зерна породи, тим більше позначається фактор розсіювання. Вплив факторів пористості, тріщинуватості і недосконалості контактів між зернами мінералів в породі проявляється при впливі на неї тиску. Дослідження на гірських породах показують, що коефіцієнт загасання пружних хвиль зі збільшенням тиску зменшується. Це пов'язано з ущільненням зв'язків між мінералами. Розмір зерна в породі (d) визначає граничну частоту, при якій дотримується квадратичний закон розсіювання ($\alpha_p = A_2 f^2$). У граніті ($d=2,5 \text{ мм}$) гранична частота за експериментальними даними становить 2 МГц; у габро-діабазі ($d=1 \text{ мм}$) – 6 МГц; у пісковикі ($d=1,2 \text{ мм}$) – 3,5 МГц [10].

У кристалічних порід коефіцієнт загасання поперечних хвиль зазвичай дорівнює коефіцієнту загасання поздовжніх хвиль або приблизно в 1,5-2 рази перевищує його. У вологих глин і водонасичених пісків спостерігається значна різниця в коефіцієнтах загасання поперечних і поздовжніх хвиль (до 5 і більше) [10,11]. Слід зазначити, що у випадку коли швидкості поширення пружних хвиль у багатьох міцних монолітних породах змінюються на 40-60% – їх коефіцієнти загасання змінюються у 2-4 рази. Отже, що коефіцієнт загасання пружних хвиль є більш чутливим параметром для якісної характеристики гірських порід, ніж швидкість ультразвуку.

Згідно з механікою пружних хвиль, ультразвукові хвилі викликають невеликі деформації розтягування і стиснення у середовищі, а тертя між утвореними частками відбувається під час деформації стиснення [15]. Область контакту між поверхнями тріщин і частками складається з

деяких нерівностей, які знаходяться в безпосередній близькості одна від одної. Енергія, що розсіюється у кожній нерівності, може бути записана виразом [16]

$$W_f = a\tau_f\sigma, \quad (1)$$

де τ_f - напруга зсуву на початковій поверхні тріщини, викликана ультразвуком, σ - стиснення. Напруга a є довжиною контакту між нерівностями тріщини, і може бути визначена як

$$a = 2 \times (3\pi/4 \times RC\delta)^{1/3}, \quad (2)$$

де $R=R_1R_2/(R_1+R_2)$, δ - ковзне зміщення, C - матеріальна стала, яка може бути записана як:

$$C = [1-V_1^2/\pi E_1 + 1 - V_2^2/\pi E_2], \quad (3)$$

де V_i і E_i – коефіцієнти Пуассона і модулі Юнга відповідно.

Величина τ_f визначається наступним виразом

$$\tau_f = 1/2 \times \mu\delta (1-\cos 2\theta), \quad (4)$$

де μ є коефіцієнтом тертя, а μ є кут між тріщиною і напрямком напруги, створюваного ультразвуком.

Грунтуючись на рівняннях (1)-(3), можна зробити висновок, що більша амплітуда деформації, викликана пружними коливаннями, призводить до збільшення величини розсіюваної енергії у середовищі і збільшення коефіцієнта загасання.

Оцінка частотної залежності коефіцієнта загасання ультразвуку у гірській породі. Частотна залежність коефіцієнта загасання ультразвуку від характеристик гірської породи дозволяє використовувати цей параметр для ідентифікації її геолого-мінералогічної структури. Як показано у роботах [17,18] поглинання і розсіювання ультразвуку на частках середовища залежить від довжини хвилі акустичних коливань. На малих частотах поглинання ультразвуку переважає над розсіюванням, тому на цих частотах поле випромінювання формується, в основному, нерозсіяними акустичними коливаннями. Але навіть на високих частотах існують області, де нерозсіяне випромінювання переважає над розсіяним. Це має місце на малих відстанях від джерела випромінювання. В іншому випадку внесок розсіяного випромінювання стає істотним. Зі збільшенням частоти різко зростає перетин розсіювання ультразвукових хвиль на твердих частинках. У цьому випадку поле випромінювання формується як нерозсіяними, так і розсіяними хвилями. Коректний розрахунок поля випромінювання розсіяних хвиль є складним завданням. Інтенсивність одноразово розсіяних хвиль можна знайти з рівняння [17,18]

$$I_{\lambda}^s(\vec{r}, \vec{\Omega}) = \int d\vec{r}' \int d\vec{\Omega}' \sum_s (\vec{\Omega}' \rightarrow \vec{\Omega}) \frac{e^{-\tau(\vec{r}', \vec{r}, \lambda)}}{(\vec{r} - \vec{r}') \cdot \left(\vec{\Omega} - \frac{\vec{r} - \vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \right)} I_{\lambda}^o(\vec{r}', \vec{\Omega}'). \quad (5)$$

При цьому інтегральна інтенсивність одноразово розсіяних хвиль визначається виразом

$$I_{\lambda}^s(\vec{r}) = \int_{4\pi} d\Omega(\vec{r}, \vec{\Omega}). \quad (6)$$

Підставляючи в (6) у праву частину виразу (5) і проводячи інтегрування, отримаємо

$$I_{\lambda}^s(\vec{r}) = \int d\vec{r}' \int d\vec{\Omega}' \sum_s \left(\vec{\Omega}' \rightarrow \frac{(\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \right) \frac{e^{-\tau(\vec{r}', \vec{r}, \lambda)}}{(\vec{r} - \vec{r}') \cdot \left(\frac{(\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \right)} \cdot I_{\lambda}^o(\vec{r}', \vec{\Omega}'). \quad (7)$$

Оцінимо цю величину в точці A на вісі ультразвукового пучка (рис. 1).

Запишемо (7) у циліндричній системі координат

$$I_{\lambda}^s(Z) = 2\pi \int_0^Z dZ' \int_0^a d\rho' \cdot \rho' I_{o,\lambda} e^{-\Sigma Z'} \sum_s (\mu) \frac{e^{-\Sigma \xi}}{\xi^2}, \quad (8)$$

де $\xi = |\vec{r} - \vec{r}'| = \sqrt{(Z - Z')^2 + \rho^2}$; $\mu = \vec{k} \cdot \frac{(\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|}$; $\vec{k}$ – одиничний вектор, спрямований уздовж осі Z .

Для обчислення (10) виконаємо ряд припущень. По-перше, розглянемо випадок, коли $Z \gg a$, тоді $\xi \approx Z - Z'$. По-друге, припустимо, що розсіювання на частинках є ізотропним, тоді

$$\sum_s (\vec{\Omega} \rightarrow \vec{\Omega}') = \frac{n\sigma_s}{4\pi}, \quad (9)$$

де σ_s – повний переріз розсіювання. З урахуванням цих наближень, виконавши інтегрування у (8), одержимо

$$I_{\lambda}^S(Z) = \frac{n\sigma_s}{4} e^{-\Sigma(\lambda)Z} I_{\lambda}^{\circ} \left\{ Z \ln\left(1 + \frac{a^2}{Z^2}\right) + 2a \cdot \arctg \frac{Z}{a} \right\}. \quad (10)$$

Введемо величину β_v

$$\beta_v = \frac{I_{\lambda}^{\circ}(Z) + I_{\lambda}^S(Z)}{I_{\lambda}^{\circ} Z} = 1 + \frac{I_{\lambda}^S(Z)}{I_{\lambda}^{\circ}(Z)} \quad (11)$$

і знайдемо її асимптотичне значення за умови, що $Z \gg a$

$$\beta_v = 1 + \frac{n\delta_s}{4} \left\{ Z \ln\left(1 + \frac{a^2}{Z^2}\right) + 2a \cdot \arctg \frac{Z}{a} \right\} \approx 1 + \frac{n\delta_s \pi a}{4}. \quad (12)$$

Величина β_v залежить не тільки від радіуса дискового джерела a , але і від частоти ультразвукових хвиль. Сенс цієї величини полягає у наступному: $\beta_v - 1$ показує сумірність вкладів розсіяного і нерозсіяного випромінювання. Назвемо β_v фактором накопичення. При цьому очевидно, що чим більше β_v відрізняється від одиниці, тим більший внесок розсіяного випромінювання. На рис. 2 показана залежність асимптотичного значення фактора накопичення від частоти ультразвукових хвиль.

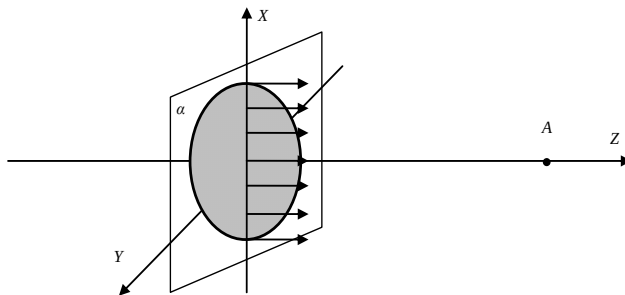


Рис. 1. Просторова орієнтація випромінювача ультразвуку

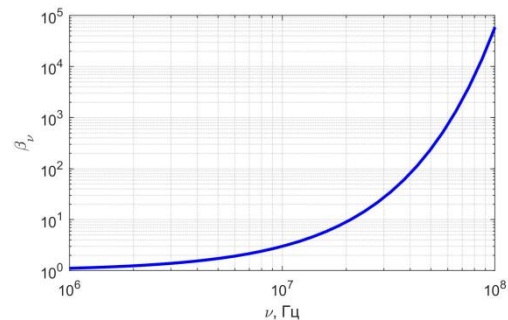


Рис. 2. Залежність асимптотичного значення фактора накопичення від частоти ультразвукових коливань

Як видно з рис. 2, при великих частотах не можна нехтувати не тільки одноразовим розсіяним, але і багаторазовим розсіяним випромінюванням ультразвукових хвиль.

Оцінка нелінійності процесу поширення ультразвуку в гірській породі. Для оцінки нелінійності процесу поширення ультразвуку необхідно визначити коефіцієнт загасання ультразвуку на основній частоті та першій гармоніці, а також співвідношення цих параметрів [15]. Типовим нелінійним явищем є генерація другої гармоніки, тобто формування частоти гармоніки, яка в два рази перевищує частоту основної вхідної частоти, що є результатом спотворення форми сигналу у часовій області.

Нехай поздовжня ультразвукова хвиля поширюється через контакт між двома шорсткими поверхнями часток середовища, початкова площа контакту збільшується в фазі стиснення, а зменшується в фазі розрідження [23-26]. У результаті амплітуди попередніх і відображених акустичних хвиль також змінюються відповідно до змін площі контактних поверхонь. Отже, хвилі що пройшли та відбиті хвилі здійснюють амплітудну модуляцію з частотою зовнішньої дії, відмінною від падаючих хвиль [27].

Формування частоти гармоніки, яка в два рази перевищує частоту основного вхідного сигналу, є результатом неправильної форми сигналу у часовій області після певної відстані поширення. Ультразвукова хвиля спотворюється через нелінійність матеріалу, і, отже, генеруються вищі гармоніки. Таким чином, прийнятий сигнал складається не тільки з хвилі основної частоти, але також з хвилі другої або більш високих гармонік. Нелінійний параметр пов'язаний з амплітудами основної хвилі і другої гармоніки [21,22] визначають таким чином:

$$\beta = A_2/A_1,$$

де A_1 і A_2 – амплітуда основної хвилі і хвилі другої гармоніки відповідно.

Таким чином, нелінійність матеріалу може бути оцінена шляхом визначення амплітуд основної та другої гармонік. Для якісної оцінки нелінійності матеріалу всі значення нормовані для подання лише відносної зміни акустичного нелінійного відгуку.

Опис ультразвукового вимірювального каналу на основі електромагнітних акустичних перетворювачів та отримані результати. Для збудження і прийому ультразвукових коливань у стінці пробуреної свердловини пропонується використовувати електромагнітний акустичний вимірювальний канал. Електромагнітне акустичне формування ультразвуку засновано на двох фізичних механізмах: силах Лоренца і магнітострикції у феромагнітних матеріалах. Для гірських порід превалює акустичне електромагнітне явище, обумовлене силами Лоренца. Аналітичні рішення для кільцевої котушки над шаруватим провідником запропоновано у [26]. Основними рівняннями для розрахунку індукованого вихрового струму є

$$\nabla^2 A = -\mu I + \mu\sigma \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} + \mu\epsilon \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} + \mu\nabla \frac{1}{\mu} \times (\nabla \times A), \quad E = -j\omega A, \quad J = \sigma E, \quad (13)$$

де A – векторний потенціал; μ , σ і ϵ – проникність, провідність і діелектрична проникність матеріалу відповідно; I – густина прикладеного струму, ω – кутова частота прикладеної змінного струму, E – електричне поле, J – індукований вихровий струм.

Формування пружних коливань представляють набором рівнянь у частинних похідних, що описують деформування матеріалу і навантаження внутрішнім напруженням [12–18,26]

$$\rho(x) \frac{\partial v_i}{\partial t} = \sum_{j=1}^d \frac{\partial T_{ij}}{\partial x_j}(x, t) = f_i(x, t), \quad (14)$$

$$\frac{\partial T_i}{\partial t} = \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^d c_{ijkl}(x) \frac{\partial v_{ik}}{\partial x_l} + \theta_{ij}(x, t), \quad (15)$$

де ρ – густина маси, c_{ijkl} – тензор жорсткості випробувального зразка; f_i – джерело сили, θ_{ij} – джерело швидкості тензора деформації. Рівняння (14) є виразом другого закону Ньютона: коли сила прикладається до випробувального зразка, виникають напруження і деформація, а також зміщення частинок. рівняння (15), засноване на законі Гука, описує співвідношення швидкості тензора напружень і швидкості тензора деформації при виникненні деформації.

Один з можливих варіантів реалізації вимірювального каналу на базі електромагнітних акустичних перетворювачів представлено на рис. 3.

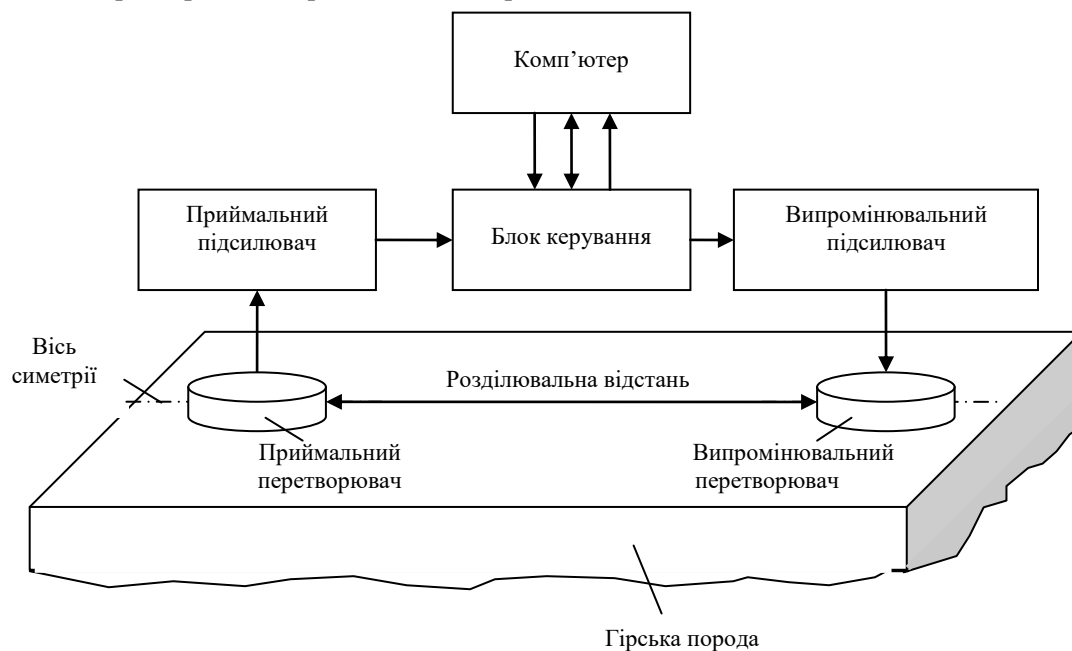


Рис. 3. Вимірювальний канал на базі електромагнітних акустичних перетворювачів

Відповідно до представленої схеми (рис. 3) комп'ютер використано для формування завантаження для блоку керування з вбудованим генератором довільних функцій. Сигнал, що генеру-

ється у блоці керування, посилюється з використанням підсилювача перед подачею до випромінювального перетворювача. Приймальний перетворювач підключений до блоку керування через спеціальний підсилювач з коефіцієнтом підсилення близько 95 дБ.

Як оціночні параметри для визначення фізико-механічних та хіміко-мінералогічних характеристик гірських порід були використані такі параметри: швидкість поширення поздовжніх і поперечних ультразвукових хвиль на частоті 2,5 МГц, коефіцієнт загасання ультразвуку на частоті 100 кГц та 2,5 МГц на основній частоті та першій гармоніці, а також співвідношення цих параметрів. Обробка отриманих результатів виконувалась за методикою, опис якої наведено в роботі [27]. Точність ідентифікації основних різновидів гірських порід становила 87%. На основі аналізу отриманих результатів зроблено висновок, що для досягнення більш високої якості ідентифікації геолого-мінералогічної структури досліджуваного середовища доцільно застосувати додатково магнітометричні та ядерно-фізичні вимірювання.

Висновки та напрямки подальших досліджень. На основі методів аналітичного конструювання, комп'ютерного моделювання, чисельного моделювання розроблено метод визначення фізико-механічних і хіміко-мінералогічних характеристик гірської породи на основі значень швидкості поширення поздовжніх і поперечних хвиль, коефіцієнту загасання ультразвуку на основній частоті та першій гармоніці, а також співвідношення цих параметрів. Практичне значення результатів полягає у розробленні ультразвукового вимірювального каналу, що складається з генератора та приймача ультразвукового сигналу, підсилювачів у вхідному та вихідному каналах, осцилографа та комп'ютера. Для збудження і прийому ультразвукових коливань у стінці пробуреної свердловини пропонується використовувати електромагнітний акустичний перетворювач. Сигнал, що генерується за допомогою цифрового осцилографу, посилюється з використанням підсилювача перед подачею до генератора. Приймач також підключений до цифрового осцилографу через спеціально розроблений підсилювач. Запропонований спосіб ідентифікації основних різновидів гірських порід характеризується точністю 87%. Для досягнення більш високої якості ідентифікації геолого-мінералогічної структури досліджуваного середовища доцільно застосувати додатково магнітометричні та ядерно-фізичні вимірювання.

Список літератури

1. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Irina G. Improving the effectiveness of explosive breaking on the bade of new methods of borehole charges initiation in quarries // Metallurgical and Mining Industry. 2015. Vol. 7. P. 383-387.
2. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures // Metallurgical and Mining Industry. 2015. Vol. 3. P. 38-41.
3. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Burdzieva O. Metal deposits combined development experience // Metallurgical and Mining Industry. 2015. Vol. 6. P. 591-594.
4. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Zaishvili V. Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies // Metallurgical and Mining Industry. 2015. Vol. 4. P. 325-329.
5. Yue, Z.Q., Lee, C.F., Law, K.T., & Lam, L.G. Automatic monitoring of rotary percussive drilling for ground characterization // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. 2015. Vol. 41(4). P. 573-612.
6. Schunnesson H. Rock characterisation using percussive drilling // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. 2014. Vol. 35(6). P. 711-725.
7. Schunnesson H., Holme K. Drill monitoring for geological mine planning in the Viscaria copper mine, Sweden // CIM Bulletin. 2015. Vol. 90(1030). P. 82-89.
8. Beattie N. Monitoring-while-drilling for open-pit mining in a hard rock environment. M.Sc. Queen's University. 2012.
9. Martin J. Application of pattern recognition techniques to monitoring-while-drilling on a rotary electric blast hole drill at an open-pit coal mine. M.Sc. Queen's University. 2013.
10. Акустические свойства горных пород. URL: <http://ctcmetar.ru/volnovye-processy/9297-akusticheskie-svoystva-gornyh-porod.html> (дата звернення: 25.05.2020).
11. Акустический каротаж по скорости. URL: <http://fccland.ru/dobycha-nefti/6826-akusticheskiy-karotazh-po-skorosti.html> (дата звернення: 25.05.2020).
12. Xie Y., Rodriguez S., Zhang W., Liu Z., Yin W. Simulation of an Electromagnetic Acoustic Transducer Array by Using Analytical Method and FDTD // Journal of Sensors. 2016. Vol 2016. ID 5451821. DOI: 10.1155/2016/5451821.
13. Бражников Н. И. Ультразвуковые методы. М.-Л.: Энергия, 1965. 248 с.
14. Yang Z., Tian Y., Li W., Zhou H., Zhang W., Li J. Experimental investigation of the acoustic nonlinear behavior in granular polymer bonded explosives with progressive fatigue damage // Materials. 2017. Vol. 10(6), 660. DOI: 10.3390/ma10060660.
15. Liu G., Liu Z., Feng J., Song Z., Liu Z. Experimental research on the ultrasonic attenuation mechanism of coal // Journal of Geophysics and Engineering. 2017. Vol. 14(3). P. 502-512. DOI: 10.1088/1742-2140/aa5f23.
16. Li H. B., Zhao J., Li T. J. Micromechanical modelling of the mechanical properties of a granite under dynamic uniaxial compressive loads // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2000. Vol. 37. P. 923-35.

17. Моркун В. С. Адаптивная система стабилизации гранулометрического состава выходного продукта замкнутого цикла измельчения на базе средств ультразвукового контроля: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07. Кривой Рог, 1983. 227 с.
18. Моркун В.С., Потапов В.Н., Моркун Н.В., Подгородецкий Н.С. Ультразвуковой контроль характеристик измельченных материалов в АСУ ТП обогащательного производства. Кривой Рог: Издат. центр КТУ, 2007. 283 с.
19. Solodov I. Ultrasonics of non-linear contacts: Propagation, reflection and NDE-applications // Ultrasonics. 1998, Vol. 36, P. 383–385.
20. Solodov I., Krohn N., Busse G. CAN: An example of nonclassical acoustic nonlinearity in solids // Ultrasonics. 2004. Vol. 40. P. 621–625.
21. Biwa S., Nakajima M., Ohno N. On the acoustic nonlinearity of solid-solid contact with pressure-dependent interface stiffness. Journal of Applied Mechanics. 2004, Vol. 71, P. 508–515.
22. Pecorari C., Solodov I. Universality of non-classical nonlinearity. Springer: New York, 2007. P. 309–336.
23. Zhang S., Li X., Jeong H., Cho S., Hu H. Theoretical and experimental investigation of the pulse-echo nonlinearity acoustic sound fields of focused transducers // Applied Acoustics. 2017, Vol. 117, P. 145–149.
24. Li W., Cho Y., Achenbach J.D. Detection of thermal fatigue in composites by second harmonic lamb waves // Smart Materials and Structures. 2012, Vol. 21, P. 85–93.
25. Metya A., Ghosh M., Parida N., Sagar S.P. Higher harmonic analysis of ultrasonic signal for ageing behaviour study of C-250 grade maraging steel // NDT and E International. 2008. Vol. 41. P. 484–489.
26. Dodd C. V., Deeds W. E. Analytical solutions to eddy-current probe-coil problems // Journal of Applied Physics. 39, 2829.
27. Моркун В. С., Трощ В. В., Гапоненко И. А., Паранюк Д. И. Идентификация структуры горной породы в процессе бурения на основе ультразвуковых измерений // Гірничий вісник. 2018. Вип. 104. С. 81-86.

Рукопис подано до редакції 30.03.2020

УДК 004.056.5:004.032.26

Н. Н. ШАПОВАЛОВА, О. Г. РИБАЛЬЧЕНКО, ст. викладачі,
С. В. БІЛАШЕНКО, асист., Н. Х. САЙТГАРЕЄВ, доцент
Криворізький національний університет

НЕЙРОМЕРЕЖЕВИЙ МЕТОД РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ DDOS-АТАК

Мета роботи – теоретично обґрунтувати вибір методу реалізації раннього виявлення аномального трафіка та класифікації мережевих аномалій на основі використання методів машинного навчання, розробити математичну модель штучної нейронної мережі, визначити топологію сформованої моделі і метод її навчання, розробити і протестувати відповідне програмне забезпечення, експериментально перевірити систему.

Методи дослідження. У роботі використано наступні методи дослідження: аналіз джерел з досліджуваної теми, методи теорії штучного інтелекту для проектування топології нейронної мережі, моделювання процесу навчання алгоритмів класифікації, формалізація побудованих моделей, методи проектування програмного забезпечення для розробки програмної моделі, емпіричні методи обґрунтування оптимальної архітектури моделі.

Наукова новизна полягає в тому, що розроблена модель має оптимальну топологію, яка дозволяє ефективно вирішувати поставлене завдання класифікації типів мережевого трафіка, і має достатню високу здатність до узагальнення. Створене програмне забезпечення з використанням цієї моделі дає можливість проаналізувати мережеві аномалії та виявити DDos-атаки на ранньому етапі.

Практична значимість виконаної роботи полягає в можливості точно фіксувати початок атаки, а також отримувати навчальні вибірки, які можуть бути використані для навчання нейронних мереж та інших класифікаторів, в тому числі для фільтрації небажаного трафіка. Аналіз мережевого трафіка дозволяє виявити мережеві аномалії та розрізнити аномальну або нормальну його поведінку, внаслідок чого стає можливим не обмежувати обсяг трафіка для клієнтів. Завдяки ранньому виявленню DDos-атак та швидкому реагуванню, компанії будуть захищені від значних збитків.

Результати. Запропоновано алгоритм протидії DDos-атакам на основі нейронної мережі, обґрунтовано вибір навчальної множини, що відповідає критерію достатньої репрезентативності. Розроблена математична і програмна модель нейронної мережі для виявлення мережевих аномалій. Визначена архітектура нейронної мережі та функція активації, проведено тестування роботи розробленої програмної моделі.

Ключові слова: DDos-атака, датасет, нейронна мережа, мережева аномалія, функція активації.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-106-112

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. У час стрімкого розвитку інформаційних технологій компанії та підприємства активно зберігають і поширюють інфор-

мацію в мережі Інтернет. Це, безумовно, зменшує обсяг додаткових витрат на необхідні рекламні послуги, заробітну плату співробітників тощо. Але з появою нових можливостей виникають нові загрози, які пов'язані з недостатнім захистом великих мережеских вузлів. В будь-який момент система, що працює бездоганно, може бути піддана DDoS-атаці (Distributed Denial of Service attack). Метою такої атаки є створення умов, при яких буде ускладнений або повністю обмежений доступ до системи [1].

Компанія, підприємство або окремих користувач, які зазнають DDoS-атаку, можуть понести значні матеріальні та моральні збитки через те, що деякий час їх послуги та ресурси будуть недоступними [2]. За даними компанії McAfee, яка займається розробкою антивірусного програмного забезпечення, світова економіка щороку втрачає близько \$600 млрд через кіберзлочинців. Ця цифра враховує і збитки від DDoS-атак. Можна виділити кілька категорій ресурсів, що складають групи найбільшого ризику. Перша група – це сайти державних органів та державні реєстри. Атака на реєстри може паралізувати роботу, наприклад, нотаріусів або публічних сервісів. Сплеск відвідуваності сайту Міністерства освіти та науки під час вступної компанії іноді призводить до відмов у роботі ресурсу. Другі у групі ризику – різноманітні бізнес-компанії в галузі електронної комерції та медичні установи. Третя категорія – це банківські ресурси та ресурси фінансової системи держави. Близько третини потерпілих складають приватні особи та невеликі компанії [3].

Коли об'єктами DDoS-атак є великі установи, то для протидії таким втручанням залучаються чималі кошти для впровадження послуги фільтрації трафіка. Рішення для захисту мають наступні недоліки. По-перше, алгоритми, що використовуються, є комерційною таємницею розробників, що робить неможливим їх поширення. По-друге, висока вартість рішень робить їх недоступними для багатьох компаній і організацій. Наприклад, вартість послуг компаній AT&T та MCI у цій галузі складає близько \$12 тис. на місяць.

У зв'язку з вищесказаним очевидно, що проблема виявлення та протидії DDoS-атакам є актуальною та потребує розробки якісного, економічно вигідного методу виявлення та боротьби з атаками на сервери середньої і малої інтенсивності, що здійснює фільтрацію трафіка.

Аналіз досліджень і публікацій. Для ефективної протидії DDoS-атакам потрібно вирішити дві послідовні задачі. Першою задачею є розподіл мережевого трафіка на звичайний та аномальний [4]. Другою задачею є інтелектуальний аналіз аномального трафіка, тобто достовірне діагностування DDoS-атаки на ранніх стадіях. Вирішення цих задач дозволить вчасно застосувати засоби протидії атакам, а саме налаштувати правила міжмережеских екранів, увімкнути мережеві фільтри, задіяти резервні канали тощо.

Всі сучасні DDoS-атаки проводять з використанням ботнету, із застосуванням підміни IP-адрес або комбінованим методом. Їх можна розподілити на три великі групи [5]. Перша група – це атаки з насиченням смуги пропускання, вони направлені на переповнення каналу зв'язку, а саме різні типи flood (затоплення). Їх метою є створити потужний потік запитів, який займає всю виділену смугу трафіка, пакети користувачів не проходять і ресурс змушений відмовляти їм в обслуговуванні (UDP, ICMP та інші потоки фальсифікованих пакетів). Друга група – це атаки на рівні протоколів, вони використовують вразливості стека мережеских протоколів. При атаці через помилки протоколів TCP/IP можуть використовуватися SYN-пакети (запити на відкриття з'єднання), в результаті чого на комп'ютері, що атакується, швидко вичерпується кількість доступних сокетів і сервер припиняє відповідати (так званий SYN- flood). Третя група – це низькоінтенсивні і малопотужні атаки (low-rate DDoS) [6]. Відмова в обслуговуванні досягається приховано, невеликою кількістю трафіка і не вимагає виснаження смуги пропускання. Атакуючий відкриває безліч нескінченних з'єднань і при перевищенні деякого порога викликає в мережі «жертви» відмову в обслуговуванні. Використовуються протоколи транспортного (TCP) або прикладного (HTTP) рівнів моделі OSI. Такі атаки дуже важко виявити, оскільки самі по собі такі з'єднання не є «аномальною» поведінкою.

Нині є багато робіт, присвячених тематиці виявлення атак із застосуванням різноманітних методів, що містять як традиційні підходи на основі відповідності сигнатурним зразкам, так і адаптивні моделі із застосуванням методів інтелектуального аналізу даних. В роботі [7] автори розглянули відомі методи виявлення мережеских атак та запропонували узагальнену схему їх класифікації. Зокрема, запропоновано виділити наступні класи методів виявлення DDoS-атак:

поведінкові методи, методи на основі знань, методи машинного навчання, методи штучного інтелекту.

До поведінкових методів віднесені наступні методи виявлення атак: вейвлет-аналіз, статистичний аналіз, аналіз ентропії, спектральний аналіз, фрактальний аналіз, кластерний аналіз. Ці методи засновані на використанні інформації про нормальну поведінку системи та її порівнянні з параметрами поточної поведінки. Випадок значних відхилень може розглядатися як свідчення наявності атаки. Представлена група методів орієнтована на побудову моделі штатного, або нормального, функціонування системи або користувача.

До методів на основі знань віднесені такі методи, які в контексті заданих фактів і правил зіставлення, що відображають ознаки заданих атак, виконують дії по виявленню атак на основі закладеного механізму пошуку. Своєю назвою ці методи зобов'язані тому, що такі системи працюють з базою знань, в якій містяться дані щодо вже відомих атак. До методів на основі знань віднесені експертні системи, кінцеві автомати, мережі Петрі, сигнатурний метод тощо.

Методи машинного навчання і методи штучного інтелекту застосовують як при виявленні аномалій, так і при виявленні зловживань. Це пояснюється тим, що зазначені підходи в якості вихідних даних для навчання часто використовують шаблони як нормальної, так і аномальної поведінки в мережі. До методів машинного навчання віднесені наступні підходи до виявлення мережових атак: дерева рішень, Байєсівські мережі, MAP-сплайни, алгоритми кластеризації та алгоритми регресії. До методів штучного інтелекту віднесені штучна нейронна мережа (ШНМ), генетичні алгоритми, нечітка логіка, імунні системи, росві алгоритми тощо.

Останнім часом все частіше для класифікації трафіка і виявлення мережових атак використовуються сучасні методи машинного навчання та штучні нейронні мережі. Зокрема, автори у статтях [6, 8] пропонують метод виявлення low-rate атак. Особливістю методу є попередня кластеризація пакетів за допомогою карт Кохонена. Вихідний вектор карти є вхідним вектором багатошарового перцептрона, який виконує бінарну класифікацію – визначає, чи є набір мережових пакетів нормальним або атакуючим. В результаті досягнута помилка розпізнавання атаки склала 0,84%. В роботі [9] для навчання і тестування нейронної мережі, що складалася з 11 вхідних, 1 вихідного нейрона та мала один прихований шар з 23 нейронів, використовувався набір даних «NSL-KDD». Точність класифікації склала 97,87%. Відзначимо, що розглянуті авторами підходи розраховані на виявлення тільки одного класу DDoS-атак. В статті [10] запропонована система для виявлення і класифікації як відомих, так і невідомих аномалій за 4 класами, при цьому оптимальну архітектуру нейронної мережі визначено експериментально. Робота [11] присвячена різним задачам класифікації атак – бінарній та на 4 класи атак. Автори використали рекурентні нейронні мережі для класифікації великого обсягу даних. В результаті для бінарної класифікації досягнута точність менше 0,1% помилок, для класифікації за типом атак – 0,5%.

Постановка завдання. Необхідно створити програмне забезпечення, яке б дозволяло в режимі реального часу виявляти аномальну поведінку у web-трафіка та давало можливість автоматично запобігати зловмисним діям. Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання: визначити набір ознак, за якими можливо визначити потенційну атаку; обрати метод створення моделі виявлення DDoS-атаки, або аномальної поведінки на web-ресурсі; реалізувати математичну постановку створюваної моделі; обрати засоби програмної реалізації моделі; реалізувати програмне забезпечення; перевірити валідність робочої моделі на тестових даних.

Викладення матеріалу та результати. Дані, що буде використовувати розроблювальна система, являють собою часовий ряд, з якого були відібрані лише ті ознаки, що дозволяють виявити потенційну небезпеку: порядок надходження пакетів на сервер; поля заголовка рівня IP; поля заголовка рівня TCP; поля заголовка протоколу HTTP; корисне навантаження протоколу HTTP; порядок надходження пакетів на мережовий вузол; кількість пакетів за одиницю часу, що надходить на цільовий вузол; кількість біт інформації за одиницю часу, що надходить на цільовий вузол; проміжки часу між надходженням пакетів [8].

За певними значеннями відібраних ознак необхідно кваліфікувати запити як «нормальні», або як такі, що є небезпечними, – «атаки». Існують навчальні набори записів, які вже розмічені за цими двома категоріями, і в дослідженні будуть використовуватися саме такі набори для відпрацювання здатності розроблювального програмного засобу виявляти небезпеку.

Поставлена задача виявлення ступеню небезпеки для web-ресурсу є задачею класифікації – об'єкти описані зазначеним набором ознак і відома приналежність кожного об'єкту до певного класу. Оскільки у досліджуваній проблемі наявні лише два класи – «норма» і «атака», що будуть закодовані відповідно як «0» і «1», задача належить до типу бінарної класифікації.

На сьогоднішній день найпотужнішим засобом, здатним вирішити поставлену задачу, є технологія машинного навчання – набір методів побудови алгоритмів, що навчаються [12]. До методів, здатних ефективно вирішувати завдання класифікації, належать композиційні методи: Bagging, Random Forest, Gradient Boosting тощо. Цей клас методів заснований на побудові ансамблю простих базових алгоритмів, наприклад, вирішальних дерев, кожне з яких робить внесок у роботу всієї моделі. Перевагою композиційних алгоритмів є можливість розпаралелювання процесу побудови моделі, а також доволі висока якість їх роботи. До недоліків належить велика кількість гіперпараметрів методу. Гіперпараметри – це такі параметри, що заздалегідь невідомі і не настроюються під час навчання моделі, але їх необхідно визначити перед запуском процесу навчання. Серед таких параметрів кількість базових алгоритмів у композиції, глибина дерев, ознаки і їх порогові значення, які визначаються в вершинах кожного дерева, параметр рандомізації вибірок, що потрапляють до навчання тощо. Наявність такої кількості ступенів свободи моделі уповільнює настройку параметрів композиції.

Ще одним класом методів машинного навчання є ШНМ. Модель ШНМ подібна до спрощеної біологічної моделі нейронної мережі (НМ), де нейрони зв'язані між собою синапсами, по яким інформація передається у вигляді електричних імпульсів. Останнім часом ШНМ набули великої популярності у вирішенні задач високої складності, алгоритми розв'язання яких часом не відомі або зовсім не існують. Така здатність ШНМ вирішувати складні задачі обумовлена перевагами біологічних НМ, оскільки модель обробки інформації в них однакова. ШНМ вчиться так само, як мозок живої істоти – на прецедентах. Процес пред'явлення ШНМ об'єктів із зазначенням належності кожного об'єкту до певного класу є навчанням за прецедентами, або навчанням з учителем (supervised learning). Маючи велику кількість прецедентів (прикладів) і відомих відповідей на цих прикладах, можна за кінцевий час навчити ШНМ з заданою точністю класифікувати об'єкти, які навіть не брали участь у процесі навчання, згідно теореми збіжності персептрона Ф. Розенблатта [13]. Крім того, ШНМ є універсальною моделлю, яка здатна апроксимувати будь-які поверхні, і, за теоремою про універсальне наближення [14], може бути представлена у вигляді суперпозиції функцій від однієї змінної – вектору ознак об'єкту.

На користь застосування ШНМ для вирішення поставленого завдання також свідчить ряд переваг цього класу методів: стійкість до зашумлених даних, адаптація до зміни вхідних даних, швидкодія тощо. Серед недоліків ШНМ є ймовірність збіжності методу навчання у локальному мінімумі в процесі оптимізації функціоналу помилки ШНМ при використанні градієнтних методів оптимізації, а за умови застосування стохастичних оптимізаційних методів, які завжди знаходять глобальний мінімум, результат роботи ШНМ не завжди передбачуваний.

З огляду на вищевикладене, для вирішення поставленого завдання буде застосовано метод ШНМ. Для побудови моделі необхідно виконати наступні етапи: визначити тип нейронної мережі; визначити топологію ШНМ (кількість шарів, кількість нейронів у шарах); визначити тип функції активації для кожного шару; визначити функцію помилки; визначити метод навчання ШНМ.

Для задач класифікації використовується тип ШНМ прямого поширення (feedforward мережі), в яких сигнал поширюється строго від вхідного шару до вихідного. У зворотному напрямку сигнал не поширюється.

Оскільки не існує ніяких рекомендацій щодо архітектури ШНМ, ця задача є творчою і вибір певної структури залежить лише від досвіду дослідника, або від вивченого досвіду інших дослідників у цій галузі. Виходячи з того, що найвірогідніше залежність не буде лінійною, оберемо топологію ШНМ з двома прихованими шарами. На користь цього вибору свідчить дослідження Р. Липпманна [15], в якому він доводить, що наявності двох прихованих шарів достатньо для створення областей класифікації будь-якої бажаної форми.

Дуже важливо вірно вибрати кількість нейронів у прихованих шарах: недостатня кількість зробить неможливим навчання мережі, а занадто велика кількість може спричинити ефект перенавчання моделі (overfitting). Перенавчання проявляється у тому, що модель чудово працює на даних, на яких навчалась, але погано на прикладах, яких не було у навчальній вибірці. Для

розрахунку кількості нейронів у двох прихованих шарах скористаємось евристичним правилом геометричної піраміди (geometric pyramid rule) (1)

$$r = \sqrt[3]{\frac{n}{m}}; k_1 = mr^2; k_2 = mr, \quad (1)$$

де n – кількість нейронів у вхідному шарі; m – кількість нейронів у вихідному шарі; k_1 – кількість нейронів у першому прихованому шарі; k_2 – кількість нейронів у другому прихованому шарі.

Таким чином, обрано наступну топологію ШНМ: у вхідному шарі за кількістю ознак – 9 нейронів; у першому прихованому шарі – 4 нейрони; у другому прихованому шарі – 2 нейрони; у вихідному шарі – 1 нейрон. Вихідний нейрон визначатиме належність об'єкту до класу “атака” – чим ближче до одиниці буде вихідне значення, тим ймовірніша належність об'єкту до цього класу.

Для кожного шару необхідно обрати функцію активації. Оскільки вирішується задача бінарної класифікації, тобто необхідно об'єкти віднести до одного з двох класів, будемо використовувати сигмоїдну функцію активації (2), яка є гладким аналогом порогової функції. В силу того, що для навчання ШНМ буде використано метод зворотного розповсюдження помилки, який потребує диференційованих функцій активації і помилки, застосувати порогову функцію не є можливим. Окрім того, бажано не лише знати клас, до якого модель віднесла той чи інший об'єкт, а й ще ступінь «впевненості» моделі у зробленому виборі. Саме сигмоїдальна функція повертає вірогідність належності об'єкту до певного класу. Сигмоїд є «стискаючою» функцією, тобто незалежно від аргументу (зваженої суми), вихідний сигнал завжди буде в межах від 0 до 1. Будемо використовувати сигмоїдальну функцію активації для всіх шарів НМ

$$\text{out}(\text{net}) = \frac{1}{1 + \exp(-a \cdot \text{net})}, \quad (2)$$

де net – значення зваженої суми нейрону, a – параметр, що визначає ступінь крутизни графіка цієї функції.

Для оптимізації параметрів мережі, так званих синаптичних вагів, необхідно обрати критерій оптимальності всієї моделі. Таким критерієм у задачах класифікації є мінімум функції похибки алгоритму Q . В якості функції помилки оберемо перехресну ентропію – показник, який використовується для оцінки точності ймовірнісних прогнозів (3)

$$Q(w) = \sum_{i=1}^l (y_i \ln a(x_i, w) + (1 - y_i) \ln(1 - a(x_i, w))), \quad (3)$$

де w – матриця параметрів моделі (синаптичні ваги); y_i – істинна відповідь на i -ому об'єкті; $a(x_i, w)$ – відповідь моделі на i -ому об'єкті; l – кількість об'єктів у вибірці; x_i – i -ий об'єкт з матриці x .

Запишемо математичну модель отриманої ШНМ (4)

$$a(x, W) = \sigma^3 \left(\sum_{i=1}^2 w_i^3 \sigma^2 \left(\sum_{i=1}^4 w_i^2 \sigma^1 \left(\sum_{i=1}^9 (w_i^1 x_i) + w_0^1 \right) + w_0^2 \right) + w_0^3 \right), \quad (4)$$

де W – матриця параметрів моделі (синаптичні ваги); w_i^1 – вектор ваг для першого прихованого шару; w_i^2 – вектор ваг для другого прихованого шару; w_i^3 – вектор ваг для вихідного шару; w_0^1 – вільний коефіцієнт першого прихованого шару; w_0^2 – вільний коефіцієнт другого прихованого шару; w_0^3 – вільний коефіцієнт вихідного шару; x_i – i -ий об'єкт з матриці x ; σ – функція активації.

Для навчання НМ будемо використовувати популярний і досить швидкий метод – алгоритм зворотного розповсюдження помилки (back propagation). Ідея алгоритму полягає у розрахунку похідної помилки (5) для кожного нейрона і корекції синаптичних ваг з урахуванням помилки, яку, у свою чергу, спричинили помилки нейронів попередніх шарів. Таким чином, обчислення виконуються у зворотному напрямі поширення сигналу мережею, виконуючи корекцію параметрів кожного шару.

Обчислюється градієнт функції помилки за кожним параметром w

$$\nabla_w \varphi(z) = \frac{\partial \varphi(z)}{\partial z} \nabla_w z = \frac{\partial \varphi(z)}{\partial z} x, \quad (5)$$

де $\frac{\partial \varphi(z)}{\partial z}$ – похідна помилки по значенню виходу нейрона і його параметрам.

Потім параметри коригуються за формулою градієнтного спуску (6)

$$w_{k+1} = w_k - \alpha \sum_{i=1}^l \nabla_w \varphi(w_k, x_i), \quad (6)$$

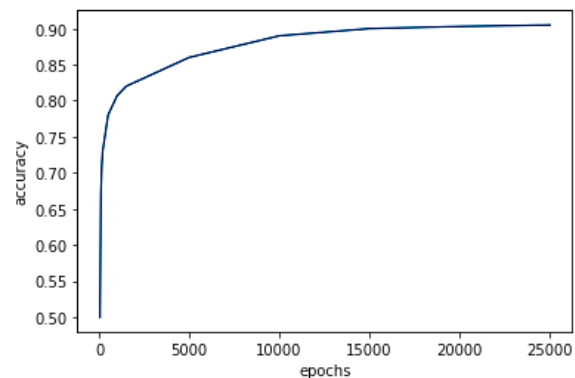
де $\varphi(w_k, x_i)$ – помилка на одному об'єкті x_i ; α – розмір кроку; k – номер ітерації.

Ітераційний процес продовжується до стабілізації функціоналу похибки.

Реалізуємо НМ у популярній бібліотеці глибокого навчання keras. Перш за все підготуємо дані. Для навчання ШНМ будемо використовувати набір даних CICDDoS2019, який знаходиться у відкритому доступі [16]. Набір складається з 129973 об'єктів, які описані 42 ознаками. Авторами було відібрано лише ті ознаки, за якими було прийнято рішення проводити навчання ШНС. Після формування дата-сету, його було розділено на дві частини у співвідношенні 0,632/0,368. Більша частина даних використовується безпосередньо для навчання моделі, а менша виступає у ролі валідатора – для перевірки якості алгоритму на даних, які не брали участь у навчанні. Ця процедура називається відкладеною вибіркою, і використовується для запобігання перенавчанню НМ.

Створимо Sequential-модель, модель прямого поширення з двома прихованими шарами і обраною активаційною функцією для всіх шарів, скомпілюємо модель. Для навчання моделі необхідно обрати кількість епох навчання. Оскільки не існує будь-якого способу визначення кількості епох, крім емпіричного, проведемо серію експериментів, і встановимо це значення за кращим результатом (рис. 1).

Рис. 1. Точність моделі в залежності від кількості епох



За результатами експерименту обрано кількість епох у розмірі 20 000, оскільки при подальшому їх збільшенні, співвідношення точності моделі до витраченого часу на навчання є не прийнятним. Якість моделі, яка складає 0,9% на тестових даних є цілком задовільною для задачі класифікації, і прийнята як робочий показник для отриманих параметрів ШНМ. Розраховані параметри використовуємо для побудови моделі у розроблювальному програмному забезпеченні для виявлення в режимі реального часу ризику виникнення атаки на web-ресурс.

Висновки та напрямок подальших досліджень. У процесі дослідження проблеми розробки програмного забезпечення системи для виявлення DDoS-атак було проаналізовано сучасний стан питання діагностування втручань на ранніх стадіях, обґрунтовано вибір методів реалізації нейромережевої моделі визначення аномалій трафіка, розроблено і протестоване в лабораторних умовах відповідне програмне забезпечення. Результати експериментального використання системи показали, що програмне забезпечення доцільно доповнити можливістю не лише виявляти потенційну небезпеку, а й визначати тип можливої атаки. Крім того, бажано реалізувати програмний модуль збору інформації про аномальну поведінку трафіка для розширення набору даних, на якому проводилось навчання ШНМ, з метою виявлення та відстеження нових мережевих загроз.

Список літератури

1. Шаньгин В. Ф. Информационная безопасность компьютерных систем и сетей / Шаньгин В. Ф. // М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М. 2008. 416 с.
2. Understanding Denial-of-Service Attacks. US-CERT. 6 February 2013. Retrieved 26 May 2016 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.us-cert.gov/ncas/tips/ST04-015>
3. Актуальные киберугрозы – 2018. Тренды и прогнозы. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2018/#id5>.
4. Мурасов Р.К. Завчасне попередження про DDoS атаку на базі методів прогнозування / Мурасов Р.К., Мельник Я.В. // Національний університет оборони України імені Івана Черняховського. – 2016. – С. 59.
5. Классификация DDoS-атак: краткий обзор современных подходов [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ddos-guard.net/ru/info/blog-detail/classification-of-ddos-attacks-a-short-overview-of-modern-approaches>
6. Тарасов Я. В. Метод обнаружения низкоинтенсивных DDoS-атак на основе гибридной нейронной сети / Я. В. Тарасов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – С. 47-57.

7. **А. А. Браницкий.** Анализ и классификация методов обнаружения сетевых атак / **А. А. Браницкий**, И. В. Котенко. // Тр. СПИИРАН. – 2016. – С. 207–244.
8. **Тарасов Я.В.** Исследование применения нейронных сетей для обнаружения низкоинтенсивных DDoS-атак прикладного уровня / **Тарасов Я.В.** // Вопросы кибербезопасности. 2017. № 5(24). С. 23–29.
9. Нейросетевая модель выявления DDOS-атак / Воробьева Ю.Н., Катасёва Д.В., Катасёва А.С., Кирпичников А.П.. // Вестник технологического университета, Т. 21, №. 2. – 2018. – С. 94–98.
10. **Van N.** An anomaly-based network intrusion detection system using Deep learning / **Van N.**, Thinh T., Sach L. // 2 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE). Ho Chi Minh City, 2017. Pp. 210–214. DOI: 10.1109/ICSSE.2017.8030867
11. **Yin C.** A Deep Learning Approach for Intrusion Detection Using Recurrent Neural Networks / **Yin C.**, Zhu Y., Fei J., He X. // IEEE Access. 2017. Vol. 5. Pp. 21954–21961. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2762418
12. **Шолле Ф.** Глубокое обучение на Python / **Шолле Ф.** – Питер: СПб, 2018. – 400 с.
13. **Розенблатт Ф.** Принципы нейродинамики: перцептроны и теория механизмов мозга = Principles of Neurodynamic: perceptrons and the theory of brain mechanisms / **Фрэнк Розенблатт.** – М.: Мир, 1965. – 480 с.
14. **Ian Goodfellow.** Deep learning (Adaptive computation and machine learning series)./ **Ian Goodfellow**, Yoshua Bengio, Aaron Courville. – Cambridge, MA: MIT Press, 2017. – 775 с. –
15. **Richard P. Lippmann.** An introduction to computing with neural nets / **Richard P. Lippmann.** // IEEE ASSP Magazine. – С. 4 – 22.
16. Developing Realistic Distributed Denial of Service (DDoS) Attack Dataset and Taxonomy [Електронний ресурс] / Iman Sharafaldin, Arash Habibi Lashkari, Saqib Hakak, and Ali A. Ghorbani // IEEE 53rd International Carnahan Conference on Security Technology, Chennai, India – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.unb.ca/cic/datasets/ddos-2019.html>.

Рукопис подано до редакції 28.02.2020

УДК 622.026.01:669

С.Г. САВЕЛЬЄВ, д-р техн. наук, проф., В.В. ПЛОТНИКОВ, канд. техн. наук, доц.,
О.В. БАБАЄВСЬКА, асистент
Криворізький національний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОВПЛИВУ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ДРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ПЕРЕРОБКИ

Метою виконуваної роботи є дослідження механізму руйнування матеріалу під дією електрогідрравлічного удару й встановлення технологічних можливостей застосування даного явища в металургійній переробці.

Методи дослідження для вирішення поставлених завдань у роботі використовувалися такі, як узагальнення наукової інформації; рН-метрія й потенціометрія рідкої фази; вимірювання електрокінетичного потенціалу поверхні мінералів; лабораторні дослідження; технологічні випробування; гранулометричний і мінералогічний аналізи; методи статистичної обробки результатів досліджень; мікроскопічний аналіз; магнітний аналіз мономінеральних фракцій.

Наукова новизна даного дослідження полягає у встановленні механізму прояву електрогідрравлічного ефекту і його руйнуючого впливу на провідні матеріали при їх дробленні.

Практична значимість роботи полягає в дослідженні електрогідрравлічного дроблення шлакових систем, а також розробці способів дроблення крихких провідних матеріалів з використанням електро впливу, що може слугувати основою для нових технологій дроблення металургійних шлаків з метою їх подальшого використання в металургійній переробці.

Результати роботи. У роботі розглянуті процеси, що відбуваються при здійсненні методу спільного електрогідрравлічного дроблення в'язкого не провідного струм і крихкого провідного матеріалів. Встановлений механізм руйнуючого впливу електрогідрравлічного ефекту. З'ясовано, що сутність методу «зовнішнього удару» зводиться до того, що електрогідрравлічний удар здійснюється в рідині, але не всередині об'єму, заповненого провідним матеріалом, а поза ним й на такій відстані від матеріалу, щоб іскровий розряд, маючи достатню довжину для повного використання енергії даного імпульсу, був розташований можливо ближче до поверхні шару матеріалу, що руйнується.

Представлені конструкції й принцип роботи дробарок, призначених для дроблення крихких провідних матеріалів до будь-якої крупності – від 20 мм і дрібніше. Представлена технологія може бути застосована для дроблення металургійних шлаків, що становить значний промисловий інтерес. Знайдене ефективне технологічне рішення, що дозволяє виділяти метал з металургійних шлаків в установках надтонкого дроблення з використанням електро впливу.

Ключові слова: дроблення, електро вплив, металургійний шлак, електрогідрравлічний ефект, розряд.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-112-118

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Застосування електро впливу – це досить прогресивний спосіб перетворення електричної енергії в механічну, що відбувається без посередництва проміжних механічних ланок, з високим ККД. Сутність цього способу полягає в тому, що при здійсненні всередині об'єму рідини, що знаходиться у відкритій або закритій посудині, спеціально сформованого імпульсного електричного (іскрового, кистьового й інших форм) розряду навколо зони його утворення виникають надвисокі гідравлічні тиски, що здатні виконувати корисну механічну роботу й супроводжуються комплексом фізичних і хімічних явищ [1-3].

Основними факторами, що визначають виникнення ефекту, є амплітуда, крутість фронту, форма й тривалість електричного імпульсу струму. Тривалість імпульсу струму вимірюється в мікросекундах, тому миттєва потужність імпульсу струму може досягати сотень тисяч кіловат. Крутість фронту імпульсу струму визначає швидкість розширення каналу розряду. При подачі напруги на розрядні електроди в кілька десятків кіловольтів амплітуда струму в імпульсі досягає десятків тисяч ампер. Все це зумовлює різке й значне зростання тиску в рідині, що викликає в свою чергу потужну механічну дію розряду.

Аналіз досліджень і публікацій. Здійснення електро ефекту пов'язане з відносно повільним накопиченням енергії в джерелі живлення й практично миттєвим її виділенням у рідкому середовищі. Основними діючими факторами є високі й надвисокі імпульсні гідравлічні тиски, що приводять до появи ударних хвиль зі звуковою і надзвуковою швидкостями; значні імпульсні переміщення об'ємів рідини, що відбуваються зі швидкостями, які досягають сотень метрів за секунду; потужні імпульсно виникаючі кавітаційні процеси, здатні охопити відносно більші об'єми рідини; інфра- і ультразвукові випромінювання; механічні резонансні явища з амплітудами, що дозволяють здійснювати взаємне відшаровування один від одного багатокомпонентних твердих тіл; потужні електромагнітні поля; інтенсивні імпульсні світлові, теплові, ультрафіолетові, а також рентгенівські випромінювання; імпульсні гама- і (за надвеликих енергій імпульсу) нейтронне випромінювання; багаторазова іонізація сполук і елементів, що містяться в рідині.

Постановка задачі. Всі ці фактори дозволяють чинити на рідину й об'єкти, поміщені в неї, досить різноманітні фізичні й хімічні впливи. Так, ударні переміщення рідини, що виникають при розвитку й схлопуванні кавітаційних порожнин, здатні руйнувати неметалічні матеріали й викликати пластичні деформації металевих об'єктів, поміщених поблизу зони розряду. Потужні інфра- і ультразвукові коливання, додатково диспергують вже здрібнені матеріали, викликають резонансне руйнування великих об'єктів на окремі кристалічні частки, здійснюють інтенсивні хімічні процеси синтезу, полімеризації, обриву сорбційних і хімічних зв'язків. Електромагнітні поля розряду також впливають як на сам розряд, так і на іонні процеси, що протікають у оточуючій його рідині. Під їхнім впливом можуть відбуватися різноманітні фізичні й хімічні зміни в оброблюваному матеріалі. В зв'язку з вищевикладеним, дослідження механізму прояву електрогідравлічного ефекту і його руйнуючого впливу на різні матеріали представляє науковий інтерес, а застосування його для дроблення є важливим практичним завданням.

Викладення матеріалу та результати. Поняття рідини як середовища для виникнення електрогідравлічних ударів має бути розширене на всі еластичні й навіть тверді (наприклад, сипучі) матеріали. Форма розряду, що викликає виникнення імпульсних тисків, може бути найрізноманітнішою: іскровий, кистьовий, так званий імпульсний електричний вітер.

Основою, що забезпечує різноманітні технологічні можливості даного ефекту, є метод одержання так званих наддовгих іскрових розрядів у провідних рідинах [4]. Електрогідравлічний ефект може бути отриманий і в результаті «теплого вибуху», при якому іскровий розряд між електродами, поміщеними в рідину, замінюється електричним тепловим вибухом провідного струму елемента, що замикає електроди [4,5]. Використання цього методу дозволяє поширити область електрогідравлічної обробки на високотемпературні середовища, у тому числі на плазму й розплави солей і металів. Високий ККД електро впливів, а також їх унікальні можливості є основою для широкого застосування в промисловості, зокрема такі впливи можуть бути застосовані для дроблення різних матеріалів.

Дроблення крихких провідних матеріалів здійснити методом «внутрішнього удару» практично неможливо, тому що ці матеріали, оточуючи з усіх боків робочий іскровий проміжок дробарки, закорочують його таким чином, що розряду не виникає (струм йде через метал), а,

отже, не виникає й потрібного ефекту. Однак досвід показав, що якщо до будь-якого в'язкого з більшим внутрішнім тертям і не провідного струм матеріалу (наприклад, діабазу) додати (до 20% від маси вихідного матеріалу) підлягаючий дробленню крихкий провідний матеріал (наприклад, карбід вольфраму) і таку суміш піддавати електрогідравлічному дробленню до крупності щебню або піску на звичайних електрогідравлічних дробарках, то короткого замикання можна уникнути й успішно здійснити спільне дроблення цих матеріалів [6]. При цьому подрібнюється або один метал, або обидва компоненти, що потім легко розділяються внаслідок великої різниці густин.

Процес дроблення при здійсненні цього методу, імовірно, відбувається в основному за рахунок взаємних зіткнень часток непровідного матеріалу із частками провідного матеріалу під дією електровпливу, що виникає від розрядів у проміжках між провідними частками. При цьому якщо основний удар дробить насамперед розташовані вдалині від каналу розряду зовнішні частки провідного матеріалу, то кавітаційний удар дробить внутрішні частки, через які раніше проходив канал розряду (рис. 1 а-в). Стримери, що ростуть від позитивного електрода, доростають до негативного електрода й утворюють іскровий канал розряду (рис. 1а). При цьому стримери проходять через кілька часток провідного матеріалу.

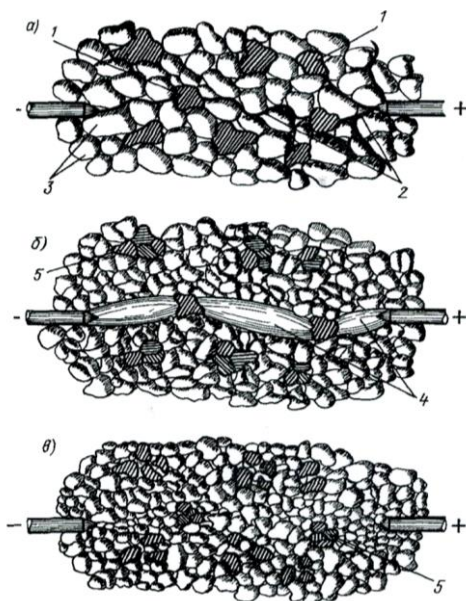


Рис. 1. Схема розвитку процесу при спільному дробленні: а-в – послідовні стадії процесу: 1 – провідні частки; 2 – канал розряду й стримери; 3 – непровідні частки; 4 – кавітаційна порожнина; 5 – зруйновані провідні частки

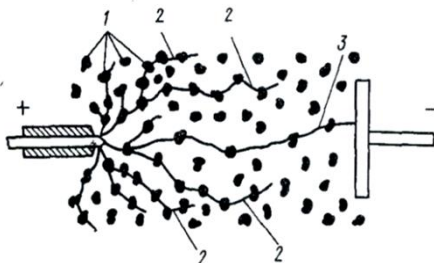


Рис. 2. Схема розвитку пробую між провідними частками в рідині: 1 – провідні частки; 2 – стримери; 3 – канал розряду

подальше зростання стримерів при заданій напрузі стане неможливим. Для подальшого проростання стримерів необхідно підвищити напругу, а це призведе до збільшення витрат енергії. У зв'язку з цим був розроблений і інший спосіб дроблення таких матеріалів, заснований на методі «зовнішнього удару» [7,8].

Основна маса матеріалу оточує з усіх боків провідні включення, що розташовані як по лінії каналу розряду, так і ті, що знаходяться вдалині від нього. На наступній фазі процесу (рис. 1б) між електродами навколо каналу розряду вже утворилася кавітаційна порожнина, всередині якої знаходяться провідні частки, що лежали раніше на шляху каналу. Основний гідравлічний удар залишив цілими частки, що лежать на шляху каналу розряду, але роздробив частки, розташовані поза ним. Одночасно роздробився й увесь інший матеріал. Наступна фаза процесу (рис. 1в) відображає момент, коли кавітаційна порожнина захлопнулася. При цьому роздробилися частки, що лежали раніше на шляху каналу розряду.

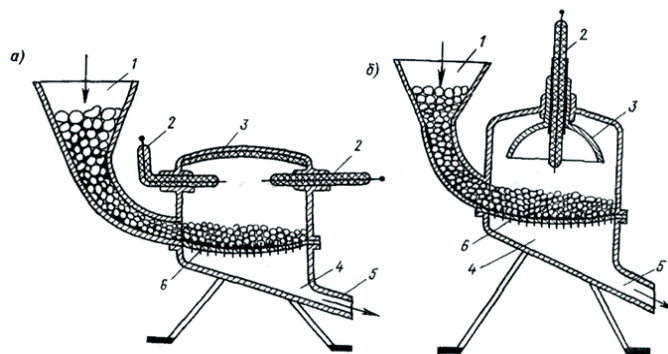
Розглядаючи процеси, що відбуваються при здійсненні методу «спільного дроблення», слід вказати також і причину того, чому розряд, що виникає в об'ємі, який містить порівняно великі частки розрізнених провідних включень, виникає не обов'язково по найкоротшому шляху, а по такому, на якому при всіх інших рівних умовах знаходиться найменше число провідних часток (рис. 2).

Це пояснюється тим, що стример, який росте в рідині від позитивного електрода (як потік електронів, що рухається до негативного електрода), доростаючи до найближчої провідної частки, включає в систему позитивного електрода й усю поверхню цієї частки, збільшуючи тим самим активну поверхню позитивного електрода на величину площі поверхні «приєднаної» частки. Доростання стримера до інших часток разом з кожною з них буде збільшувати цю поверхню доти, доки сумарна активна поверхня в системі позитивного електрода відповідно до принципу одержання наддовгих розрядів не стане настільки великою, що

Сутність методу «зовнішнього удару» зводиться до того, що електрогідравлічний удар здійснюється в рідині, але не всередині об'єму, заповненого провідним матеріалом, а поза ним й на такій відстані від матеріалу, щоб іскровий розряд, маючи достатню довжину для повного використання енергії даного імпульсу, був розташований можливо ближче до поверхні шару матеріалу, що руйнується.

З цією метою застосовують дробарки двох типів. В обох типах дробарок провідний крихкий матеріал, що руйнується, тонким шаром розташовують на решітчастому днищі дробарки. Дробарка з паралельним розрядом (рис. 3а) призначена для дроблення крихких провідних матеріалів [9] до будь-якої крупності — від 20 мм і дрібніше. Крупність помелу в ній, як і у звичайних електрогідравлічних дробарках, задається діаметром вихідних отворів днища. Транспортування роздробленого матеріалу з бункера дробарки може бути як гідравлічним, так і примусовим (за допомогою транспортера). Дробарка має два верхні, ізольовані від корпусу електроди, розташовані паралельно шару оброблюваного матеріалу, і бічну подачу матеріалу. Видалення матеріалу здійснюється гідротранспортом. Негативний електрод дробарки з'єднаний електрично з корпусом дробарки й заземлений.

Рис. 3. Електрогідравлічні дробарки для крихких провідних матеріалів: а - з паралельним розрядом; б - з перпендикулярним розрядом; 1 - завантажувальна воронка; 2 - електроди; 3 - відбивач; 4 - прийомний бункер; 5 - вивідний канал; 6 - решітчасте дно дробарки



Матеріал, що безупинно завантажується в прийомну воронку, поступає (у вигляді шару) на днище, що має сітку каліброваних отворів, що визначають верхню межу крупності дроблення. Електрогідравлічні удари фокусуються на матеріал відбивачем з еластичного діелектрика, розташованим на нижній частині кришки корпусу.

Роздроблений матеріал надходить в бункер, звідки по каналу виноситься назовні водою, що безупинно подається в дробарку. При роботі вода повинна заповнювати весь корпус дробарки. Іскровий розряд у ній необхідно розташовувати вище шару матеріалу на мінімальній відстані, що є трохи більшою за половину довжини іскри при обох ізольованих електродах і трохи більшою за довжину іскри при заземленому негативному електроді.

Дробарка з перпендикулярним розрядом (рис. 3б) призначає для тих же цілей, має аналогічну конструкцію (за винятком того, що в ній в якості негативного електрода використаний шар провідного матеріалу, що лежить на металевому днищі). Матеріал завантажується в прийомну воронку й попадає на днище дробарки, що має сітку каліброваних отворів, де й розташовується у вигляді шару. Верхній позитивний ізольований електрод утворює між шаром матеріалу й переднім кінцем робочий іскровий проміжок. Для посилення дії й локалізації спрямованості електрогідравлічних ударів використовують фокусуючий відбивач, встановлений на корпусі дробарки й регульований по висоті. Роздроблений матеріал провалюється через сітку отворів днища в бункер, звідки по каналу видається назовні. Конструктивно дробарка може бути виконана й з декількома електродами, розміщеними в одному подовженому корпусі із загальним подовженим завантажувальним каналом і прийомним бункером.

Представлена технологія може бути застосована для ефективного дроблення металургійних шлаків, що становить значний інтерес. Шлаки є складним конгломератом сплавлених між собою часток різного складу, що різко відрізняються за механічною міцністю, у якому найчастіше у великій кількості зустрічаються вклучення «корольків» (дрібних злитків металу). Шлаки можуть надходити на дроблення холодними, гарячими або навіть рідкоплинними й віддавати водному середовищу різні розчинні сполуки, що роблять воду більш провідною.

Електроімпульсне дроблення холодних шлакових мас, що не містять злитків металу, які перевищують за крупністю верхню межу заданої крупності дроблення, не зустрічає особливих труднощів. Дроблення таких шлаків може вестися у звичайних електрогідравлічних дробарках аж до надтонкого здрібнювання. В міру дроблення шлаків шматки-злитки металу, що містяться

в ньому (заліза, чавуну, міді, алюмінію тощо) та не піддаються електродробленню, будуть накопичуватися на днищі дробарки доти, поки це не викличе короткого замикання електродів і тоді процес дроблення припиниться. Для відновлення процесу дроблення й підтримки його безперервності необхідно періодично (або постійно) скидати злитки, що накопичуються на днищі дробарки, металу, (наприклад, поступовим опусканням днища дробарки) у спеціальний приймач, звідки злитки видаляються звичайним способом.

Виходячи з того, що процес дроблення здійснюється в безупинно замінному водному середовищі, що заповнює весь корпус дробарки, а при необхідності і її прийомний бункер, збільшений за розмірами і заповнений водою бункер дробарки може надходити не тільки гарячий, але навіть і доведений до рідкого стану шлак. Потім шлак буде швидко охолоджуватися, інтенсивно розтріскуватися, утворюючи гранули, і надходити далі на дроблення вже холодним і крихким. Солі й сполуки, що віддаються шлаками, переходять в розчин і роблять воду провідною, швидко розбавляються до безпечних для процесу дроблення концентрацій і виносяться із зони дроблення водою, що надходить.

Для руйнування діелектричних крихких складових шлаку при його дробленні може бути використаний спосіб, при якому електрогідравлічні удари виникають не всередині породи шлаку, а поза неї, тим самим виключається можливість виникнення короткого замикання. Це досягається здійсненням електрогідравлічних впливів або над шаром шлаків, або під ним, або всередині між шарами. При цьому розряд може виникати між двома (або декількома) самостійними парами електродів або між одним (або декількома) електродом і шлаками (із провідними включеннями), що покривають другий електрод [10].

При аналізі процесів, що виникають при електрогідравлічному дробленні металургійних шлаків, була знайдена ще одна можливість застосування електровпливу для спеціального виділення металу зі шлаків або з руд, що містять самородні метали. Виявилось можливим включити електродроблення металургійних шлаків як технологічний елемент у металургійний процес із метою безперервної переробки й видалення шлаків безпосередньо від доменних і інших металургійних печей з наступним гідротранспортуванням його у відвал або на подальшу переробку. Металургійні шлаки, перероблені в продукт надтонкого дрібнювання, відразу ж після їхнього виходу з металургійного процесу, дають досить якісний цемент, а вилучений з них метал може бути відразу використаний за своїм призначенням. Крім того, застосування цього способу усуває й необхідність у відвалах. Також у процесі електрогідравлічного дроблення у воду зі шлаків буде переходити багато хімічних елементів у вигляді їх розчинних сполук, що представляють цінність для технічних цілей або як добрива в сільському господарстві.

Досвід показав, що з будь-якого металургійного шлаку кольорової або чорної металургії без особливих витрат і застосування складних пристроїв з витратою енергії 5-15 кВт-год на 1 т шлаків, що переробляються, може бути виділено до 95 % металу, що міститься в ньому. «Корольки» і найдрібніші лусочки металу виходять при цьому зовсім чистими, без слідів часток шлакових включень. Цей спосіб може бути застосований і до всіх руд, що містять чистий самородний метал у вигляді краплень.

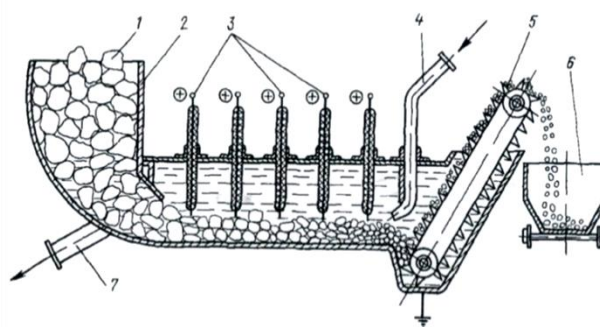
Виділення металу може бути організоване як при перериваному, так і при безперервному процесі. Пристрій для здійснення перериваного процесу може бути виготовлене по типу звичайної бетономішалки, в яку вводиться один центральний нерухливий електрод таким чином, щоб його відігнутий кінець утворював з корпусом бетономішалки й шаром шлаків робочий іскровий проміжок. Вода, що безупинно надходить до корпусу, в міру дроблення шлаку вимиває й видаляє його, а повільне обертання корпусу бетономішалки постійно підводить до зони руйнування ще не роздроблені шматки шлаку. Після того як в корпусі залишиться тільки один чистий метал, обертання корпусу припиняється, він нахиляється й виділений метал зсипається в приймач. Далі процес повторюється в тій же послідовності.

Виділення самородних металів з руд може вестися також і в колоїдних електрогідравлічних дробарках [11]. Найбільш ефективним рішенням для електродроблення може бути установка, представлена на рис. 4. Виділення металу зі шлаку здійснюється тут безупинно, при

цьому енергія електровпливу використовується одночасно й для переміщення оброблюваного матеріалу.

Установка працює наступним чином. В бункер завантажують вихідний матеріал - шлак з «корольками» металу, а через вхідний патрубок установка заповнюється робочою рідиною. Через комутуючий пристрій послідовно за заданою програмою здійснюється підключення робочих електродів. Тим самим створюється «хвиля, що біжить», що переміщає оброблюваний матеріал до вихідного патрубка. Одночасно з переміщенням під дією електровпливу відбувається безперервне виділення металу зі шлаків, і до моменту підходу оброблюваного матеріалу до вихідного патрубка установки відбувається повне відділення металу від шлаку. Здрібнений шлак вимивається через вихідний патрубок водою або іншою робочою рідиною, що подається протитечією через вхідний патрубок. Виділений метал збирається у вивідному бункері, звідки вивантажується транспортером. Швидкість переміщення оброблюваного матеріалу й, отже, тривалість впливу на нього електрогідравлічних ударів регулюються зміною кута нахилу ванни відносно горизонту.

Рис. 4. Установка для безперервного виділення металу зі шлаків: 1 - шлак, що завантажується; 2 - завантажувальний бункер; 3 - позитивні електроди; 4 - подача води; 5 - елеватор для очищеного металу; 6 - транспортна вагонетка; 7 - вихід води із суспензією шлаків



Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином застосування електричних впливів у рідких середовищах відкриває широкі перспективи вдосконалювання діючих, а також створення нових альтернативних технологій в сучасній металургії й суміжних з нею виробництвах.

Список літератури

1. Губин Г.В. Особенности загрязнения поверхности минералов в процессе измельчения / Г.В. Губин, В.В. Плотников // Вісник Криворізького технічного університету. - №7. - Кривий Ріг: КТУ, 2005. - С. 77-82.
2. Губин Г.В. Влияние электроимпульсной обработки на процесс магнитной сепарации / Г.В. Губин, В.В. Плотников // Качество минерального сырья: сборник научных трудов. - Кривой Рог, 2005. - С. 257-260.
3. Губин Г.В. Влияние формы импульса на показатели электрообработки при интенсификации процесса магнитного обогащения / Г.В. Губин, Т.А. Олейник, В.В. Плотников // Разработка рудных месторождений: научно-технический сборник. - Вып. 84. - Кривой Рог, 2003. - С. 87-90.
4. Жекул В.Г. К теории формирования электрического разряда в проводящей жидкости / В.Г. Жекул, Г.Е. Раковский // Журнал технической физики. - №53. - Вып.1. - 1983. - С. 8-14.
5. Курец В.И. Стадильное электроимпульсное разрушение твердых тел. Известия Томского политехнического университета. - 2013. - Т. 322, №4. - С. 74-77.
6. Саденова К.К. Электрогидроимпульсный способ измельчения волластонитовой руды / К.К. Саденова, Н.Н. Шуюшбаева, Н.К. Танашева, Б.Б. Кутум, А.Ж. Тлеубергенова // Молодой ученый. - №19. - 2015. - С. 171-174.
7. Семкин Б.В. Основы электроимпульсного разрушения материалов / Б.В. Семкин, А.Ф. Усов, В.И. Курец - Л.: Наука, 1988. - 277 с.
8. Гаврилов Г.Н. Разрядно-импульсная технология обработки минеральных сред / Г.Н. Гаврилов, Г.Г. Горюхенко, П.П. Малюшевский, А.Г. Рябинин. - Киев: Наукова думка, 1976. - 164 с.
9. Ризун, А.Р. К вопросу об определении производительности электроразрядного разрушения хрупких неметаллических материалов / А.Р. Ризун, В.М. Косенков // Электронная обработка материалов. - 2001. - № 1. - С. 45-50.
10. Ризун, А.Р. Электроразрядное разрушение неметаллических материалов / А.Р. Ризун, В.Н. Цуркин // Электронная обработка материалов. - 2002. - № 1. - С. 83-85.
11. Гулый, Г.А. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта / Г.А. Гулый, П.П. Малюшевский, Е.В. Кривичкий. - М.: Машиностроение, 1977. - 320 с.

Рукопис подано до редакції 17.03.2020

A.A. ZHOSAN, Ph.D. (Engineering), assoc. prof.
Krivoy Rog National University

THE METHOD OF SYNTHESIZING A NONPARMETRIC DISCRETE MODEL OF A BLACKBOX-TYPE DYNAMIC OBJECT WITH THE SCALAR INPUT AND OUTPUT

The work **aims** to present the results of elaborating an efficient method of synthesizing an equation of a dual discrete model and a regulator for a dynamic non-linear non-stationary blackbox-type object directly from the data of the real object state matrix measurements without conducting special experiments, calculating model coefficients or disrupting the normal technological process and with the training sequence of minimum length.

The methods used are based on the matrix theory, difference equations, Cramer's rule for the solution of systems of linear algebraic equations.

Scientific novelty. The work presents a novel demonstration that an expanded matrix of the controlled object state enables incorporating both the object model and the regulator and accomplishes principal concepts of dual control. Besides, Cramer's rule-based equations of a model enable assessing Lyapunov exponent signatures and therefore determining the current state of the controlled object pertaining to the attraction area or the repeller.

Practical relevance. During standard operation, parameters of technological objects often vary within a wide range as the objects are non-linear and/or non-stationary. Common present-day regulator methods are based on the assumption that controlled objects are linear and stationary. The assumption often leads to disturbances in the technological process control. The work develops and substantiates the approach based on the dual control concept enabling synthesis of regulators for linear, non-linear, non-stationary objects of control. There is no necessity of studying their physical nature, conducting special experiments to receive transient characteristics or transfer functions. The object is treated as a blackbox providing small sensitivity to external impacts and adaptation during normal performance.

Results. The work suggests the methods of synthesizing a regulator which can be presented both numerically and analytically. The regulator enables implementing the set output value applying modern controllers.

Keywords: blackbox, Cramer's rule, dual control, expanded matrix, Lagrange equations, Lyapunov exponent signature.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-118-122

Problem and its connection with scientific and practical tasks. Successful solution of the task of controlling a dynamic object requires synthesizing its mathematical model. Though there are several ways of accomplishing the task, a number of problems arise as well.

Knowing physical principles of controlled object functioning, one can obtain corresponding differential or difference equations of the object model. For this, knowledge of the nature of the controlled model functioning is required in most cases. This holds true, even if Lagrange equations of the second kind are used.

When using the mathematical model in the form of differential equations, it is necessary to decide on the order, structure, form (linear, non-linear, steady-state, unsteady-state, etc.).

When accomplishing practical tasks, expressing laws of complex technological processes functioning in mathematical terms often appears problematic. For instance, sufficient accuracy is unachievable in describing material processing in a crusher or a mill, changes of the charge temperature in sintering considering hard controllable impacts of air flows caused by gas suction and complicated ways of air entries to the technological process chains is impossible. And these are only few of real disturbances.

For this reason, when synthesizing dynamic models of technological processes, it is often reasonable to choose vector functions of the right hand sides of differential equations of models from a set of polynomials which can be easily dealt with mathematically. However, physical adequacy of such models is doubtful and mathematical accuracy is only provided within the testing range. This requires frequent personnel interventions to adjust regulator performance.

Assigning test controlling actions, based on responses, coefficients of the right hand sides of model equations are chosen. The least squares method is a common technique for determining model coefficients, however it deteriorates correctness of the received result [1]. In other words, development of a global in time and state space model is hardly, if at all, possible.

Further work with the model of this type often needs linearity of equations. Here, two unfavourable factors should be noted: approximation of the vector of the right hand sides contains errors to which linearity errors are added. Another important problem is estimation of the discrete interval and

model stability obtained in such a way. Neglect of the problem may cause bifurcations, attraction areas or repellers.

Analysis of studies and publications. The blackbox concept was formulated by W.R. Ashby in his work “An Introduction to Cybernetics” [2]. This idea is gaining popularity now and works with the known concept of dual control by A.A. Feldbaum [3]. The concept suggests performing identification of a controlled object on each discrete interval, calculating a control action which is simultaneously a test one for identification of the object model on the next discrete interval.

Almost every encyclopedia in automatic control contains references to this work. However, to solve the problem, statistical methods are used which require a great number of test actions or operation data. This stereotypic approach (the more such data (training sequences) there are, the more accurate the result is) is erroneous as it requires observance of the superposition principle which can only be fulfilled in the ideal linear stationary object. Then the test sequence can be minimal and enables building a global model and not correcting it anymore. Such a trivial task is not dealt with in the present article. In case of a non-linear, non-stationary object, the test (training) sequence leads to the problem of data deterioration.

At present, many publications deal with creating regulators able to adapt to changes of the structure and parameters of controlled objects. Many of them are of equal relevance. So let us mention just some of them.

Problems of creating adaptive non-parametric regulators with dual properties are treated in [4]. However, it suggests using a linear apparatus to solve the problem. At that, data for the model are not directly from the object or in real time. The work states that “the weight function $v(t)$ as well as the variable $w(t)$ cannot be obtained from the object in the “input-output” direction. It is suggested to obtain the transition function $v(t)$ from the model in the “output-input”, i.e. reverse, direction” ([4], p. 60) (hereinafter translation is ours). Besides, as is seen from the title of the article, the method is not expected to require parameter determination. At the same time, it is required to determine parameters of the bell function: “ $H(\cdot)$ is the bell (kernel) functions, cs is the blur parameter that satisfy certain convergence conditions ...” (ibid). The inverse operator determined by the transition function (the linear concept again) is used. The approach like that to non-stationary non-linear object control seems rather cumbersome. Obtaining the transition function is not allowed at every object. Certainly, works of this kind are a step forward towards elimination of the necessity to know the exact structure of the controlled object model and physics of its parameters. Nadaraya methods apply indirect parameters. However, cumbersomeness of such approaches is obvious.

Implicit methods of dual control through mathematical approximation of Bellman stochastic dynamic programming equations are considered in [5]. The applied mathematical tools are rather complex and cumbersome for engineers.

The model in the form of an extended matrix of the controlled object state and the algorithm of its processing suggested in [6] was then developed. The basic feature of the approach is waiver of building a global model of the controlled object using large data bulk. In case of non-stationary objects, old data are a bottleneck. There were conducted multiple numerical experiments with objects swapping steady and non-steady states, (swapping the attraction area and the repeller), the model of a vertical pendulum with the low pivot [7, 8] and the physical model of a heating furnace. Besides, the methods considered in this work were used to predict the state of the model of the technological process of ore material disintegration [9] and confirmed by real performance data.

In his previous works, the author describes application of the mentioned approach with various algorithms of processing the extended matrix but he does not provide any rigorous proof of the method.

In the present work, the author presents only one of his arguments of fidelity of using the extended state matrix as a blackbox model.

Problem statement. The task of the work is to prove that an extended state matrix is a basis for forming a discrete dual model of a non-linear non-stationary dynamic controlled object.

Material Presentation and Results. Let us consider principal statements of the blackbox model synthesizing method through the example of a non-linear non-stationary discrete object with the scalar input and output in the form of the difference equation

$$x[n+1] = a(n, x[n-1], u[n-1])x[n] + b(n, x[n-1], u[n-1])u[n],$$

where n is a number of the discrete time interval; $x[n]$ is the output response of the object; $u[n]$ is a control action; $a(n, x[n-1], u[n-1])$, $b(n, x[n-1], u[n-1])$ are coefficients – functions of the discrete time and the output response of the object and the control action. It is quite clear that the coefficients can be determined not later than on the $[n-1]$ -th interval. Below, these coefficients are designated as a and b without simplification of their meaning. Considering the above, the object movement equation takes the following form

$$x[n+1] = ax[n] + bu[n]. \quad (1)$$

The object parameters including the discrete interval are assumed to be unknown. More detailed treatment of the discrete interval is presented in analysis of the obtained results. The output response and the input action (control) calculated by the regulator can be measured. This is a typical case of a blackbox. Control actions $u[*]$ at the initial stage of putting the object into operation are assigned within the tolerance region and then calculated by the regulator during its operation (considered later on in the present article). From this point onward the sign “*” means “for any discrete time moment” or when it is seen from the context. This symbol attracts more attention than, for instance, $u[]$.

Let us compose equations concerning two unknown coefficients a and b of model (1) on the discrete time interval: $[n]$, $[n-1]$, $[n-2]$

$$\begin{aligned} x[n] &= ax[n-1] + bu[n-1], \\ x[n-1] &= ax[n-2] + bu[n-2]. \end{aligned} \quad (2)$$

Let us use Cramer's rule to determine coefficients of model (2)

$$a = \frac{\Delta_a}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} x[n] & u[n-1] \\ x[n-1] & u[n-2] \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x[n-1] & u[n-1] \\ x[n-2] & u[n-2] \end{vmatrix}}, \quad b = \frac{\Delta_b}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} x[n-1] & x[n] \\ x[n-2] & x[n-1] \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} x[n-1] & u[n-1] \\ x[n-2] & u[n-2] \end{vmatrix}}, \quad (3)$$

where Δ , Δ_a , Δ_b are determinants of system (2).

Let us present equation (1) in the equivalent form

$$x[n+1] - ax[n] - bu[n] = 0.$$

Then, considering (3), the equation of model (1) is obtained in the following form

$$x[n+1] \begin{vmatrix} x[n-1] & u[n-1] \\ x[n-2] & u[n-2] \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} x[n] & u[n-1] \\ x[n-1] & u[n-2] \end{vmatrix} x[n] - \begin{vmatrix} x[n-1] & x[n] \\ x[n-2] & x[n-1] \end{vmatrix} u[n] = 0. \quad (4)$$

This is the desired difference equation of the blackbox-type model where only measured output data and the regulator-calculated control action are used. Model (4) does not contain coefficients of the controlled object, at least in the obvious form. The model is almost continuously adapting to changes of the controlled objects. The “input-output” data are continuously arriving for processing. The impression that the model does not consider parametric and structural as well as external disturbances unavailable for measurement is not quite true. The fact is that the mentioned disturbances inevitably impact the output data $x[*]$. Numerical and field tests of models of such disturbed object demonstrate positive results.

It should be noted that model (4) enables assessing Lyapunov exponent signatures and therefore determining the current state of the controlled object as pertaining to the attraction area or the repeller.

The purpose of further investigation within the framework of the present work is to find another, perhaps easier and more practical, algorithm of synthesizing models of the form of (4).

Let us build the extended object state matrix that includes measurable values of the output $x[*]$ as well as calculated and implemented values of control $u[*]$ at discrete moments of time $[n+1]$, $[n]$, $[n-1]$, $[n-2]$

$$M(X, U) = \begin{pmatrix} x[n+1] & x[n] & u[n] \\ x[n] & x[n-1] & u[n-1] \\ x[n-1] & x[n-2] & u[n-2] \end{pmatrix}, \quad (5)$$

where X , U are vectors-columns of output and control respectively.

There occurs the following theorem: $\det(X, U)=0$ is the difference equation of a controlled object of the form of (4).

Proof of theorem.

Let us develop the determinant of matrix (5) by the leftmost column and equate it to zero

$$x[n+1] \begin{vmatrix} x[n-1] & u[n-1] \\ x[n-2] & u[n-2] \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} x[n] & u[n-1] \\ x[n-1] & u[n-2] \end{vmatrix} x[n] + \begin{vmatrix} x[n] & x[n-1] \\ x[n-1] & x[n-2] \end{vmatrix} u[n] = 0.$$

Comparison with (4) shows that after permutation of the columns in the last determinant the obtained expression completely coincides with the equation of the difference blackbox model (4). The theorem is proved.

Earlier, model (4) was successfully used in numerical simulations of various objects the state of which was changing from stable to instable. Besides, there were conducted tests on the physical model of a heating furnace as well as in the prediction mode on the basis of real data on ore raw material disintegration processes [9]. The present work provides theoretical substantiation of the methods.

Conclusions and directions for further research. Obtained model (5) is built on the latest data measured on the basis of operation results and represents a predictor enabling determining the output value $x[n+1]$ by the set input value $u[n]$. The required control action $u[n]$ can be easily obtained from the same expression at the assigned value of output $x[n+1]$ without matrix reversion. In this case, the expression becomes an analytical regulator. External disturbances impact output data and in this way are considered in calculating the control action.

The mentioned approach fully corresponds to the concept of dual control: the predictor or regulator models are updated on each interval.

The author's further research aims to develop regulator synthesis methods for multi-connected systems, i.e. systems with the vector input and output, assess Lyapunov exponent signatures of the object movement process and therefore determine its current state as pertaining to this or that kind of attractor [10], this being significant for practical application.

References

1. Лнейная алгебра и ее применения / Г. Стренг; Перевод с англ. Ю. А. Кузнецова, Д. М. Фаре. - М. : Мир, 1980. - 454 с. : ил.; 22 см.; ISBN В пер. (В пер.): Перевод изд.: Linear algebra and its applications / Gilbert Strang (New York etc., 1976).
2. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. Под редакцией В. А. УСПЕНСКОГО — М.: Издательство иностранной литературы, 1959, с 128-129.
3. Fel'dbaum, A., 'Dual control theory I-IV', Automat. Remote Control, 21, 874-880, 1033-1039 (1960); 22, 1-12, 109-121 (1961).
4. А. В. Медведев. Теория непараметрических систем. управление-I Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, 660014, Красноярск, просп. им. газ. "Красноярский рабочий", 31. E-mail: Saor_medvedev@sibsau.ru, с. 57-63.
5. D. S. Bayard and A. Schumitzky. Implicit dual control based on particle filtering and forward dynamic programming. International Journal of Adaptive Control and Signal Processing, 24(3):155–177, 2010.
6. Жосан А.А. Разработка алгоритмов дуального управления центробежным дезинтегратором руд.: Дисс. на соискание степени канд. техн. наук по спец. 05.13.07, Кривой Рог, Криворожский технический университет, 1998, -119 с.
7. Жосан А.А. Особенности управления процессом дезинтеграции твердых материалов как "черным ящиком" с бифуркационной точкой. Міжнародна науково-технічна конференція Розвиток промисловості та суспільства. Матеріали конференції. Кривий Ріг – 2018. том 2, С.148.
8. Жосан А.А. Федоренко О.Л. Дуальне управління перевернутим маятником як "чорним ящиком". Вісник Криворізького національного університету. Збірник наукових праць. Випуск 44, 2017. С. 24-29.
9. Anatoliy Zhosan, Sergey Lipanchikov. Numerical modeling of disintegration process dual control Metallurgical and Mining Industry 2015, No. 3, p.p 74-77.
10. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence // Lec. Notes in Math., 1981.V. 898. P. 366-381.

The editorial board received a manuscript on 02.04.2020

Л.І. ЄФІМЕНКО, М.П. ТИХАНСЬКИЙ, кандидати техн. наук, доценти,
А.М. ТИХАНСЬКА, асист., Криворізький національний університет

АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ КОНВЕЄРНИМИ УСТАНОВКАМИ З АДАПТАЦІЄЮ ЗА ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ ЙОГО ОБЛАДНАННЯ

Мета. Метою цієї роботи є підвищення ефективності роботи виробництва за рахунок розробки адаптивної системи керування, яка враховує при формуванні керуючої дії технічний стан основного обладнання автоматизованого конвеєра.

Методи дослідження. Для вирішення цього завдання використано: методи розроблені в теорії автоматичного керування, механіці, теорії пружності; методи обробки випадкових процесів і математичної статистики, а також, аналіз літературних і патентних джерел, наукове узагальнення раніше виконаних досліджень.

Наукова новизна. Пропонується адаптивне керування стрічковим конвеєром за рахунок врахування параметрів, які постійно змінюються, що проявляється у вигляді контрольованих і неконтрольованих збурень і перешкод різного походження, а саме технічного стану основного обладнання конвеєра.

При цьому керування відбувається за рахунок налаштування сучасних мікропроцесорних приладів, які автоматично розраховують коефіцієнти настройки регуляторів використовуючи вихідні сигнали з підсистеми технічної діагностики конвеєра. Таким чином, з'явилася можливість раціонального управління режимом роботи стрічкового конвеєра в залежності від технічного стану його вузлів і механізмів.

Практична значимість. Адаптивне керування стрічковим конвеєром за рахунок врахування параметрів, які постійно змінюються, що проявляється у вигляді контрольованих і неконтрольованих збурень і перешкод різного походження, а саме технічного стану основного обладнання конвеєра дозволяє підвищити ефективність роботи виробництва.

Авторами запропоновані принципи побудови автоматизованої системи та алгоритми управління приводом конвеєра, що відрізняються тим, що враховуються як поточний, так і прогнозований стан основних складових елементів конвеєра.

Своєчасне виявлення дефектного обладнання дозволяє швидко реагувати на нову збурюючу інформацію та корегувати управляючі впливи шляхом впровадження адаптивного регулятора.

Результати. Автоматичне управління конвеєрними установками з адаптацією за технічним станом його обладнання дозволяє враховувати збурюючі впливи зумовлені технічним станом обладнання та підтримувати показники якості управління в заданих межах.

Ключові слова: адаптивне керування, стрічковий конвеєр, діагностика, адаптивний регулятор, автоматична система керування.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-122-126

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Конвеєрна установка, яка забезпечена регульованим приводом і автоматичною системою управління режимами транспортування, надає нові можливості в роботі і використанні системи діагностування і прогнозування, а саме розробку та впровадження адаптивної системи, що при формуванні керуючої дії враховує перешкоди, які заважають процесу керування. Як відомо до перешкод відносяться гірничотехнічні параметри матеріалів, що транспортують, нерівномірність вантажопотоку, технічні параметри конвеєрів, взаємний вплив цих параметрів один на одного, фактичне завантаження конвеєра, а також технічний стан основного обладнання автоматизованого конвеєра.

При цьому зазначена адаптивна система, що враховує інформацію з системи діагностування і прогнозування дозволить більш ефективно управляти режимами роботи конвеєрної установки, а саме, знижувати швидкість стрічки, змінювати її натяг і розподіл тягового зусилля між барабанами і, таким чином знижувати навантаження на механізми конвеєра, що в свою чергу впливає на технічний стан обладнання.

Своєчасне виявлення дефектного обладнання дозволяє швидко реагувати на нову збурюючу інформацію та корегувати управляючі впливи шляхом впровадження адаптивного регулятора.

Адаптація здійснюється з аналізу вхідного сигналу і вихідного сигналу системи і з аналізу сигналу збурення. Як правило, в адаптивному контурі визначається відміну вихідного сигналу об'єкта від вихідного сигналу ідеальної моделі системи, і зворотний зв'язок прагне здійснити їх найкраще збіг.

Аналіз досліджень та публікацій. Питаннями автоматизації стрічкового конвеєра займається цілий ряд вітчизняних та закордонних вчених [1-5]. Вони розглядають окремі підсистеми

загальної системи керування, стандартне обладнання автоматизації та модернізують існуючі системи.

Питаннями діагностики механізмів загального й спеціального призначення, а також підвищення ефективності використання стрічкових конвеєрів, а саме, вдосконалення систем автоматичного управління, розвитку та розробки автоматичних систем діагностики та прогнозування займався ряд відомих вчених таких, як: О.В.Абрамов, А.Н. Розенбаум, В.В. Болотін, Э.Э. Лавендел, М.Д. Генкін, А.А. Олександров, Н.І. Войцеховский, З.Т. Григор'єв. Вони розробили загальні положення й принципи технічної діагностики [8-16].

Визначення технічного стану стрічкового конвеєра має свою специфіку з огляду на велику довжину, наявність складних вузлів і механізмів, зв'язаних між собою гнучким тяговим органом. Тому дуже важливо здійснювати постійний діагностичний контроль за технічним станом цих елементів і прогнозувати залишковий ресурс із урахуванням ступеня їхнього впливу на загальний ресурс установки. Дослідження, пов'язані з виявленням інформативних параметрів, якими займалися В.Ф. Монастирський, В.І. Плахотнік, А.Н. Смирнов, В.І. Бесчастний [7, 9, 10], показали, що конвеєр, як складний об'єкт, має сенс розділяти на основні механізми й вузли та досліджувати їх окремо.

Розробкою адаптивних систем керування стрічковим конвеєром за рахунок врахування параметрів які постійно змінюються, що проявляється у вигляді контрольованих і неконтрольованих збурень і перешкод різного походження, а саме технічного стану основного обладнання конвеєра ніхто не займався.

Метою цієї роботи є підвищення ефективності роботи виробництва за рахунок розробки адаптивної системи керування, яка враховує при формуванні керуючої дії технічний стан основного обладнання автоматизованого конвеєра. При цьому керування відбувається за рахунок налаштування сучасних мікропроцесорних приладів, які автоматично розраховують коефіцієнти настройки регуляторів використовуючи вихідні сигнали з підсистеми технічної діагностики конвеєра. Таким чином, з'явилася можливість раціонального управління режимом роботи стрічкового конвеєра в залежності від технічного стану його вузлів і механізмів.

Постановка завдання. Рівень автоматизації конвеєрних установок визначається ступенем автоматизації функцій управління, застосовуваними технічними засобами і типом структури системи управління. У структуру керуючої системи конвеєрними установками входить ряд практично автономних підсистем. Зазвичай це: технологічного контролю та подання інформації, автоматизованого управління, регулювання, технологічних захистів і блокувань. Інформація про стан конвеєрних установок та їх виконавчих механізмів надходить від датчиків та інших засобів автоматизації та функціональної апаратури. Крім того враховується інформація про технічний стан основного обладнання конвеєра.

Таким чином, створення автоматизованої системи діагностики і прогнозування технічного стану та узгодження її роботи з автоматичною системою управління транспортуванням є актуальним завданням. Для вирішення цього завдання необхідно встановити закономірності і залежності зміни діагностичних параметрів від режимів роботи стрічкового конвеєра, на основі отриманих закономірностей сформувати принципи управління конвеєром за його технічним станом, що дозволить підвищити коефіцієнти готовності і технічного використання.

Викладення матеріалу та результати. Особливість структури адаптивних системи полягає у тому, що вони мають додатковий контур – контур адаптації (рис. 1), призначений для перероблення інформації про умови роботи, що змінюються, і подальшого впливу на регулятор основного контуру керування. Адаптер у загальному випадку отримує інформацію про вхідну дію x , збурення f , вихідну величину y і діє на керуючий пристрій основного контуру. Отже, для контуру адаптації об'єктом керування є вся основна САК.

Слід зазначити, що адаптивні системи давно існують у природі. Властивість адаптації чітко виявляється, наприклад, у тому, що живі організми здатні утримувати свої координати (наприклад, температуру) в припустимих фізіологічних межах при значних змінах умов, у яких існує організм.

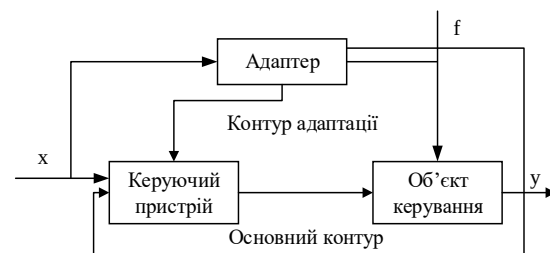


Рис. 1. Функціональна схема адаптивної системи

Характерною ознакою адаптивних систем є відсутність повної апіорної (такої, що відома наперед) інформації про об'єкт керування, зовнішні збурення і граничні умови, тобто адаптивній системі притаманна невизначеність. Функціонування системи спрямоване на розкриття цієї невизначеності, тобто знаходження такого стану, при якому задовольняється певний критерій.

Розкриття невизначеності адаптивних систем в нашому випадку забезпечується завдяки прогнозуванню технічного стану конвеєрної установки і аналізу інформації, що накопичується, з метою самонавчання.

Автоматична система керування транспортуванням гірничої маси стрічковими конвеєрами є складною системою, вхідні параметри якої постійно змінюються, що проявляється у вигляді контрольованих і неконтрольованих збурень і перешкод різного походження.

Для забезпечення в ході реального процесу зменшення апіорних невизначеностей, що приводить до ефективного управління ходом процесу необхідно синтезувати адаптивну систему, якщо в ній поточна інформація використовується не тільки для формування керуючого впливу, але і для зміни алгоритму управління. У пропонованій системі за рахунок сучасних мікропроцесорних приладів автоматично розраховують коефіцієнти настройки адаптивних регуляторів. Це необхідно в разі, коли характеристики реальних зовнішніх впливів істотно відрізняються від прийнятих при розрахунку системи внаслідок неповної апіорної інформації про ці впливи. Завдання розробки системи адаптивного автоматичного управління полягає в тому, щоб знизити обмежуючий вплив режимів роботи конвеєрної лінії на продуктивність виробництва де вони використовуються.

В даній роботі в якості перешкод розглядається зміна технічного стану конвеєрного обладнання, який визначається за допомогою автоматизованої системи діагностики (АСД) і прогнозування технічного стану його вузлів і механізмів.

В даний час майже всі конвеєрні лінії на гірничо-збагачувальних, видобувних, будівельних, харчових та інших виробництвах автоматизовані. Рівень автоматизації конвеєрних установок визначається ступенем автоматизації функцій управління, застосовуваними технічними засобами і типом структури системи управління. У структуру АСУ конвеєрними установками входить ряд практично автономних підсистем. Зазвичай виділяють такі підсистеми: технологічного контролю та подання технологічної інформації, автоматизованого управління, регулювання, технологічних захистів і блокувань.

Конвеєр, обладнаний автоматизованою системою діагностики (АСД) і прогнозування технічного стану його вузлів і механізмів, як об'єкт для керування має особливості, тому що завданням для керуючих сигналів у систему керування є вихідні сигнали системи діагностики й прогнозування. Система діагностики, алгоритм роботи якої представлений на рис. 2, визначає технічний стан основних механізмів конвеєра, прогнозує їхній стан на заданий проміжок роботи й визначає пріоритетний елемент конвеєра, по якому буде виконуватися керування режимами його роботи.

Збір первинної інформації про стан приводу, стрічки, роликів відбувається за допомогою стандартних датчиків і розроблених пристроїв. Інформація надходить у відповідні блоки визначення технічного стану устаткування й далі в блоки прогнозування технічного стану. Базуючись на результатах, отриманих у даних блоках, формуються керуючі сигнали, що забезпечують поліпшення умов роботи приводу, стрічки або роликів, для кожного елемента окремо, незалежно від технічного стану інших елементів.

Інформація про технічний стан основних елементів конвеєрного обладнання подається у контур адаптації (рис. 1), призначений для перероблення інформації про умови роботи, що змінюються, і подальшого впливу на регулятор основного контуру керування.

Таким чином, з'явилася можливість адаптивного управління режимом роботи стрічкового конвеєра в залежності від технічного стану його вузлів і механізмів.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Адаптивне керування стрічковим конвеєром за рахунок врахування параметрів, які постійно змінюються, що проявляється у вигляді контрольованих і неконтрольованих збурень і перешкод різного походження, а саме технічного стану основного обладнання конвеєра дозволяє підвищити ефективність роботи виробництва.

Використання автоматизованого регульованого приводу надає додаткові можливості для підвищення ефективності використання стрічкових конвеєрів шляхом зниження навантаження

на обладнання, оскільки гарантоване зниження динамічної дії приводу і крупних кусків вантажу на опорні конструкції та стрічку знижає їх пошкодження та знос.

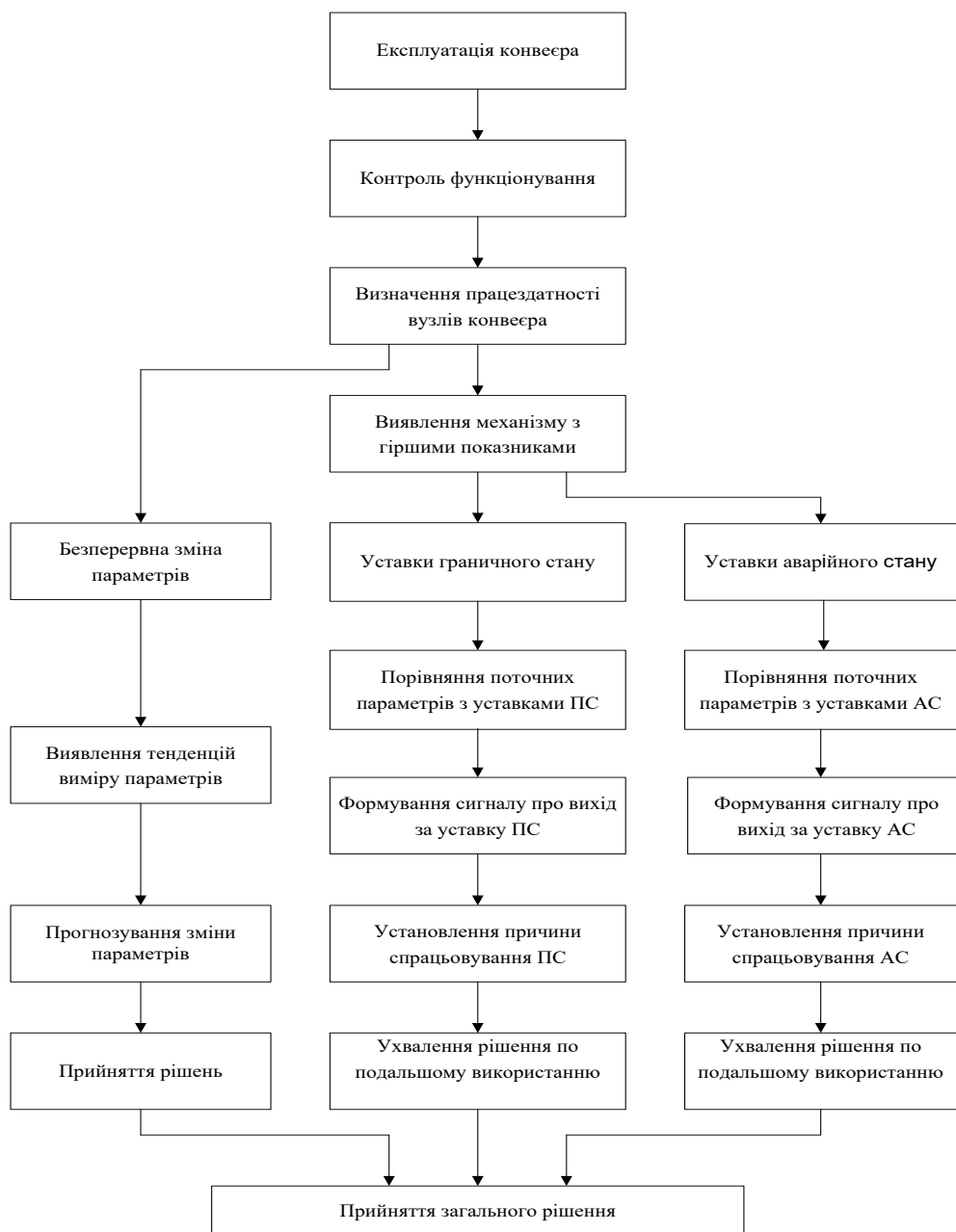


Рис. 2. Алгоритм роботи системи діагностики й прогнозування технічного стану стрічкового конвеєра

Однак потенційні можливості автоматизованого управління вичерпані не повністю. Продовжують залишатися актуальними наступні завдання: зниження трудомісткості обслуговування автоматизованих конвеєрних ліній, ймовірності відмов в роботі лінії і часу простоїв лінії в результаті відмови.

Авторами запропоновані принципи побудови автоматизованої системи та алгоритми управління приводом конвеєра, що відрізняються тим, що враховуються як поточний, так і прогнозований стан основних складових елементів конвеєра.

Своєчасне виявлення дефектного обладнання дозволяє швидко реагувати на нову збудовуючу інформацію та корегувати управляючі впливи шляхом впровадження адаптивного регулятора.

Тому завдання розробки системи адаптивного автоматичного управління, яке полягає в тому, щоб знизити обмежуючий вплив режимів роботи конвеєрної лінії на продуктивність виробництва де вони використовуються є актуальним.

У цьому зв'язку назріла необхідність глибше дослідити стрічковий конвеєр, як об'єкт діагностування та адаптивного керування, розробити прогресивні і технічно реалізовані засоби і пристрої, на базі яких сформувати принципи побудови адаптивної системи керування.

Список літератури

1. Бугров С. В., Лисовой Р. А., Жмудь В. А., Колкер А. Б. Адаптивная система управления с использованием стабилизирующего эффекта девиации коэффициента регулятора // Научный вестник НГТУ. 2010. № 1(38). С. 157–160.
2. Ишимцев Р. Ю. Обоснование структуры и критериев оптимизации САУ непрерывного технологического процесса // Сборник научных трудов НГТУ. Новосибирск, 2008. № 2(52). С. 3–10.
3. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. 2-е изд., испр. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2007. Т. 2.
4. Detecting Process Variations in Low-End PID Autotuners. Alberto Leva, GianAntonio Magnani. 2002 IFAC. 15th Triennial World Congress, Barcelona, Spain.
5. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы: Электронная книга. – М.: 2003. – 278 с
6. Лобов В.И. Автоматизовані системи керування конвеєрними установками / В.И. Лобов, Л.І. Єфіменко, М.П.Тиханський, С.А. Рубан // Монографія Видавничий центр ДВНЗ «КНУ». - Кривий Ріг. – 2015. – 450с.
7. Новиков Е.Е., Смирнов В.К. Теория ленточных конвейеров для крупнокусковых горных пород. – Киев: Наукова думка, 1998. – 184 с.
8. Ключев, В.В. Технические средства диагностирования: Справочник / В.В.Ключев, П.П.Пархоменко, Абрамчук и др.: под общ. Ред. Ключева В. В. // М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
9. Монастырский В.Ф., Максютенко В.Ю., Плахотник В.И., Бесчастный В.И. Экспериментальные исследования грузопотока крупнокускового груза // Шахтный и карьерный транспорт. – М.: Недра, 1999. – Вып. 11. – с. 7-14.
10. Коваль А.В. Исследование динамических нагрузок на выбор конструктивных параметров роликотопор шахтных ленточных конвейеров: Дис. канд. техн. наук. – М., 1995.
11. Козлов Е.М. Определение нагрузок на основные элементы тяжелых ленточных конвейеров ГОКов // Шахтный и карьерный транспорт. – М.: Недра, 2000. – с. 24-27.
12. Єфіменко Л.І., Тиханський М.П.. Оценки влияния отдельных нагрузок действующих на формирование металлоемкости става ленточного конвейера // Вісник КНУ. Збірник наукових праць. Вип.33.- Кривий Ріг-2013.- С.211-215.
13. Абрамов, О. В., Розенбаум А. Н. Прогнозирование состояния технических систем / О.В. Абрамов, А.Н. Розенбаум // М.: Наука, 1990. -126с.
14. Єфіменко Л.І., Тиханський М.П.. Моделювання навантаження на опорні конструкції важких стрічкових конвеєрів // Вісник КНУ. Збірник наукових праць. Вип.34.- Кривий Ріг-2013.- С.34-37.
15. Тиханський, М.П.. Методи й системи діагностики та прогнозування технічного стану стрічкових конвеєрів / Тиханський М.П., Єфіменко Л.І //Вісник КТУ. Збірник наукових праць. Вип.21.- Кривий Ріг-2008.- С.163-167
16. Єфіменко, Л.І. Принципи побудови автоматизованої системи діагностики технічного стану конвеєра / Л.І. Єфіменко, М.П. Тиханський // Вісник КТУ. - Вип. 25, 2010. - С. 163-167.

Рукопис подано до редакції 24.03.2020

УДК 338.20

А. А. ТУРИЛО, д-р екон. наук, доц., А. М. ТУРИЛО, д-р екон. наук, проф.
Криворізький національний університет

ПРОЦЕСИ КАПІТАЛІЗАЦІЇ, ЗРОСТАННЯ РИНКОВОЇ ВАРТОСТІ ТА ІННОВАТИЗАЦІЇ КОРПОРАЦІЙ В АСПЕКТІ ЗНАЧИМОСТІ І ВПЛИВУ НА НИХ СОЦІАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНОГО ЧИННИКА (КАПІТАЛУ)

Мета роботи. Удосконалити і розширити зміст категорії «соціально-психологічний капітал» взагалі і безпосередньо на рівні окремого суб'єкта господарювання, зокрема на рівні підприємства. Розкрито значимість і зміст соціально-психологічного капіталу підприємства. Показано вплив соціально-психологічного капіталу на процеси капіталізації та інноватизації підприємства.

Виділено роль психологічного чинника в діяльності суб'єктів підприємницької діяльності. Показано, що в умовах формування нової інноваційно-інтелектуальної економіки існує актуальна потреба у викресленні, дослідженні і комплексному оцінюванні такої категорії як психологічний капітал підприємства.

Представлено в узагальненому виді теоретико-методичні підходи, щодо визначення основних напрямків впливу соціально-психологічного капіталу на економіку підприємства, а саме на рівень його капіталізації, ринкової вартості та економічної ефективності діяльності суб'єкта господарювання.

Методи дослідження: системний, логічний, аналітичний.

Наукова новизна: 1. Визначено, що в економічній оцінці діяльності підприємства на сучасному етапі розвитку суспільного виробництва потрібно враховувати роль психологічного капіталу. 2. Удосконалено підходи до розкриття змісту категорії «соціально-психологічний капітал підприємства». 3. Представлено зв'язок соціально-психологічного капіталу підприємства з ключовими виробничо-господарськими процесами, що відбуваються на ньому (процеси капіталізації, зростання ринкової вартості, інноватизації).

Практична значимість. Представлено основні напрямки впливу соціально-психологічного капіталу, що сформувався на підприємстві на певний період часу, на процеси капіталізації, зростання ринкової вартості та інноватизації.

Результати. Представлено теоретико-методичний підхід до розкриття сутності категорії «соціально-психологічний капітал».

Показати особливу і зростаючу роль психологічного чинника в умовах формування нової парадигми соціально-економічного розвитку суспільства та становлення нової економіки, а саме інноваційно-інтелектуальної економіки.

Визначити, що в умовах інноваційної економіки, як інтелект людини-працівника поступово трансформується в інтелектуальний капітал підприємства, так і психологічний чинник в економічній діяльності підприємства поступово перетворюється на його психологічний капітал.

Акцентувати увагу на тому, що психологічний капітал в єдності з соціальним капіталом підприємства є ключовою умовою реалізації його інноваційного і економічного потенціалів, що визначає нові підходи в процесах інвестування діяльності підприємства, а саме пріоритетність інвестицій в соціально-психологічний та інтелектуальний капітал будь-якого суб'єкта підприємництва.

Ключові слова: соціальний капітал, психологічний капітал, підприємство, капіталізація, інноватизація, ринкова вартість.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-126-131

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Мінливий і конкурентний розвиток ринкової системи вимагає від суб'єктів господарювання постійного пошуку нових підходів до капіталізації і формування нової ринкової вартості підприємства.

Соціальний і психологічний чинники стають рушійною силою сучасного прогресу. Тому і наука, і практика розуміючи всю актуальність даної проблеми шукають відповідні і ефективні методи її вирішення.

Аналіз досліджень. Динамічна капіталізація і підвищення ринкової вартості підприємства виступають основною вимогою власників підприємства до його вищого корпоративного менеджменту. Саме по таким показникам, в першу чергу, оцінюється діяльність топ-менеджменту корпорації [1-8, 10, 15].

Разом з тим завдання забезпечення динамічності продажу капіталізації підприємства є одним із самих складних серед всіх, що постають перед ним в процесі його існування.

Вирішення такого завдання потребує від корпоративного менеджменту зміни парадигми розвитку підприємства, пошуку нових концепцій в економічних і соціальних сферах життєдіяльності колективу корпорації [9, 11, 12, 14].

Постановка задачі. Актуальність науково-практичної проблеми ефективного управління соціально-психологічним капіталом підприємства і визначила мету даної роботи: удосконалити зміст даної категорії і визначити напрями впливу соціально-психологічного капіталу на процеси капіталізації, зростання ринкової вартості та інноватизації.

Викладення матеріалу. Розвиток світової економіки, посилення конкурентної боротьби, швидкість розповсюдження інформації, неможливість утаємничити різного роду винаходи і інновації на значний період часу, зростаюче взаємопроникнення господарських зв'язків між суб'єктами підприємницької діяльності, об'єктивне пов'язання підприємствами різних галузей національної економіки свого перспективного розвитку з інноваціями високого рівня, певне зниження капітальної ваги фізичних активів в загальній структурі ресурсів підприємства, достатньо значиме обмеження можливостей регулювання підприємницької діяльності за рахунок ціноутворення (а саме підвищення ціни на товар, послуги, роботи), тенденції до ускладнення внутріфінансового господарського механізму та суттєве зростання ролі конкретного працівника в конкурентному розвитку підприємства призвели до появи і функціонування особливих форм капіталу на ньому: інтелектуального капіталу і соціального капіталу (рис. 1).

В закордонній літературі інтелектуальний капітал підприємства у загальному виді визначається як об'єднані разом інтелект, навички та спеціальні знання, а соціальний капітал представляється як один із елементів інтелектуального капіталу і складається він із знань, які отримано завдяки відносинам як внутрі організації, так і за її межами.



Рис. 1. Специфічні (особливі) форми капіталу на підприємствах різних галузей господарювання

На рис. 2 представлено західний підхід стосовно складових інтелектуального капіталу.

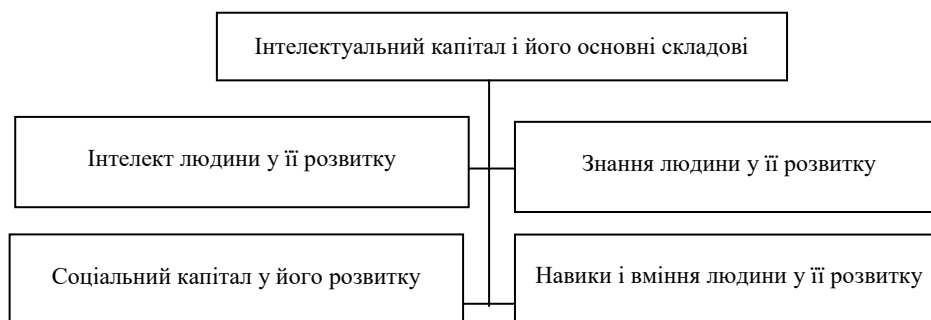


Рис. 2. Основні складові інтелектуального капіталу

Така позиція закордонних вчених здається нам певним чином дискусійною. Ми маємо свої підходи до змісту і трактування такої категорії, як «соціальний капітал корпорації (фірми, підприємства)». Зрозуміло, що це стосується і категорії «інтелектуальний капітал корпорації (підприємства)», а саме основних складових даного виду капіталу (ІКП).

Інтелектуальний капітал підприємства і соціальний капітал підприємства це різні за своїм змістом капітали, вони мають окремий статус і свої критерії оцінки.

На наш погляд, більш логічно і обґрунтовано використовувати замість поняття «соціальний капітал (СК)» поняття «соціально-психологічний капітал (СПК)».

Соціально-психологічний капітал підприємства (СПКП) - це категорія, яка виокремлює і вказує на два безумовно важливих аспекта в розвитку підприємства: соціальний і психологічний.

Такий вид капіталу виводить із «тіні» в системі менеджменту підприємства і соціально-економічних відносин на ньому питання психології людини-працівника і врахування його в процесі стратегічно-тактичної діяльності підприємства.

Пріоритетами світової науки і економіки стають психо-біологічні технології і така наука як «психонетика» і не враховувати це неможливо.

Людина з сукупністю її інтелектуально-ділових якостей і певною психологією стає в епоху інформаційно-інноваційної економіки абсолютно вирішальним чинником конкурентності і прогресу будь-якої країни, галузі чи корпорації (фірми, підприємства).

Психологічний стан працівника у єдності з соціальною складовою його функціонування на підприємстві формує засадничі умови до можливостей реалізації професійних його здібностей і потенціалу людського капіталу в цілому.

Соціально-психологічний капітал об'єктивно і закономірно більш повно і глибинно відображає, на відміну від соціального капіталу, всю складну сукупність якостей людини-працівника, її індивідуальність та унікальність.

Виокремлене і інтегроване врахування соціального і психологічного чинників – це умова нових можливостей для оцінки їх впливу на кінцеві результати діяльності підприємства. Саме в цьому полягає актуальність і значимість категорії СПКП.

На рис. 3 представлено умови розмежування ІКП і СПКП.

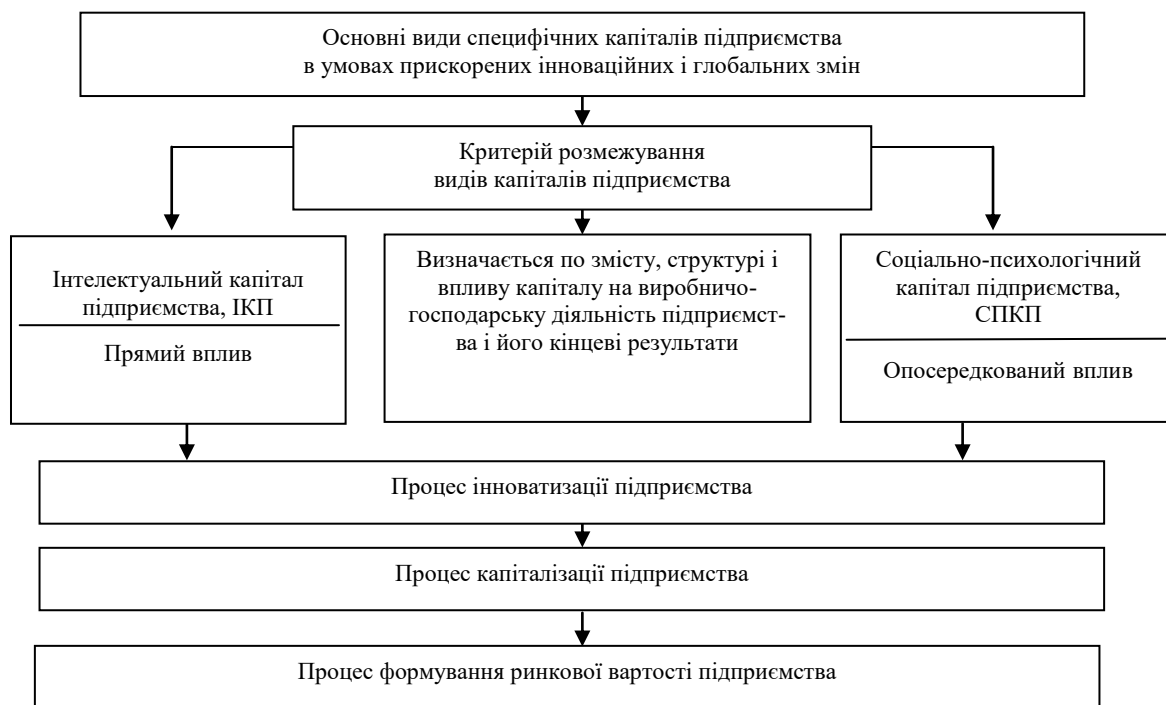


Рис. 3. Умови розмежування інтелектуального і соціально-психологічного капіталів підприємства і виду їх впливу на процеси інноватизації, капіталізації і зростання його ринкової вартості

На наш погляд, головна відмінність між інтелектуальним капіталом підприємства і соціально-психологічним капіталом підприємства пов'язана з відмінністю процесної реалізації і впливу цих двох видів капіталу на формування результатів діяльності підприємства. Інтелектуальний капітал є безпосередньо складовою виробничо-господарського процесу на підприємстві і безпосередньо впливає на проміжні та кінцеві його результати. Соціально-психологічний же капітал, за своїм змістом, пов'язаний з соціальною і морально-психологічною сферою діяльності працівника на підприємстві, а за напрямом свого впливу він орієнтований на сприяння ефективному протіканню виробничо-господарського процесу і реалізації можливостей інтелектуального капіталу на підприємстві.

Розглянемо основні елементи соціально-психологічного капіталу підприємства (СПКП). Вважаємо, що його основну сутність складають: корпоративна культура, економічна культура, моральний клімат, економічний менталітет, психологія і економічна психологія, умови соціальної сфери, загальна повага до працівника як особистості і умови його розвитку в межах підприємства (рис. 4).

Кожна окрема складова соціально-психологічного капіталу підприємства, що представлена на рис. 4, є важливою і, вони в більшому або меньшому ступені пов'язані між собою і саме разом, всі вони, у своїй єдності, утворюють таку вельми важливу для мікрорівня категорію.

Соціальний прогрес, розвиток демократизму, зростання значимості і поваги до людини, і разом з тим жорсткі умови конкуренції визначили об'єктивну необхідність максимального врахування в діяльності і оцінці підприємства соціального і психологічного чинників.

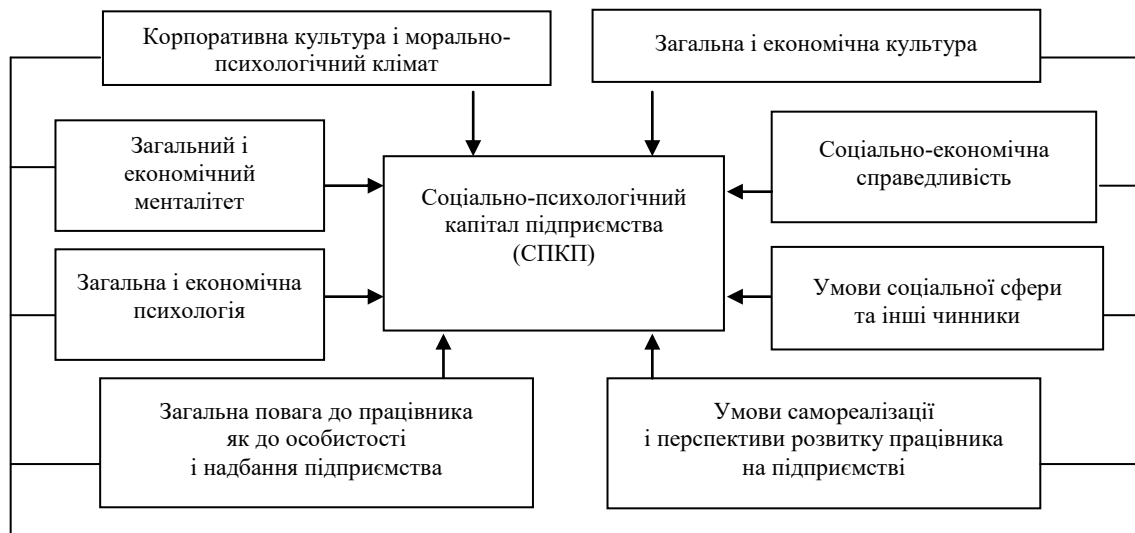


Рис. 4. Основні складові формування соціально-психологічного капіталу на підприємстві

Об'єктивність і нагальність зосередження будь-якої корпорації на цих чинниках визвана тим, що саме в площі соціальних відносин і психології працівника (поряд з інтелектом і знаннями) знаходяться основні перспективні резерви її розвитку. Ось чому в економічній діяльності будь-якого суб'єкта господарювання соціально-психологічний капітал повинен бути визнаний і виведений на своє чільне місце серед основних сформованих пріоритетів його розвитку.

Аналіз світової ситуації показує, що рівень свідомості, самоповаги та самоствердження працівників корпорацій, фірм та підприємств зріс на стільки, що їх соціальні потреби і вимоги, психологічні настанови та психологічне сприйняття реальних процесів економічної дійсності стали стрижнем мотиваційної діяльності колективу різних підприємств по забезпеченню процесів їх інноватизації та капіталізації, важливою умовою заключення змістовно нових колективних договорів та призвели до зростання масштабів і якості соціально-психологічного капіталу на підприємствах і як наслідок до необхідності ґрунтовного його планування та управління.

Узагальнення викладеного в даній роботі матеріалу надає нам можливість представити наступне визначення категорії «соціально-психологічний капітал підприємства».

Соціально-психологічний капітал підприємства – це об'єктивна категорія, що відображає певним чином зміст соціально-економічних відносин на підприємстві, характеризує специфічний (особливий) вид нематеріальних ресурсів, фокусує в собі соціальний і психологічний аспекти діяльності персоналу підприємства у їх синергітичній єдності і визначає опосередкований вплив такого капіталу на всі сфери, ефективність і кінцеві результати діяльності підприємства.

Соціально-психологічний капітал підприємства змінює силу свого впливу на економіку підприємства в залежності від рівня створених для його розвитку можливостей і в кінцевому підсумку виступає визначальним чинником розвитку і реалізації потенціалу підприємства.

Таким чином, представлена нами робота підтверджує і розкриває нові можливості в оцінці та перспективному розвитку корпорації (держави, підприємства).

Список літератури

1. Акофф Р. Планирование будущего корпорации / Р. Акофф. – М.: Прогрес, 1985. – 325с.
2. Активізація інноваційної діяльності: організаційно-правове та соціально-економічне забезпечення / [О.І. Амоша, В.П. Антонюк, А.Ш. Землянікін та ін.]. – Ін-т економіки промисловості НАН України. – Донецьк. 2007. – 328с.
3. Балабанов И.Г. Инновационный менеджмент : учеб. пособ. / И.Г. Балабанов. – СПб.: Питер, 2001. – 304 с.
4. Базилевич В.Д. Интеллектуальная собственность: Підручник.-К.:Знання.2008.-441с.
5. Борисов А.Б. Большой экономический словарь / А.Б. Борисов. – М.: Книжный мир. 2009. – 860с.
6. Друкер П.Ф. Эффективное управление предприятием : пер. с англ. / П.Ф. Друкер. – М.: Вильянс, 2008. – 224с.
7. Карпищенко А. А. Организационное обеспечение инновационного развития предприятия / А. А. Карпищенко // Маркетинг инноваций и инновации в маркетинге : [монография / под общ. ред. д.э.н., проф. С. М. Ильашенко]. – М. : ИТД «Университетская книга», 2008. –С. 459 - 464.
8. Кузьмін О.Є. Основи менеджменту/ О.Є. Кузьмін, О.Г. Мельник. – К.: Академ. – видав. 2003. – 416 с.
9. Шегда А.В. Менеджмент/ А.В. Шегда. – К.: Знання, 2002. –583 с.

10. Туленков Н.В. Введение в теорию и практику менеджмента: учеб. Пособие/ Н.В. Туленков. – К.: МАУП, 1998. – 314 с.
11. Класика менеджмента: пер. С англ. / Под ред. М. Уорена. – СПб.: Питер, 2001. – 1168 с.
12. Скібіцький О.М. Стратегічний менеджмент / О.М. Скібіцький. – К.: ЦУЛ, 2006. – 312 с.
13. Турило А.М. Менеджмент інноваційного розвитку підприємства / А.М. Турило, А.А. Турило // Вісник КНУ. – Кривий Ріг: КНУ, 2013. – №35. – С. 278–280.
14. Дойль П. Менеджмент: стратегія і тактика / П. Дойль. – СПб.: Питер, 1999. – 560 с.
15. Chandler A. Strategy and structure / A. Chandler. – Cambridge: Mass MIT Press, 1962. – 384p.

Рукопис подано до редакції 15.04.2020

УДК 629.114.42: 622.271

В.И. ПАХОМОВ, канд. техн. наук, доц., И.В. ГИРИН, ст. препод.,
В.С. ГИРИН, д-р техн. наук., проф., Криворожский национальный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СЕРВИСНОГО ЦЕНТРА КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ ANYLOGIC

Цель. Основной целью работы является обеспечение эксплуатационной надежности технологического автотранспорта горнодобывающих предприятий путем повышения эффективности процессов технического сервиса с использованием разработанной методики моделирования системы обслуживания автомобилей

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

Научная новизна. Научную ценность представляет: разработанная имитационная модель функционирования сервисного центра для определения закономерностей оптимальной организации сервисного обслуживания на основе компьютерного эксперимента; разработанный алгоритм, позволяющий на основе обращений в автосервисный центр определять параметры имитационной модели и прогнозировать загрузку производственных мощностей сервисной зоны; предложенная система моделей развития автосервисного хозяйства, основанная на декомпозиционном подходе и включающая оптимизационную модель размещения производственных мощностей автосервиса и выбора их производственной структуры

Практическая значимость работы. Разработанная система моделирования позволяет: обосновывать оптимальное число ступеней проведения ТО и сопутствующего ремонта; сократить объемы работ, выполняемых на каждой ступени ТО и ремонта; оптимизировать режимы проведения технического обслуживания и ремонта для конкретных горно-технических условий эксплуатации подвижного состава: сократить время изъятия: подвижного состава из эксплуатации для его обслуживания и восстановления.

Результаты: разработанные математическая модель и методика оптимизации объемов работ в автосервисном центре позволяют выполнять функциональный анализ закономерностей, действующих при реализации процессов технического сервиса с использованием диагностической системы условий эксплуатации и изменения технического состояния подвижного состава; предлагаемая методика моделирования 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 большегрузных автосамосвалов.

Ключевые слова: автосервисный центр, моделирование, карьерные самосвалы, программа ANYLOGIC.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-131-138

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Карьерный технологический автотранспорт является одним из основных элементов ведения открытых горных работ. Доля автотранспортных затрат в общей стоимости добычи открытым способом на украинских горнодобывающих предприятиях увеличивается по мере роста глубины карьеров и достигает иногда 70%. Вместе с тем фактическая производительность карьерных автосамосвалов значительно ниже их технико-технологических возможностей и эта разница составляет до 2,5 и более раз по различным маркам машин. При этом более половины потерь производительности карьерных автосамосвалов обусловлены состоянием системы технического обслуживания и ремонта. Повышение уровня развития, организации и обеспечения успешного функционирования автотранспортной системы во многом может достигаться благодаря поддержанию в рабо-

тоспособном 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. Это определяет в практическом аспекте актуальность обоснования параметров системы технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов для повышения эффективности этой системы. Решение этой научно-практической задачи является необходимым условием устойчивого повышения работоспособности карьерного автотранспорта и эффективности его производственной эксплуатации.

Анализ исследований и публикаций. Научным положениям и практическим рекомендациям по эксплуатации и ремонтному обслуживанию карьерных автомобилей посвящены работы Ю.А. Монастырского, Л.И. Андреевой, Э.В. Горшкова, А.А. Котяшева, А.А. Кудрявцева, А.М. Макарова, З.Л. Сироткина, Ю.В. Стенина, В.Д. Штейна, И.М. Циперфина, А.Н. Казареца и др. Дальнейшая работа по созданию эффективной системы автосервисного обслуживания карьерных автосамосвалов ведётся в направлении развития новых технологий контроля и диагностирования в связи со всё более широким применением интеллектуальных средств измерения и обработки диагностической информации на базе ПК. Но в вышеперечисленных работах вопросы научно-обоснованной методологии на проведение автосервисных работ в условиях современных горных предприятий не получили полноценного отражения. В связи с этим, поиск путей совершенствования функционирования системы технического обслуживания и ремонта с учетом условий эксплуатации и изменения значений технико-эксплуатационных характеристик технологического подвижного состава горнодобывающих предприятий является актуальным.

Постановка задачи. Для реализации цели в работе были поставлены следующие задачи:

- предложить эффективную модель формирования мощности автосервиса, учитывающую вероятностный характер производственных процессов;
- разработать алгоритм адаптации общепринятой нормативной базы для расчёта мощности автосервиса с учетом воздействия горно-технических факторов эксплуатации подвижного состава;
- разработать методику проведения моделирования, позволяющую произвести сбор исходных данных по всему технологическому подвижному составу горного предприятия;
- обосновать критерии оптимальности создания нового или реконструкции действующего автосервиса с учётом его специализации;
- получить путём моделирования показатели мощности автосервиса в диапазоне возможных значений исходных параметров на практике.

Изложение материала и результаты. Автосервисный центр представляет собою систему массового обслуживания (СМО). Построение пятиканальной модели такой системы (рис. 1) выполняется с помощью элементов библиотеки Enterprise Library. Для построения СМО используются элементы:

Source – источник заявок;

SelectOutput – элемент, который распределяет проведение технического осмотра;

Queue – очередь ожидания обслуживания заявок;

Delay – элемент, который моделирует узел обслуживания;

Sink – элемент, который принимает выполненные заявки.

В автосервисный центр приезжают карьерные автосамосвалы на ежедневное обслуживание и диагностику или на техническое обслуживание, либо на ремонт. В зависимости от периодичности проведения технического обслуживания или планового ремонта автосамосвалы направляются на посты технического обслуживания (ТО-1, ТО-2 или ТО-3) или на посты планового ремонта (ПР-1 или ПР-2). Первый канал - очередь проведения технического обслуживания ТО-1. Второй канал - очередь проведения технического обслуживания ТО-2. Третий канал - очередь проведения технического обслуживания ТО-3. Четвертый канал - очередь проведения планового ремонта ПР-1. Пятый канал - очередь проведения планового ремонта ПР-2. Необходимо добавить в модель из палитры «Статистика» семь элементов «Гистограмма» и семь элементов «Данные гистограммы». Гистограммы будут отображать распределение времени в системе на основании данных, собранных в элементах «Данные гистограммы». Первый такой элемент назовём Ochered_na_tehosmotr_1 (распределение времени ожидания на ТО-1). Второй

элемент `Ochered_na_tehosmotr_2` (распределение времени ожидания на ТО-2). Третий элемент `Ochered_na_tehosmotr_3` (распределение времени ожидания на ТО-3). Четвертый элемент `Ochered_na_Premont_1` (распределение времени ожидания на ПР-1). Пятый элемент `Ochered_na_Premont_2` (распределение времени ожидания на ПР-2). Шестой элемент `Ochered_na_choden_obslog` (распределение времени ожидания на ЕО) и седьмой элемент `Ochered_na_diagnost` (распределение времени ожидания на Д).

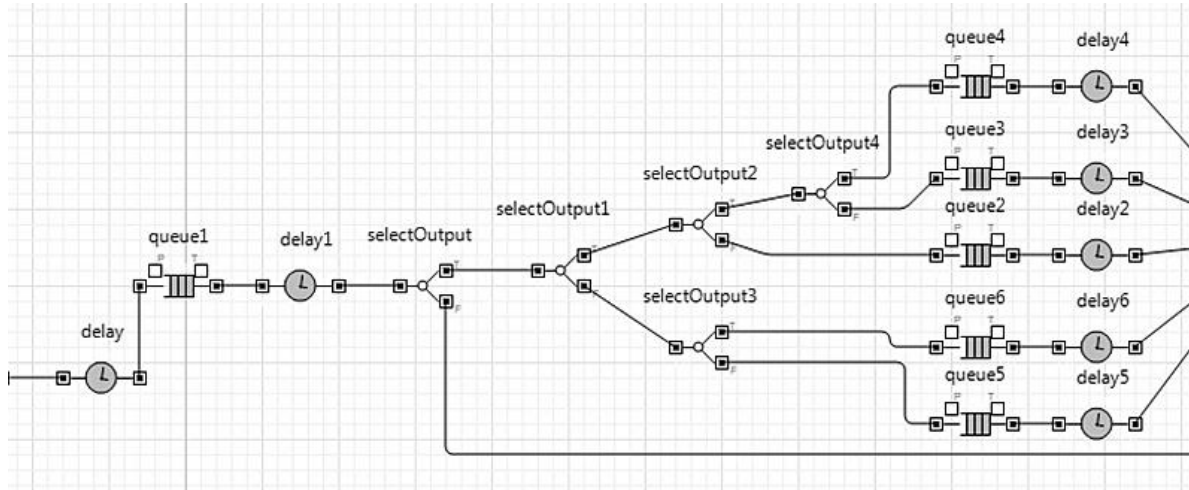


Рис. 1. Модель автосервисного центра

Затем необходимо открыть ранее построенные гистограммы параметров системы при максимальной вместимости очереди автосамосвалов, ожидающих обслуживания. Задаем заголовок «Распределение времени ожидания на ТО-1», в поле «Данные» задаем `Ochered_na_tehosmotr_1`. Также открываем вторую гистограмму, добавляем данные и задаем в качестве данных `Ochered_na_tehosmotr_2`, заголовок «Распределение времени ожидания на ТО-2». Открываем третью гистограмму, добавляем данные и задают в качестве данных `Ochered_na_tehosmotr_3`, а заголовок «Распределение времени ожидания на ТО-3». Открывают четвертую гистограмму, добавляют данные и задают в качестве данных `Ochered_na_Premont_1`, а заголовок «Распределение времени ожидания на ПР-1». Открывают пятую гистограмму, добавляют данные и задают в качестве данных `Ochered_na_Premont_2`, а заголовок «Распределение времени ожидания на ПР-2». Открывают шестую гистограмму, добавляют данные и задают в качестве данных `Ochered_na_choden_obslog`, а заголовок «Распределение времени ожидания на ЕО». Открывают седьмую гистограмму, добавляют данные и задают в качестве данных `Ochered_na_diagnost`, а заголовок «Распределение времени ожидания на Д». При настройке гистограмм должен быть активный флажок «Отображать плотность вероятности».

Для определения этих параметров в модель следует поместить класс. Класс вмещает два глобальных атрибута: `Vstal_v_ochered` - время, когда автосамосвал стал в очередь.

Размещение класса выполняется путем вызова диалога. Для этого следует получить контекстное меню для корневого класса на дереве проекта и выполнить команду «Создать» Java класс». В результате откроется диалог создание класса. На первом шаге необходимо задать имя класса и имя базового класса, который будет расширять новый класс. При работе с заявками в качестве такого класса выступает системный класс `com.xj.anylogic.libraries.enterprise.Entity`. Он представляет собой абстрактную заявку.

Затем следует перейти ко второму шагу и задать поля класса. В результате будет создан класс Java, код которого можно открыть и отредактировать при необходимости.

Выполним настройку построенной модели. Источник заявок обладает следующими настройками:

автосамосвалы находятся в источнике, промежуток времени между заявками равен единице;

количество заявок поступающих за один раз равно единице.

Для моделирования каналов нужно использовать такие элементы палитры библиотеки Enterprise Library:

элемент SelectOutput - этот элемент используется для моделирования процесса выбора прохождения технического обслуживания или планового ремонта и должен срабатывать с заданной вероятностью. Зададим ему такие свойства: значение вероятности равно 0,96. Равная вероятность выбора прохождения технического обслуживания или планового ремонту имеет процентное соотношение 4%, а вероятность выхода на линию после ежедневного обслуживания и диагностики - 96%;

элемент SelectOutput1 - этот элемент должен срабатывать с заданной вероятностью. Зададим ему такие свойства: значение вероятности равно 0,96. Равная вероятность выбора прохождения технического обслуживания, которая имеет процентное соотношение 96%, а вероятность прохождения планового ремонту - 4%;

элементу SelectOutput2 зададим такие свойства: значение вероятности равно 0,473. Равная вероятность выбора прохождения технического обслуживания ТО-1, которая имеет процентное соотношение 52,7%, а вероятность прохождения технического обслуживания ТО-2 и ТО-3 - 47,3%;

элементу SelectOutput3 зададим такие свойства: значение вероятности равно 0,55. Равная вероятность выбора прохождения планового ремонта ПР-1, которая имеет процентное соотношение 45%, а вероятность прохождения планового ремонта ПР-2 - 55%;

элементу SelectOutput4 зададим такие свойства: значение вероятности равно 0,44. Равная вероятность выбора прохождения технического обслуживания ТО-2, которая имеет процентное соотношение 56%, а вероятность прохождения технического обслуживания ТО-3 - 44%;

элемент Sink принимает отработанные заявки. Он обладает параметрами настройки по умолчанию.

Настроим эксперимент модели:

модельное время – часы;

время остановки модели 8760.

Проведем исследование имитационной модели функционирования автосервисного центра. В зависимости от выбранного критерия исследование может быть направлено на совершенствование технической системы, на улучшение управления информационными потоками, на оптимизацию различных производственных задач.

Простои карьерных автосамосвалов, являющихся дорогостоящей и высокопродуктивной техникой, в ожидании выполнения технического обслуживания и ремонта, а также простои, связанные с проведением ТО и ремонта, как правило, сопровождаются значительными затратами и снижением производительности этих машин. В этой связи для исследования имитационной модели автосервисного центра в качестве критерия принят такой показатель, как время ожидания на ТО и ремонт автосамосвалов. Исследование работы имитационной модели автосервисного центра выполнялось с использованием откорректированных нормативов ТО и ремонта автосамосвалов БелАЗ-75131:

$$L'_{\text{то1}} = L_{\text{н то1}} K_{\text{рез}} = 250 \cdot 1,05 = 262,5 \text{ час}; \quad t'_{\text{то1}} = t_{\text{то1}} K_{\text{рез}} = 19,5 \times 0,9 = 17,6 \text{ чел-час};$$

$$L'_{\text{то2}} = L_{\text{н то2}} K_{\text{рез}} = 500 \cdot 1,05 = 525 \text{ час}; \quad t'_{\text{то2}} = t_{\text{то2}} K_{\text{рез}} = 43 \times 0,9 = 38,7 \text{ чел-час};$$

$$L'_{\text{то3}} = L_{\text{н то3}} K_{\text{рез}} = 1000 \cdot 1,05 = 1050 \text{ час}; \quad t'_{\text{то3}} = t_{\text{то3}} K_{\text{рез}} = 60 \times 0,9 = 54 \text{ чел-час};$$

$$L'_{\text{пр1}} = L_{\text{н пр1}} K_{\text{рез}} = 5000 \cdot 1,05 = 5250 \text{ час}; \quad t'_{\text{пр1}} = t_{\text{пр1}} K_{\text{рез}} = 400 \times 0,9 = 360 \text{ чел-час};$$

$$L'_{\text{пр2}} = L_{\text{н пр2}} K_{\text{рез}} = 8000 \cdot 1,05 = 8400 \text{ час}; \quad t'_{\text{пр2}} = t_{\text{пр2}} K_{\text{рез}} = 690 \times 0,9 = 621 \text{ чел-час}$$

$$t'_{\text{ео}} = t_{\text{ео}} K_{\text{рез}} = 0,7 \times 0,9 = 0,63 \text{ чел-час}.$$

Результаты расчета годовой производственной программы автосервисного центра по техническому обслуживанию и ремонту автосамосвалов БелАЗ-75131 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Годовая программа по ТО и ремонту автосамосвалов

Виды работ	$L_{\text{кв}}$, км	L_0 , км	α_t	N_i	$t'_{\text{в}}$, чел-час	$T_{\text{в}}$, чел-час
Капитальный ремонт	250000	598200	0,788	2	–	–
Плановый ремонт №2	84000	598200	0,788	5	621	2936,7
Плановый ремонт №1	52500	598200	0,788	4	360	1538,4
Техническое обслуживание №3	10500	598200	0,788	46	54	2461,4
Техническое обслуживание №2	5250	598200	0,788	57	38,7	2205,0
Техническое обслуживание №1	2625	598200	0,788	114	17,6	2005,6
Ежедневное обслуживание и диагностика	–	598200	0,788	2301	0,63	1449,6
Сумма	–	–	–	2529	1092	12597

С учетом годовой производственной программы по ТО и ремонту автосамосвалов БелАЗ-75131 рассчитаны: количество постов ТО и ремонта (табл. 2), численность производственного персонала (табл. 3) и площади производственных помещений автосервисного центра (табл. 4).

Количество постов для ТО и ремонта автосамосвалов

Виды работ	N_{oi}	R_i	τ_i	X_i
Плановый ремонт №2	0,013	37047,8	114005	3
Плановый ремонт №1	0,012	40999,6	84005	2
Техническое обслуживание №3	0,125	3843,7	7805	2
Техническое обслуживание №2	0,156	3075,0	3005	1
Техническое обслуживание №1	0,312	1537,5	2105	1
Ежедневное обслуживание и диагностика	12,608	38,1	155	4

Таблица 2

Таблица 3

Численность производственного персонала

Наименование зон и цехов	$\Phi_{в.р.}$, час	$Ч_{р.л.}$, кол.раб.
Пост технического обслуживания №1	1738	2
Пост технического обслуживания №2 и №3	1738	2
Пост ежедневного обслуживания	1738	2
Пост планового ремонта №1	1738	2
Пост планового ремонта №2	1738	2
Пост диагностики	1738	2
Склад лакокрасочных материалов	1738	1
Покрасочный цех	1738	1
Арматурный цех	1738	1
Жестяницкий цех	1738	1
Сварочный цех	1738	1
Склад запасных материалов	1738	1
Вулканизационный цех	1738	1
Шиномонтажный цех	1738	1
Склад инструмента	1738	1
Слесарно-механический цех	1738	1
Электротехнический цех	1738	1
Цех по ремонту топливной аппаратуры	1738	1
Агрегатный цех	1738	1
Кузнечный цех	1738	1
Медницкий цех	1738	1
Аккумуляторный цех	1738	1

Таблица 4

Площади производственных помещений

Наименование производственных помещений	Площадь, м ²
Пост технического обслуживания №1	326
Пост технического обслуживания №2 и №3	326
Пост ежедневного обслуживания	652
Пост планового ремонта №1	326
Пост планового ремонта №2	326
Пост диагностики	652
Склад лакокрасочных материалов	9,0
Покрасочный цех	165
Арматурный цех	10,4
Жестяницкий цех	165
Сварочный цех	165
Склад запасных материалов	9,0
Вулканизационный цех	33,6
Шиномонтажный цех	297,2
Склад инструмента	2,6
Слесарно-механический цех	136,8
Электротехнический цех	32,8
Цех по ремонту топливной аппаратуры	36,9
Агрегатный цех	114,4
Кузнечный цех	66,5
Медницкий цех	52,3
Аккумуляторный цех	43,2
Зона хранения автосамосвалов	2520
Сумма	6467,7

На основании исходных данных, которые представлены в табл.1 - 4 выполнено моделирование функционирования автосервисного центра. Модельное время - минуты. Время остановки не задано. Скорость прорисовки презентации задаём равной 8 единиц. Вид работающей модели показан на рис. 2, а каналов обслуживания на рис. 3.

Из работы данной модели можно увидеть, что автосамосвал после зоны ежедневного обслуживания перемещается в зону компьютерной диагностики. Именно компьютерная диагностика помогает выявить основные неисправности карьерных автосамосвалов, определить объёмы и трудоёмкость ремонтных работ, а также спланировать выполнение в срок этих ремонтов. В связи с этим компьютерная диагностика автомобиля является важнейшим этапом профессиональных работ любого авто сервисного центра. Компьютерная диагностика гарантирует на определенный период надежность всех элементов управления автосамосвалом, а также позволяет провести адаптацию или перепрограммирование бортовой компьютерной системы. Компьютерный диагностический комплекс подсоединяется к специальному разъёму автосамосвала и выполняется сканирование всех электронных систем автомобиля по главным параметрам работоспособности. Основные системы и элементы, которые диагностируются: системы двигателя, тяговый электропривод, электромотор-колесо, ходовая часть, рулевое управление, тормозные системы, гидравлическая система и низковольтное электрооборудование.

Компьютерная диагностика может занимать разную продолжительность по времени, в зависимости от того, за какими неисправностями выполняется проверка. Однако, как правило, это составляет от 10 до 30 минут.

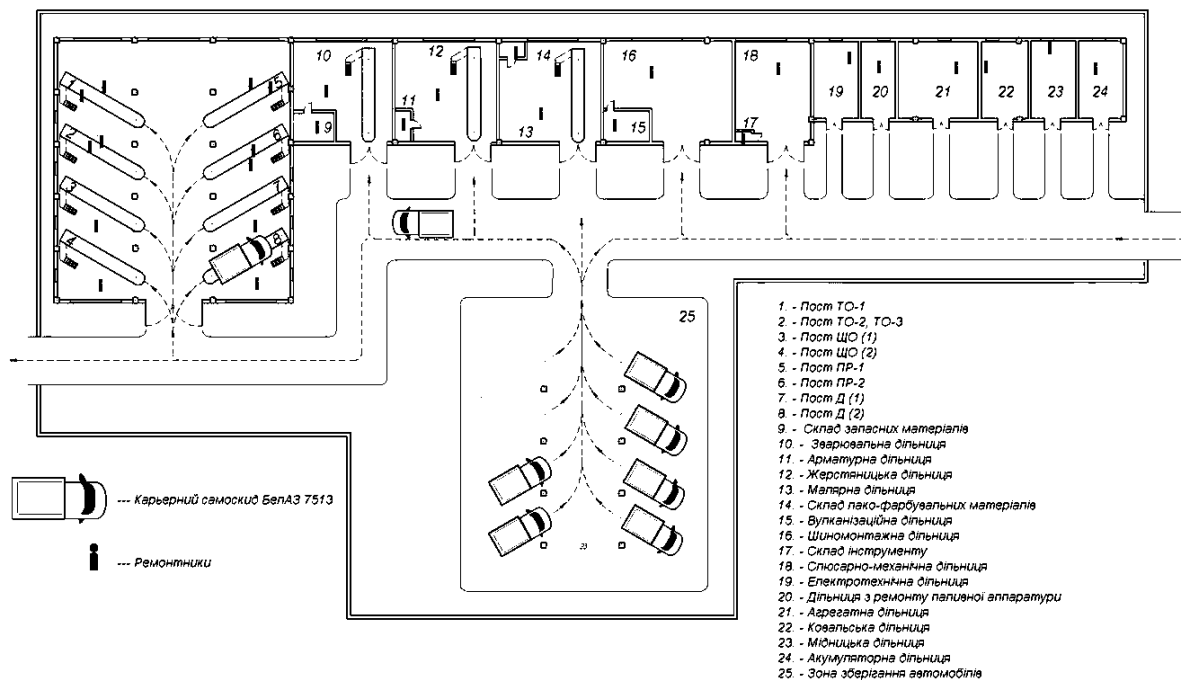


Рис. 2. Схема перемещений автосамосвалов

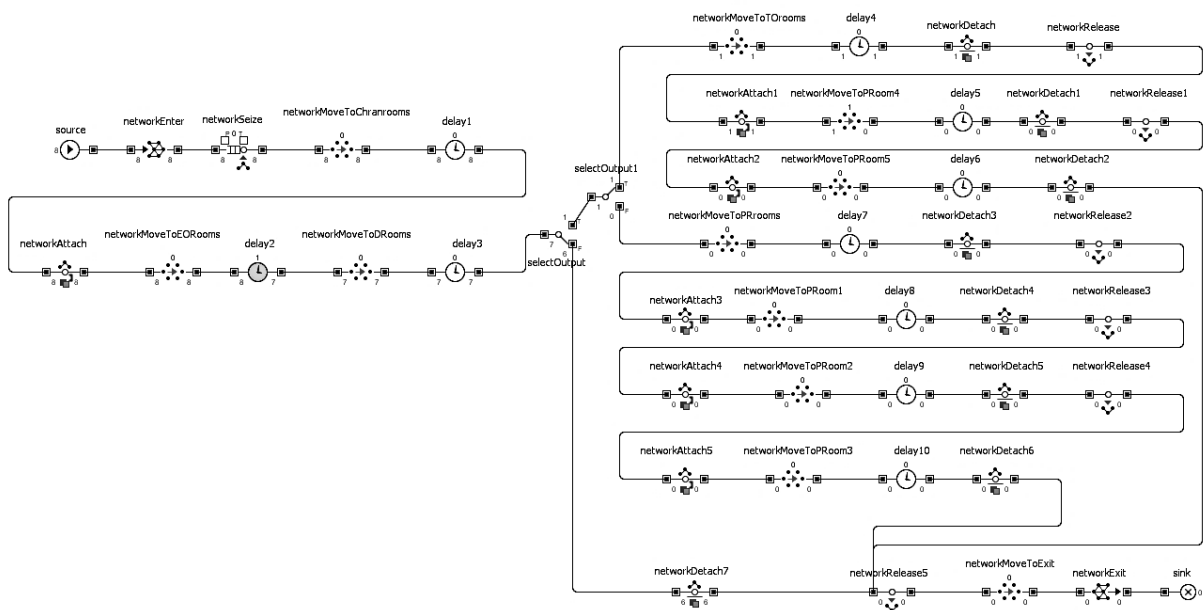


Рис. 3. Канали обслуговування автосамосвалов

При проведенні комп'ютерної діагностики автосамосвала розглядаються не тільки шифри помилок, а також текучі показання всіх датчиків і механізмів самосвала в графічному і цифровому режимі. Комп'ютерна діагностика самосвала дозволяє швидко і точно виявити несправності в вузлах і агрегатах, і дати оцінку общому стану авто-самосвала.

Исследование работы имитационной модели автосервисного центра выполнялось в соответствии с принятым критерием, т.е. по минимальным значениям времени ожидания на техническое обслуживание и ремонт карьерных автосамосвалов. Поэтому такая характеристика параметров элементов очереди, как вместимость, установлена на уровне «минимальная», вместо «максимальная», которая была установлена при сборе статистических данных функционирования модели автосервисного центра.

Выводы и направление дальнейших исследований. Анализ результатов исследования имитационной модели автосервисного центра показывает, что модель, функционирующая по критерию минимальных потерь времени на ожидание обслуживания имеет значительные преимущества (табл. 5).

Таблица 5

Сравнительный анализ работы модели автосервисного центра

Узлы обслуживания модели	Потери времени на ожидание обслуживания, час (при критерии вместимости очереди)		Сокращение потерь времени на ожидание обслуживания, разы
	максимальная	минимальная	
Посты ЕО	20,6	0,6	-34,3
Посты диагностики	18,5	1,5	-12,3
Посты ТО-1	56,08	14,72	-3,8
Посты ТО-2	30,75	5,7	-5,4
Посты ТО-3	21,48	11,04	-1,94
Посты ПР-1	15,4	1,2	-12,8
Посты ПР-2	14,6	5,6	-2,6

Таким образом, сокращение потерь времени на ожидание обслуживания составило в среднем от 1,94 до 12,8 раза, что позволяет увеличить время работы большегрузных автосамосвалов в карьере. А это в свою очередь обуславливает повышение производительности и эффективности карьерного автотранспорта.

Список литературы

1. Монастирський Ю. А. Моделювання функціонування кар'єрних автосамоскидів / Ю. А. Монастирський // Качество мінерального сырья: сб. научн. трудов. – Кривой Рог, 2011. – С. 420-424.
2. Анистратов К.Ю. Полное сервисное обслуживание / К.Ю. Анистратов, С.Н. Горьков // Горная промышленность. — 2006. — № 62. — С. 34-37.
3. Монастирський Ю. А. Модель визначення параметрів авторемонтного виробництва кар'єрних автосамоскидів на території України / В. М. Старченко, Ю. А. Монастирський, А. В. Веснін // Вісник Східноукраїнського університету імені Володимира Даля. – Луганськ, 2011. – № 5(159). – С. 25-30.
4. Крейсман Е.А. Аналіз гірничо-технічних умов експлуатації та режимів руху великовантажних самоскидів Криворізького регіону / Крейсман Е.А., Монастирський Ю.А., Веснін А.В., Гальченко А.В. // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: Науково-виробничий збірник / АДІ ДонНТУ. – 2012. – № 1(14). – С. 115-119.
5. Монастырский Ю. А. Эксплуатация и сервисное обслуживание карьерной техники «БЕЛАЗ» в Украине / Монастырский Ю. А. // Горный журнал. – 2013. – № 1. – С. 78-80.
6. Монастирський Ю.А. Врахування специфіки гірничотехнічних умов роботи автосамоскидів як шлях до підвищення продуктивності кар'єрної техніки / Веснін А.В., Систук В.О. // Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення та експлуатації машинобудівних конструкцій: Тези доповідей. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2012. – С. 82–84.
7. Монастырский Ю.А. Моделирование ресурсных и технологических состояний функционирования карьерных самосвалов БелАЗ / Монастырский Ю.А., Потапенко В.В. // Вісник СевНТУ. – 2013. – Вип. 143. – С. 83-87. (Серія: Машиноприладобудування та транспорт).
8. Сучасний стан технологічного автотранспорту залізничних кар'єрів / Ю.А. Монастирський, А.С. Вивчарик, І.В. Бондарь, Т.А. Клімів // Сучасні автомобільні розробки України. – Миколаїв, 2015. – С.82-85.
9. Підвищення надійності роботи кар'єрних автосамоскидів з електромеханічною трансмісією при фірмовому сервісі / Ю.А. Монастирський, І.В. Бондар, Т.А.Клімов, О.Л. Шитов // Проблеми розвитку транспортних систем і логістики: матер. VII міжнар. наук.-практ. конф., Севеодонецьк – Одеса, 26-28 квітня 2017 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – Севеодонецьк: СХУ ім. В. Даля, 2017. – С. 187.
9. Математичні моделі функціонування кар'єрних самоскидів БЕЛАЗ з електромеханічною трансмісією / Монастирський Ю.А., Бондар І.В., Клімов Т.А. // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал.- Луцьк: Луцький НТУ, 2017.- №2(9). – с. 82–86.
10. Анистратов К.Ю. Техническое обслуживание карьерной техники: современный уровень и перспективы развития / К.Ю. Анистратов // Горная промышленность. — 2004. — № 49. — С. 31-33.
11. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / П.Л. Мариев, А.А. Кулешов, А.Н. Егоров и др. — СПб.: Наука, 2004. — 429 с.
12. Басс К.М. Плоскостное и пространственное математическое моделирование движения карьерного автотранспорта / К.М. Басс, В.В. Плахотник, В.В. Кривда // Науковий Вісник ДДМА. – 2013. – № 3. – С56.
13. Дриженко А.Ю. Карьерные технологические горнотранспортные системы: моногр. / А.Ю. Дриженко. – Д.: НГУ, 2011. – 542 с.
14. Ушаков Ю.Ю. О выборе параметров системы технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов для повышения их эксплуатационной надежности // Совершенствование деятельности по обеспечению безопасности производства на угледобывающих предприятиях. Отдельные статьи: Горный информационно-

аналитический бюллетень (научно-технический журнал). –2015. –№12 (специальный выпуск 70). –М.: Издательство «Горная книга». –С. 43-53.

15. **Андреева Л. И.** Исследование эксплуатационной надежности карьерных автосамосвалов / **Л.И. Андреева, Ю.Ю. Ушаков**// Известия УГГУ/ УГГУ. –Екатеринбург, 2016. –№ 3(43) –С. 74-77

16. **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 Хмеждународ. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека»/УГГУ.–Екатеринбург, 2012.–С. 358-362.

17. **Рыбаков А. Н.** Сокращение потерь рабочего времени ремонтного персонала на основе использования сетевых графиков / **А.Н. Рыбаков, Ю.Ю. Ушаков**// Студент и научно-технический прогресс: тезисы докладов XXXVI студенческой научной конференции/ЧелГУ.–Челябинск, 2013.–С. 6-7.

18. **Рождественский Ю. В.** Оценка эффективности использования карьерных автосамосвалов по критерию «производительное время» на примере ОАО «Ковдорский ГОК» / **Ю.В. Рождественский, Ю.Ю. Ушаков**// Материалы пятой международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития евроазиатских транспортных систем»/ЮУрГУ.–Челябинск, 2013.–С. 232-235.

19. **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.

20. **Андреева Л. И.** К вопросу о повышении эффективности ремонтной службы горнодобывающего предприятия / **Л.И. Андреева, В.Ю. Мартынов, Ю.Ю. Ушаков** // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XIVмеждунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека»/УГГУ.–Екатеринбург, 2016.–С. 427-434.

21. **Андреева Л. И.** Оценка факторов, влияющих на эксплуатационные показатели карьерного автотранспорта / **Л. И. Андреева, Ю.Ю. Ушаков**// Мир дорог. Спецвыпуск. –2016.–С. 62-64.

Рукопись поступила в редакцию 15.01.2020

УДК 621.31

В.Г. САЯПІН, аспірант, Д.І. КУЗНЄЦОВ, канд. техн. наук, доцент
Криворізький національний університет

СТРУКТУРА І АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА БУДОВИ MICROGRID З ВИКОРИСТАННЯМ ДЖЕРЕЛ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ

Мета. Кризовий стан енергосистеми України та велика залежність від імпорту палива призводять до потреби перегляду концепції енергосистеми та впровадження таких сучасних технологій, як Microgrid. Провести аналіз сучасних технологій, що використовуються у Microgrid з джерелами відновлювальної енергії, її структури та архітектури керування, особливості їх використання, для розробки системи керування розподіленням енергії в межах Microgrid з відновлювальними джерелами енергії.

Методи. Під час дослідження використано комплексні загальнонаукові теоретичні методи наукового дослідження. Методи теорії автоматичного керування та системний підхід в межах Microgrid з джерелами відновлювальної енергії.

Наукова новизна. Наукова новизна результатів після проведеного дослідження виходить з того, що визначено особливості побудови різних типів Microgrid, їх переваги та недоліки, особливості їх структури та архітектури керування. Аргументовано використання мереж постійного струму як перспективний напрямок в розвитку Microgrid.

Практична значимість. Отримані під час дослідження результати можуть використовуватись при розробці Microgrid з відновлювальними джерелами енергії з врахуванням їх переваг та недоліків, у розробці алгоритмів керування в межах Microgrid та дослідженні нових методів і архітектур керування для побудови Microgrid.

Результати. Означено теперішній стан енергосистеми України і визначено подальші перспективи. Перспективним є використання мереж постійного струму в Microgrid з використанням джерел відновлювальної енергії. Визначено пріоритет розробки Microgrid в Україні, але в наш час ще недостатньо досліджень використання Microgrid в умовах країни. Більш надійні архітектури керування Microgrid, такі як децентралізована архітектура і точка-точка не здатні до оптимального розподілення та прогнозування виробки та споживання енергії в межах мережі. Визначено подальші напрямки проведення досліджень для виявлення особливостей використання Microgrid з джерелами відновлювальної енергії в умовах України разом з використанням прогнозуючих моделей, що дозволить збільшити ефективність мережі.

Ключові слова: Microgrid, керування, відновлювальні джерела енергії, аналіз, архітектура.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-138-142

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Згідно звіту про результати діяльності НКРЕКП у 2018р. [1] зазначається значна зношеність та застарілість основних фондів електроенергетики, систем передачі та розподілу, що складає 70-80%, і відрахування, що покладені на амортизацію не здатні покрити витрати на ремонт та оновлення. Це все впливає на ефективність і якість роботи енергосистеми України. Технологічні витрати електроенергії у магістральних мережах склали 2,58%, а в розподільних – 9,84% . Індекс середньої тривалості довгих перерв в електропостачанні в системі (SAIDI) є найгірший в Європі. Також, беручи до уваги значну залежність від імпорту палива, можна стверджувати, що електроенергетична система України знаходиться в кризовому стані і інвестування лише в її ремонт не є рентабельним.

Енергетична стратегія України [2] визначає ключовим напрямком розвиток розподіленої генерації, smart grids, збільшення частки відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) до 25% у 2035р.

Використання джерел розподіленої генерації породжує ряд проблем: в звичайній електричній мережі генератори володіють великою інерційністю, яка не дає сильно відхилитись частоті та напрузі, що не можна сказати про розподілені джерела, бо в них зазвичай використовуються малопотужні генератори, що не мають великою інерційності, також використання ВДЕ потребує використання інверторів, що нездатні надати ідеальну синусоїдальну форму вихідному струму.

Актуальним вирішенням даних проблем є доповнення енергетичних технологій інформаційними та телекомунікаційними, дотримуючись системного підходу. Такий підхід реалізується у сучасній концепції Microgrid. Це дозволить зменшити технологічні витрати електроенергії за рахунок використання локальних джерел енергії, збільшити надійність енергетичної системи за рахунок гнучкості режимів роботи Microgrid та ефективно використовувати ВДЕ, керуючи розподіленням навантаження та акумуляцією енергії.

Аналіз досліджень і публікацій. Аналіз публікацій показує, що бракує вітчизняних публікацій і експериментальних моделей. Натомість в зарубіжних публікаціях досить широко розглядаються різні аспекти визначеного кола проблем, але вони не враховують специфіки України.

Постановка задачі. Провести аналіз Microgrid з метою визначити існуючі та перспективні технології, види їх класифікації, архітектури керування виділити їх переваги та недоліки .

Викладення матеріалу та результати. Microgrid – це інтелектуальна енергетична мережа невеликого масштабу, що працює як одне ціле і включає споживачів, локальні джерела енергії, може включати засоби її акумулювання. Вона може бути приєднана до загальної енергетичної мережі через одну точку з'єднання або працювати в острівному (ізолюваному) режимі [3].

У Microgrid зазвичай поєднані мережі постійного та змінного струму, це визвано тим, що використовуються різні джерела енергії: сонячні панелі, що генерують постійний струм, генератори постійного або змінного струму, також постійний струм використовують акумулятори та паливні елементи.

Тому першочергово Microgrid можна класифікувати за типом струму, що використовується як основний[4]:

Microgrid постійного струму;

Microgrid змінного струму;

Microgrid з комбінованим використанням постійного та змінного струму.

Особливістю Microgrid постійного струму є те, що джерела і навантаження постійного струму напряму під'єднуються до загальної мережі постійного струму, а навантаження зі змінним струмом через інвертор. Даний тип Microgrid добре підходить для побутових та офісних споживачів, комп'ютерних центрів тощо, через те що більшість офісної, обчислювальної та значна частина побутової техніки працює з постійним струмом. Через те, що більшість ВДЕ виробляють постійний струм, то зменшується кількість перетворень і зменшуються пов'язані з цим втрати. І відповідно в таких мережах відсутня реактивна потужність і менший опір, що призводить до здешевлення мережі. Нема потреби в синхронізації частоти і легко керується напруга в острівному режимі[5].

До недоліків можна віднести:

спостерігається спотворення синусоїди при перетворенні постійного струму до змінного;

часто є потреба в розділенні мережі на частини з високою і низькою напругою;

оскільки мережі постійного струму є нестандартними для споживачів, то це ускладнює їх інтеграцію у Microgrid;

складність приєднання microgrid до основної мережі;

погано застосовується для промислових споживачів;

втрати енергії для генераторів на традиційних видах палива.

У Microgrid змінного струму відповідно використовується шина змінного струму до якої також приєднуються усі навантаження та джерела енергії [6]. Така мережа є звичайною для споживачів, що призводить до їх легкої інтеграції в мережі. Така мережа легко приєднується до основної.

До недоліків даного типу Microgrid відноситься:

необхідність синхронізації розподілених джерел енергії;

наявність реактивної потужності;

наявність гармонічних збурень;

дисбаланс у трифазових мережах;

високий спротив ліній передач;

оскільки більшість ДВЕ виробляє постійний струм, то присутні втрати під час перетворення.

Гібридна Microgrid зазвичай складається з двох шин: шини постійного струму та шини змінного які стикаються в точці з'єднання з основою мережею. Перевагою є легка інтеграція будь-яких джерел енергії з найменшою кількістю з'єднань та втрат. Традиційні мережі змінного струму легко модернізуються до гібридної, але така система є дорожчою, і вона стає вигідною тільки для великої кількості підключень[7].

До недоліків даного типу Microgrid відноситься:

більша складність Microgrid;

складність керування, через необхідність контролю за пристроями, що приєднані до мереж постійного струму і тими, що приєднані до мереж змінного струму, та за конверторами;

в мережах змінного і постійного струму залишаються притаманні для них недоліки.

В залежності від базового виду струму обирається метод керування, який використовується у Microgrid: для мереж постійного струму зазвичай використовується керування за характеристикою статизму, яка виражає залежність між напругою і активною потужністю. А для Microgrid зі змінною напругою здійснюється керування за характеристикою статизму у відношенні між активною і реактивною потужністю та за частотою.

В серпні 2014 р. у Каліфорнії компанія Bosch збудувала Microgrid з архітектурою постійного струму для освітлення будівлі [8]. У якості джерела енергії було встановлено 41КВт масив фотоелектричних панелей, а в якості навантаження задіяно 44 світлодіодні лампи та 4 промислових вентилятори постійного струму, зовнішня основна мережа під'єднана до Microgrid через AC/DC перетворювач, а лампи підключені через DC/DC драйвер. Поряд було встановлено аналогічну систему, але з архітектурою заснованою на змінному струмі. Сонячні панелі були під'єднані до мережі через інвертор, а навантаження через драйвер змінного струму. Порівняння отриманих показників показало на 8% більшу ефективність Microgrid з постійним струмом.

Так само як і в головній енергосистемі, в межах Microgrid електроенергія проходить ті ж самі етапи генерації, транспортування, розподілення та кінцевого споживання. Також робота в ізолюваному режимі потребує наявності етапу накопичення.

Система керування в Microgrid є, як і в головній енергосистемі, ієрархічна і складається з чотирьох рівнів (табл. 1), а швидкість реакції на зміни збільшується з декількох мілісекунд на нульовому та першому рівні до декількох годин на третьому (іноді перший і нульовий рівень об'єднують в один) [6, 9-11].

Для керування Microgrid здебільшого використовуються контролери. Третинний контролер знаходиться на третьому рівні керування, виконує прогнозування та економічно ефективний обмін енергією з зовнішньою мережею. Також він керує переведенням в острівний режим та під'єднанням до зовнішньої мережі, передаючи команди до центрального контролера.

Центральний контролер (ЦК), контролер розподілених джерел енергії (КРДЕ) та контролер навантаження (КН) [12]. ЦК працює на другому рівні і контролює всю мережу. ЦК збирає дані з КРДЕ та КН та керує ними, слідкує за частотою в Microgrid, балансує потужність, вмикає та вимикає навантаження та джерела енергії.

Система керування в Microgrid

Третій рівень	Його основна задача – це організація економічно ефективного обміну енергією з зовнішньою мережею за рахунок планування. Віддає команди на під'єднання або роз'єднання з зовнішньою мережею.
Другий рівень	Слідкує за мережею і в залежності від навантаження здатний змінювати частоту та напругу в мережі. Змінює свої функції в залежності від режиму роботи Microgrid. Якщо встановлено з'єднання до зовнішньої мережі, то слугує інтерфейсом з'єднання Microgrid з зовнішньою мережею. В острівному режимі встановлює опорну частоту та напругу для перетворювачів струму.
Перший рівень	Підтримує напругу та частоту внутрішньої струмової петлі. Може працювати самостійно. Дає найшвидшу реакцію.
Нульовий рівень	Керує потужністю джерел енергії та контролює акумулюючі пристрої. Керування найчастіше виконується за статизмом.

КРДЕ та КН знаходяться на первинному рівні керування, але в залежності від архітектури системи керування можуть бути і на вторинному. Вони вимірюють показники окремих джерел енергії та показники навантаження відповідно, керують перетворювачами струму та за необхідністю від'єднують об'єкт керування від мережі. КРДЕ отримує команди від ЦК і контролює частоту та потужність джерела енергії.

Наступним менш поширеним видом виступає архітектура централізованого типу. В даній архітектурі відсутній контролер третього рівня керування, його роль на себе бере ЦК. Така система є дуже контрольованою, але сам контролер є єдиною точкою відмови, що погано для надійності системи. ЦК збирає велику кількість даних про роботу мережі, тому він повинен бути достатньо продуктивним для таких обчислень [13].

Протилежність централізованої та ієрархічної архітектури керування складають розподілена архітектура та архітектура типу точка-точка.

У розподіленій системі на відміну від двох попередніх відсутні ЦК та контролер третього рівня. Натомість кожний об'єкт генерації, навантаження чи керування отримує власний розподілений контролер. Даний контролер не здатний до складного прогнозування, але має вбудовані евристичні програми для отримання субоптимального місцевого результату, наприклад, виробка мінімальної кількості викидів і т.д. Також кожний контролер здатний до розподілу енергії між іншими учасниками Microgrid. Але для зв'язку з іншими мережами використовується центральний агент, через який користувачі можуть взаємодіяти з зовнішніми мережами, що також є єдиною точкою відмови Microgrid [14].

На відміну від розподіленої архітектури, в архітектурі типу точка-точка кожний об'єкт сам взаємодіє з іншими, що призводить до більш приватної взаємодії між учасниками мережі, і якщо потрібно елемент може взаємодіяти з ними, використовуючи зв'язок через оточуючих учасників Microgrid. Така система виявляється досить надійною та здатною до зміни маршрутів взаємодії, немає єдиної точки відмови, але ускладнюється структура мережі через велику кількість зав'язків [12].

В залежності від того, чи під'єднана Microgrid до основної мережі, чи вона в ізолюваному стані у Microgrid використовуються різні стратегії керування.

Для ізолюваного режиму складним питанням є розподіл потужності серед перетворювачів струму. Для вирішення даної проблеми використовують різні стратегії керування [15]:

ведучий – ведений. В цьому методі обирається головний інвертор (ведучий), який задає параметри струму, а ведені дотримуються цих параметрів;

використання промислової мережі Controller Area Network, що дозволить керувати перетворювачами струму в режимі реального часу;

керування за статизмом відносно частоти та напруги.

При підключенні до зовнішньої мережі Microgrid переходить до керування за активною та реактивною потужністю.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Згідно проведеного аналізу технологій, структури Microgrid та архітектури систем керування було визначено основні моменти, переваги та недоліки. А саме те, що перспективним є використання мереж постійного струму в Microgrid з ДВЕ. Відповідно до теперішнього стану енергосистеми України і прийнятої енергетичної стратегії визначено пріоритет розробки Microgrid в Україні, але зараз існує обмаль досліджень використання Microgrid в умовах країни. Більш надійні архітектури керування

Microgrid, такі як децентралізована архітектура або архітектура типу точка-точка, не здатні до оптимального розподілення та прогнозування виробки та споживання енергії в межах мережі.

Тому надалі планується дослідження використання Microgrid з ДВЕ в умовах України з використанням прогнозуючих моделей.

Список літератури

1. Звіт про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, у 2018 році [Електронний ресурс]/ офіційний сайт Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. –Київ, 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.nerc.gov.ua/index.php/data/filesearch/Proekty/2018/data/?id=39678>.
2. Енергетична стратегія України на період до 2035 року [Електронний ресурс]/ Офіційний сайт Верховної Ради України.-Київ, 2020.– Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/58/f469391n10.pdf>.
3. CERTS Microgrid Concept [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://certs.lbl.gov/initiatives/certs-Microgrid-concept>.
4. **B. M. Eid, N. A. Rahim, J. Selvaraj and A. H. El Khateb**, "Control Methods and Objectives for Electronically Coupled Distributed Energy Resources in Microgrids: A Review," in IEEE Systems Journal, vol. 10, no. 2, pp. 446-458, June 2016.
5. **Arif, Mekhilef & Hasan, M.** (2018). Microgrid architecture, control, and operation. 10.1016/B978-0-08-102493-5.00002-9.
6. **Jackson John Justo, Francis Mwasilu, Ju Lee, Jin-Woo Jung**, AC-Microgrids versus DC-Microgrids with distributed energy resources: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 24, 2013, Pages 387-405, ISSN 1364-0321
7. **Unamuno, Eneko & Barrena, Jon Andoni**. (2015). Hybrid ac/dc Microgrids—Part I: Review and classification of topologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 52. 1251-1259. 10.1016/j.rser.2015.07.194.
8. **Fregosi, Daniel & Ravula, Sharmila & Brhlik, Dusan & Saussele, John & Frank, Stephen & Bonnema, Eric & Scheib, Jennifer & Wilson, Eric**. (2015). A comparative study of DC and AC Microgrids in commercial buildings across different climates and operating profiles. 159-164. 10.1109/ICDCM.2015.7152031.
9. **Omid Palizban, Kimmo Kauhaniemi**, Hierarchical control structure in Microgrids with distributed generation: Island and grid-connected mode, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 44, 2015, Pages 797-813, ISSN 1364-0321.
10. **Bordons, C.; Garcia-Torres, F.; Ridao, M.A.** Model Predictive Control of Microgrids; Springer: Cham, Switzerland, 2019.
11. **De Brabandere, Karel & Vanthournout, Koen & Driesen, J. & Deconinck, Geert & Belmans, Ronnie**. (2007). Control of Microgrids. IEEE Power Engineering Society General Meeting. 1 - 7. 10.1109/PES.2007.386042.
12. Microgrid Control Problems and Related Issues **M.S. Mahmoud**, in Microgrid, 2017
13. **M.S. Mahmoud**, Chapter 1 - Microgrid Control Problems and Related Issues, Editor(s): Magdi S. Mahmoud, Microgrid, Butterworth-Heinemann, 2017, Pages 1-42, ISBN 9780081017531, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101753-1.00001-2>.
14. **Feng, Xianyong & Shekhar, Aditya & Yang, Fang & Hebner, Robert & Bauer, Pavol**. (2017). Comparison of Hierarchical Control and Distributed Control for Microgrid. Electric Power Components and Systems. 45. 1043-1056. 10.1080/15325008.2017.1318982.
15. **K.S. Rajesh, S.S. Dash, Ragam Rajagopal, R. Sridhar**, A review on control of ac Microgrid, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 71, 2017, Pages 814-819, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.106>.

Рукопис подано до редакції 20.03.2020

УДК 621.311.4.031

І.О. СІНЧУК, І.А. КОЗАКЕВИЧ, М.Л. БАРАНОВСЬКА,
Т.М. БЕРІДЗЕ, кандидати техн. наук, доценти, **І.І. ПЕРЕСУНЬКО**, асистент
Криворізький національний університет

ПРЕВЕНТИВНА ОЦІНКА І ОСНОВНІ НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДЗЕМНИХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Мета. Метою даної статті є превентивна оцінка та розгляд основних напрямів підвищення енергоефективності підземних залізрудних підприємств для досягнення необхідного рівня їх конкурентоспроможності.

Методи дослідження. У статті використовуються аналітичні і експериментальні методи досліджень. Аналітичні методи базуються на положеннях теорії імовірностей і математичної статистики, теорії розпізнавання образів, статистичної класифікації, кореляційно-регресійного, гармонічного, компонентного і причинного аналізу. Експериментальні методи ґрунтуються на положеннях теорії планування експерименту, електричних вимірів.

Наукова новизна. Розроблення раціонального управління електроенергопотоків, формування інформаційно-аналітичної бази щодо обґрунтування управлінських рішень в системі управління енергозабезпеченням залізрудних підприємств.

Практична значимість. Економічна проблема гірничо-металургійних підприємств України полягає в щорічному зростанні собівартості видобутку залізорудної сировини, тому актуальним є пошук шляхів зменшення або хоча б стримання темпів зростання цього показника. Основні причини росту собівартості (за результатами досліджень) – це застарілі технології ведення гірничих робіт та збільшення глибини видобутку корисних копалин. Підвищення енергоефективності – питання, котре сьогодні повинно вирішуватись всіма підприємства гірничо-металургійної галузі.

Результати. Дослідження авторів дозволило формалізувати фактори впливу на рівні споживання електричної енергії приймачами підземних залізрудних підприємств: технологічні фактори; типи, види та режими роботи машин та механізмів; системи електропостачання; наявність чи відсутність системи контролю та управління режимами споживання електричної енергії.

Розглянуто комплекс напрямків підвищення енергоефективності в сучасних умовах при сталій технології видобутку залізрудної сировини: зниження втрат електричної енергії в комплексі енергопостачання-енергоспоживання, реструктуризація систем електропостачання, створення умов для максимально можливої продуктивності електромеханічних систем гірничих машин та механізмів, організаційні заходи.

Досліджено мінімізацію втрат електроенергії в системах електропостачання шляхом вибору раціонального рівня напруги, застосування в практику удосконалених методів розрахунку електричних мереж та рівнів навантажень підземних залізрудних підприємств, втілення ефективних засобів компенсації реактивної потужності.

Для управління енергоспоживачами, отримання необхідної інформації з енергетики підприємства та для управління використанням енергії залізрудні компанії інвестують в системи енергоменеджменту *EMS* (Energy Management System), які базуються на стандарті ISO 50001.

Ключові слова: залізрудна шахта, енергопостачання, енергоспоживання, підвищення енергоефективності, енергоменеджмент, конкурентноспроможність

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-142-147

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Гірничо-металургійна галузь промисловості України – базова економічна складова держави [1]. Між тим, сучасний економічний стан самих підприємств даної галузі в останні 10-річчя погіршується [2-4]. В основі своєї – це результат, котрий пов'язаний з проблемою щорічного зростання собівартості видобутку залізрудної сировини (ЗРС) та тенденції падіння цін на цей вид корисних копалин на світовому ринку сировини [2-4]. Основним фактором впливу на рівень собівартості видобутку ЗРС є прийнята технологія ведення гірничих робіт [5]. Однак, зміна цього фактору в діючий час в умовах існуючих підприємств не реальна, а будівництво в Україні нових гірничих підприємств з енергоефективними технологіями видобутку в найближчі 20-30 років не прогнозується. Тому, пошук шляхів зменшення собівартості видобутку ЗРС потрібно вести, виходячи з реалій сьогодення.

Аналіз досліджень і публікацій. Як свідчать дослідження [5-15], основною причиною росту собівартості ЗРС є комплекс погіршення умов видобутку, а, значить, і матеріальних затрат по факту збільшення глибини видобутку. В черзі цих негативних моментів значна впливова складова – це ріст енергоємності видобутку ЗРС [6, 10, 11]. Це ствердження базується на тому факті, що гірничорудні підприємства відносяться до енергоємних видів [5-11]. Так, встановлені потужності електроприймачів електричної енергії (ЕЕ) українських гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) в середньому сягають 600 кВА, а шахт (рудників) – біля 60 кВА. Це формує генеральний напрямок підвищення енергоефективності видобутку ЗРС сучасними залізрудними підприємствами як вирішення проблеми ефективності видобутку ЗРС в цілому. Разом з тим, у свою чергу, для умов залізрудних шахт ця проблема трансформується в додаткову – встановлення і досягнення реального рівня ефективності, що можливо лише при знанні самого потенціалу як комплексу можливостей, а також витоків його складових.

Основний обсяг науково-дослідних робіт з питання дослідження процесу електроспоживання на рудних підприємствах виконано ще в період 60-70-х років минулого століття. Тому застосування отриманих в ті роки результатів в гірничотехнологічних умовах рудних шахт, що істотно змінилися, приводить до прогнозованих помилок, які відображаються на економіці як галузі, так і країни в цілому. Крім того, за минулі роки в техніці і технології видобутку ЗРС відбулися зміни, які корінним чином негативно позначилися на закономірності формування процесу електропостачання-електроспоживання.

Причини даної ситуації можна сформулювати наступним чином. Головна – відсутність належної уваги до цієї проблеми з боку власників підприємств. З головної проблеми витікає: відсутність дієвої та апробованої системи енергоменеджменту, в якій по вертикалі управління повинно бути знайдено місце у вирішенні цієї проблеми від генерального директора до прибиральниці; відсутність реального обґрунтованого плану підвищення енергоефективності і зниження енерговитрат на одиницю видобутої продукції.

Проте, всі вищенаведені аргументи – наслідок двох глобальних проблем: людського фактору та відсутності науково обґрунтованих оцінок реального стану справ з ефективного використання

електричної енергії на кожному конкретному підприємстві, на кожній ділянці видобутку ЗРС і диференційованості потенційних можливостей в напрямку підвищення цієї ефективності.

Постановка задачі. Мета досліджень – превентивна оцінка та розгляд основних напрямів підвищення енергоефективності підземних залізрудних підприємств для досягнення необхідного рівня їх конкурентоспроможності.

В контексті вищевідзначених факторів підкреслимо, що впроваджувати в практику роботи гірничих підприємств заходів для підвищення енергоефективності, а, значить, і конкурентоспроможності гірничих підприємств повинні не тільки енергослужби. Без участі керівників (власників) підприємств, без демонстрації їх готовності через лідерські дії в процесі втілення науково обґрунтованих рішень по підвищенню енергоефективності в структуру функціонування даних видів підприємств не буде очікуваного ефекту.

А між тим дослідження рівня змін, що відбуваються в гірничодобувній промисловості в напрямку швидкоплинних процесів концентрації гірничих робіт і їх різка інтенсифікація, поставили, та й ставлять постійно, ряд нових завдань в галузі формування електроенергетичних проблем та пошуку шляхів їх реалізації, що, нажаль, поки не знаходить свого практичного втілення в практику роботи аналізованої галузі промисловості.

Викладення матеріалу та результати. До кінця 80-х років минулого століття рівень завантаження основних технологічних агрегатів як в залізрудній, так і в вугільній галузях промисловості України, знаходився на рівні 90-98 % [2]. Традиційним і достатньо дійовим на той час напрямком підвищення ефективності використання електроенергії було укрупнення технологічних агрегатів і зростання одиночних потужностей обладнання. В цілому це стримувало, а, точніше, не сприяло зростанню питомих витрат електроенергії на одиницю продукції (тонна) корисних копалин, що видобувалися, так як зменшувало вагу сегмента непродуктивних витрат в загальному обсязі витрат енергії.

Зниження обсягів гірничого виробництва і нерівномірний в часі рівень завантаженості даних видів підприємств в сучасних економічних умовах господарювання змінило режими роботи технологічного обладнання, відповідно змінивши і процеси споживання електроенергії, чим погіршало показники енергоефективності, а, в кінцевому варіанті, і собівартість видобутку корисних копалин. Це потребує свого подальшого аналізу та розробки відповідних заходів.

Дослідження авторів дозволили формалізувати фактори впливу на рівні електроспоживання підземними залізрудними підприємствами (рис. 1).

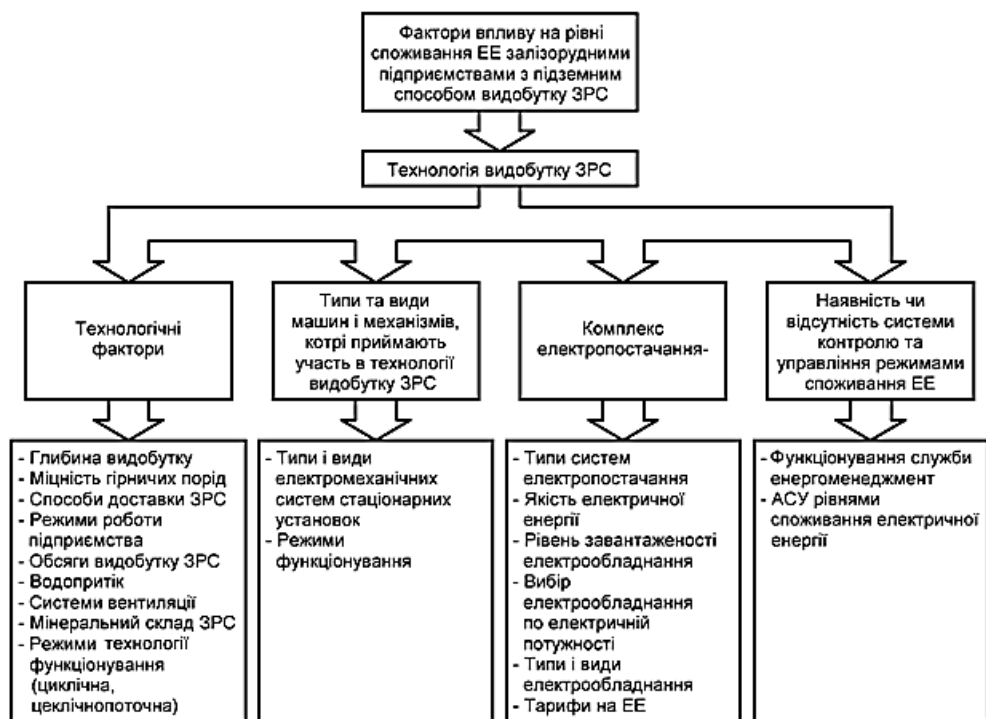


Рис. 1. Структурне відображення основних факторів впливу на рівні споживання електричної енергії гірничорудними підприємствами з підземними способами видобутку залізрудної сировини

Підвищення енергоефективності залізрудних підприємств в сучасних умовах при сталій технології видобутку ЗРС може бути реалізовано за кількома напрямками (рис. 2).

При цьому ці напрями можуть бути реалізовані як автономно, так і в комплексі. Безумовно, що більший досяжний ефект буде належати другому із вище згаданих випадків. Проведемо поверховий огляд цих напрямків.

Перш за все – це зниження втрат електричної енергії як в системах енергопостачання взагалі, так і в окремих її складових. Як встановлено авторами, втрати ЕЕ у внутрішніх системах електропостачання (СЕП) підстанціях залізрудних підприємств становлять 27-33 % [7].

Між тим, цей аспект підвищення електроенергетичної ефективності для існуючих залізрудних підприємств (на протязі 10-20-ти років в Україні не планується спорудження нових гірничорудних підприємств, а термін подальшого функціонування існуючих українських підприємств лежить в межах 50-70-ти років) має свій відтінок складності, оскільки СЕП в такому випадку складно і, більше того, навіть неможливо, кардинально реконструювати. Основними реальними спрямуваннями в цьому аспекті можуть бути: оптимізація встановлених потужностей трансформаторів головних підземних підстанцій (ГПП) шляхом заміни на необхідний рівень потужності (як правило – менший), оскільки рівень завантаження тих, що експлуатуються, не перевищує 20 %. Це можливо досягти і шляхом зміни діючих структур систем електропостачання шляхом перекомутації схем живлення ГПП і виводом при цьому недозавантажених трансформаторів в «холодний» або «гарячий» резерв.

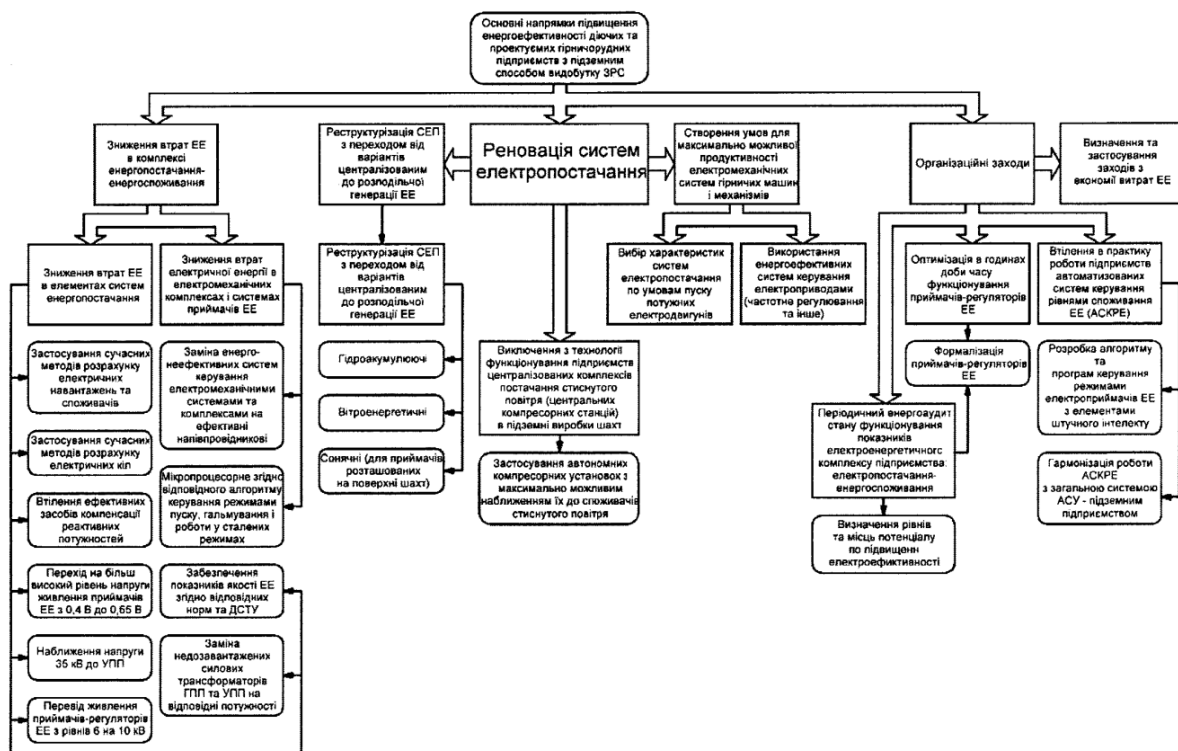


Рис. 2. Дорожня карта підвищення електроефективності гірничорудних підприємств з підземними способами видобутку залізрудної сировини

Проте, аналізуючи даний напрям, необхідно визначити, що вище згадані напрями на сучасному етапі модернізації систем електропостачання (СЕП) є лише допоміжними заходами.

Основним же сучасним напрямком слід визнати реструктуризацію СЕП залізрудних підприємств в напрямку перетворення їх структур зі структур з централізованим живленням ЕЕ від «Обленерго» до структур зі змішаним живленням – як від «Обленерго», так і від автономних мініелектростанцій, функціонуючих на відновлювальних джерелах енергії (вода, повітря), які мають своє місце в технології видобутку ЗРС. Тобто, доцільно і ефективно модернізувати існуючі структури СЕП з включеними в них джерелами розподільної генерації.

Між тим, в свою чергу, збільшення одиничних потужностей споживачів залізрудних шахт та постійне зростання по факту технології видобутку ЗРС довжин підземних ліній електропередачі (ЛЕП) поставило на порядок денний питання максимально можливого наближення розпо-

дільної напруги 6-10 кВ до підземних споживачів і переходу на живлення електротехнічних комплексів гірничих машин і механізмів на рівень робочої напруги 660 В замість 380 В. Питання вибору раціонального (за умов економічності) рівня напруги, що дозволяє мінімізувати втрати електроенергії в електричних мережах підземних залізрудних шахт, безпосередньо пов'язані з необхідністю забезпечити умови безпеки. З цієї причини вони не можуть бути вирішені з урахуванням тільки економічних факторів. Разом з тим, істотне зниження втрат електроенергії може бути досягнуто за рахунок застосування в практику удосконалених методів розрахунку електричних мереж та рівнів їх навантажень.

Відомо, що підвищення продуктивності ряду гірничих машин та механізмів практично завжди призводить до зниження питомих витрат електроенергії. Однак, в практичних розрахунках СЕП це відоме положення не знаходить відображення, а дія гірничотехнічних факторів не враховується.

Важлива складова, котра поки що не знайшла свого певного прогресу в достатньому обсязі, це використання енергоємних (активних) видів споживачів як споживачів-регуляторів ЕЕ. Це можливо досягти шляхом широкого впровадження в практику їх роботи сучасних енергоефективних систем плавного пуску та регулювання частоти обертів електродвигунів робочих органів машин та механізмів.

До цього напрямку можна віднести і процес заміни застарілих енергоємних видів машин та механізмів на нові з сучасними типами енергоефективних електроприводів.

Інше коло завдань, також пов'язаних з втратами електроенергії, відноситься до вибору раціональних режимів компенсації реактивної потужності. Потрібно підкреслити, що цьому важливому питанню в останні роки стали приділяти недостатньо уваги. Між тим, мінливий характер електроспоживання шахт вимагає адекватного підходу при вирішенні і цього питання.

Важливим фактором в сьогоденні процесу електропостачання-електроспоживання гірничих підприємств є питання, безпосередньо пов'язані з оптимізацією режимів електроспоживання. Регулювання в часі графіків навантаження підприємств з безперервним режимом роботи, до яких відносяться гірничі підприємства, може певною мірою знизити заявлену (оплачувану) потужність у години максимуму енергосистеми, зменшивши тим самим рівень сплати підприємства за електроенергію [6, 10, 11, 14].

Важливо, що для реалізації цього спрямування не потрібні значні інвестиції.

Закон України «Про ринок електричної енергії», який вступив в дію, збільшив тягар сплати за спожиту ЕЕ для гірничих підприємств шляхом заміни існуючої більше двох десятиліть форми розрахунків між споживачем – гірничим підприємством та генеруючими організаціями, по суті своїй реформував структуру погодинної сплати впродовж доби: «пік», «напів-пік», «ніч» на «пік» та «ніч». Така структуризація системи сплати за спожиту ЕЕ ще більш жорстко поставила перед гірничими підприємствами необхідність вирішення питань керованості, а, точніше, прогнозованого перерозподілу в годинах доби рівнів потоків ЕЕ. В цьому аспекті додатково зазначимо наступне. Перш за все – в самій технології функціонування гірничих підприємств взагалі, а гірничорудних, зокрема, закладена реально існуюча підстава для такого рішення – обмежена кількість активних споживачів електричної енергії, котрих можна і доцільно використовувати як споживачі – регулятори ЕЕ, оскільки саме вони споживають більше як 85 % від загальної електроенергії, котру використовує підземне гірничорудне підприємство на видобуток рудної сировини. Важливим фактором при цьому є те, що рівні споживання електроенергії цими споживачами, згідно технології їх функціонування, розподіляються нерівномірно в годинах доби. По друге, на більшості провідних підземних гірничорудних підприємствах існують автоматизовані системи контролю за рівнями енергоспоживання АСКРЕ, котрі по структурі свого функціонування являють собою превентивний початковий етап до процесу втілення в практику роботи даних видів підприємств автоматизованих з елементами штучного інтелекту систем керування електроенергопотоків в годинах доби згідно коливань технологічних параметрів видобутку ЗРС та існуючих тарифів на ЕЕ. Це дозволить підприємствам з підземним способом видобутку ЗРС зменшити рівні сплати за спожиту ЕЕ щорічно на 15-23 % [6, 14, 15].

Для управління енергоспоживачами залізрудні компанії починають інвестувати в системи енергоменеджменту EMS (Energy Management System), котрі базуються на стандарті ISO 50001, для отримання необхідної інформації по енергетиці підприємства і для управління використанням енергії.

Висновки та напрямки подальших досліджень. 1. Гірничорудна промисловість, як база-ва складова гірничо-металургійної галузі України, без вирішення проблеми підвищення енерго-ефективності видобутку ЗРС не зможе конкурувати з іноземними підприємствами на світовому ринку сировини. В такій ситуації держава втратить свій пріоритет і основне джерело щорічного поповнення валютних запасів в середньому на 50-60 %.

2. Реалізація напрямів підвищення електроенергоефективності залізрудних підприємств при комплексному втіленні їх в практику роботи даних видів підприємств дозволить збільшити цей показник як для окремо взятих підприємств, так і для галузі в цілому. При цьому слід розуміти, що ефективність або рівень досяжності потенціалу проектів в системі EMS буде залежати від коректності вибору параметрів, котрі необхідні для його ідентифікації й рівня діапазонів варіювання для цих параметрів.

Список літератури

1. Вілкул Ю.Г. Сучасний стан залізрудної галузі, прогноз розвитку та пропозиції / Ю.Г. Вілкул, А.А. Азарян, В. А. Колосов, Ф. І. Караманич, А. С. Батареев // *Качество минерального сырья*. Сб. науч. тр., Кривой Рог: ФЛП Чернявский Д. А., 2017. – Т. 1, С. 9-24.
2. Бабець С.К., Мельникова І.С., Гребенюк С.Я. та ін. Дослідження техніко-економічних показників гірничодобувних підприємств України та ефективність їх роботи в умовах змінної кон'юнктури світового ринку залізрудної сировини // за ред. С.К. Бабця – НДГРІ ДВНЗ «КНУ» - Кривий Ріг: Вид. Р.А. Козлов, 2015. – 391 с.
3. Азарян А. А., Вілкул Ю. Г., Капленко Ю. П. та ін. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв. – Кривий Ріг : Мінерал, 2006. – 261 с.
4. Сінчук О.М., Бажал А.Г. Кривбас на межі тисячоліть: шляхи відродження. Київ, Україна: АДЕФ-Україна, 1997. – 343с.
5. Ступнік М.І. Проблеми розкриття та підготовки рудних родовищ на глибоких горизонтах шахт Кривбасу / М.І. Ступнік, М.Б. Федько, С.В. Письмений, В.О. Колосов, С.А. Курносов, З.Р. Маланчук // *Вісник Криворізького національного університету. Збірник наукових праць* – Кривий Ріг, 2018 – Випуск 47. – С. 3 – 8.
6. Сінчук І.О. Базові засади форматизації структури і алгоритму функціонування автоматизованої системи управління електроенергопотоків залізрудних шахт: монографія / – Кременчук: ЧП Щербатих А.В. – 2019. – 144 с.
7. Sinchuk O.M., Boiko S.M., Sinchuk I.O. та ін. Aspects of the problem of applying distributed energy in iron ore enterprises' electricity supply systems. Multi-authored monograph. – Warszawa: iScience Sp. z. o. o., 2018. – 77 p.
8. Sinchuk I.O., Karamanyts F.I., Osadchuk Yu.H. та ін. Electric engineering of iron ore underground enterprises. current status and prospects. Multi-authored monograph. – Warszawa: iScience Sp. z. o. o., 2019. – 100 p.
9. Афанасьєв М.В., Салашенко Т.І. Стратегія підвищення енергоефективності промисловості регіону: теоретико-методичні аспекти формування : монографія. – Х.: Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 284 с.
10. Электроэффективность производств с подземными способами добычи: Монография. / И.О. Синчук, Э.С. Гузов, А.Н. Яловая, С.Н. Бойко. Рига, Латвия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 351 с.
11. Синчук І.О., Гузов Э.С., Яловая А. Н. Потенциал электроэнергоэффективности и пути его реализации на производствах с подземными способами добычи железорудного сырья: монография. Кременчук, Україна: ПП Щербатих О. В., 2015. – 296 с.
12. Розен В.П. Керування електричним навантаженням з використанням короткострокового прогнозування методом Хольта. / В.П. Розен, І.Г. Ходаковський // *Вісн. НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво"*. – 2016. – № 30. С. 104-114.
13. Ткаченко А.М. Сучасні підходи до управління розвитком підприємства, / А.М. Ткаченко, К.А. Марченко // *Економіка і регіон*. – 2014. – № 1. С. 85-90.
14. Сінчук О.М. До проблеми ефективності споживання електричної енергії залізрудними підприємствами / О.М. Сінчук, І.О. Сінчук, Т.М. Берідзе, А.М. Ялова // *Вісник Криворізького національного університету. Збірник наукових праць* – Кривий Ріг, 2014 – Випуск 36. – С. 160 – 167.
15. Сінчук І.О. Методологічні засади оцінювання електроенергоефективності залізрудних підприємств: монографія / – Кременчук: ЧП Щербатих А.В. – 2019. – 284 с.

Рукопис подано до редакції 17.04.2020

УДК [330+005.915:33.012.324]-044.922

А.А. ТУРИЛО, д-р екон. наук, проф., С.А. РТИЩЕВ, канд. екон. наук, доцент
Криворізький національний університет

ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО БАНКУ ДЛЯ КРЕДИТНИХ ТА ДЕПОЗИТНИХ ОПЕРАЦІЙ У КРИЗОВИЙ ЧАС

Мета. Подальше дослідження практичних ефективних методів оцінки відсотків по кредитним і депозитним операціям, процентної маржі, СПРЕДУ та резервів по кредитах, що в цілому гармонійно відображається у триединстві таких базових елементів, як СПРЕД, маржа і резерви. Даний інструментарій покликаний допомогти клієнтам у виборі

оптимального шляху щодо пошуку надійної фінансової установи. Також мета даної роботи полягає в тому, щоб за допомогою методології та викладеного практичного інструментарію удосконалити всю банківську систему в країні.

Методи дослідження. У статті використано такі загальнонаукові методи дослідження як: науковий, функціональний, системний, структурно-логічний.

Наукова новизна. Наукова новизна даної статті полягає в доступності ефективного аналітичного інструментарію для всіх верств населення на базі банківської статичної інформації. В ньому детально наведена покрокова інструкція аналізу кредитних і депозитних операцій, що дозволяє більш предметно і конкретно аналізувати фінансово-економічний стан комерційних банків.

Практична значимість. Практична значимість статті полягає у формуванні практичних інноваційних рекомендацій для банків та його клієнтів у вирішенні питань продуктивної співпраці та рентабельної діяльності як окремих бізнес-процесів (активних і пасивних операцій) фінансових установ, так і банківської системи в цілому. Налагоджена система роботи банку з усіма клієнтами (фізичними і юридичними особами) є надійним фундаментом для розвитку фінансових установ в Україні, і не тільки. Даний метод аналізу допоможе швидше подолати кризу та вийти з неї з мінімальними втратами капіталу.

Результати. Визначено, що наведений в статті методологічний інструментарій допоможе більш глибоко та детальніше підходити до зваженого вибору банку по основним параметрам, котрими виступають кредити і депозити, та відсотки по ним.

Ключові слова: відсоток, кредит, депозит, банк, СПРЕД, процентна маржа, резерви.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-147-153

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В реаліях сучасної економіки на Україні (і не тільки) важливим завданням є не втратити гроші, а краще їх заробити і примножити. Але потрібно це робити обережно, розуміючи їх джерело заробітку, зважити при цьому всі ризики. У даній науковій статті ми спробували поглянути на комерційні банки очима звичайного споживача, який приносить свій депозит і хоче не втратити свої останні кровні кошти. Особливо це актуально у кризовий час, коли відсотки по позиках великі, а гарантії повернення їх дуже низькі.

Аналіз досліджень і публікацій. Банківська система є однією із найважливіших складових фінансового ринку, а її стабільність та розвиненість – необхідною умовою розвитку національної економіки. Серед вітчизняних та зарубіжних авторів можна виділити праці О. Васюренко, В. Вітлінський, Д. Гладких, Ю. Головін, О. Дзюблук, Ю. Заруба, Б. Івасів, Н. І. Корецька, О. Лаврушин, І. Лютий, Ю. Масленченков, В. Міщенко, А. Мороз, О. Олійник, Г.М. Пурій, П.Роуз, М. Савлук, котрі висвітлюють проблеми адаптації банківських операцій серед споживачів [1-12].

Постановка задачі. Мета наукової статті полягає в подальшому дослідженні методів оцінки відсотків за кредитними і депозитними операціями. Суть методу полягає у виборі оптимального комерційного банку за такими параметрами: процентні ставки по кредитах і депозитах, резерви за кредитними операціями, абсолютних показники величин кредитного та депозитного портфелів. Якщо економіст (фінансист) проводить аналіз з позиції максимізації прибутку (доходу) і поступового нарощування капіталу при помірному середньому ризику, то, ми (як звичайні обивателі) спробуємо зробити теж саме, але під іншим кутом, щоб врахувати саме наші інтереси (фізичних споживачів-громадян банківських продуктів).

Викладення матеріалу та результати. В кризовий час комерційні банки зменшують відсотки по депозитам і підвищують по кредитах, бо грошей в економіці не вистачає (дефіцит ліквідності), попит серед бізнесу та звичайних громадян на них зростає, тоді ставки дещо підвищуються. Фінансові установи заробляють достатньо коштів та залишаються «при своїх», а звичайний вкладник ризикує своїми грошима на депозиті. Якщо банк «лопне», то обсягу коштів по гарантуванню вкладів не вистачить на всіх. Другим негативним моментом є виплата його (боргу звичайним людям) частинами, що значно розтягує цей процес у часі, поступово знецінюючи грошовий ресурс (грошову масу), адже інфляцію ніхто не відміняв. Ось і постає питання – не втратити останнє при кризі. Тому треба вміти аналізувати становище банків, не беручи відразу рекламні тиражовані відсотки на сайті фінансової установи, а відповідально підходячи до інструментів аналізу та суті процесів, що в них протікають.

Тому ми пропонуємо вашій увазі нашу методологію разом з інструментарієм, котрий базується на розрахунку ставок взятих з фінансово-статистичної звітності [1-6]. Назва сторінок: «Згруповані балансові залишки» (назва файлу завантаження Aggregation_new.rar) та підкатего-

рія «Розподіл кредитів, наданих фізичним та юридичним особам, та розміру кредитного ризику за класами боржника» (назва файлу завантаження Kred_class.rar).

Файли відкриваються програмою MS EXCEL, що дозволяє, не зважаючи на обсяги інформації (даних чисел), проводити швидко та ефективно різні обчислення, сортувати та фільтрувати, будувати графіки та діаграми, імпортувати дані на різні пристрої (планшети, смартфони). Тому метод можна назвати «планшетним», що говорить про його зручність по моделі «тут та зараз».

Зараз покажемо як це ефективно та просто зробити за допомогою наведених інструментів (економічних формул). Спочатку сформуємо вибірку по банкам, котрі нас цікавлять з фінансової точки зору. Інформацію на будь-який попит і смак можна знайти в Інтернеті, наприклад, по гіперпосиланню <https://minfin.com.ua/banks/rating/> [2] з назвою Інтернет-сторінки «10 самих стійких комерційних банків України», щоб з них виділити самий надійний (оптимальний) банк по нашій методиці. Отже за базу взяли наступні десять банків України [7-10]: АТ "Райффайзен Банк Аваль", АТ "Укрсиббанк", АТ "ОТП Банк", АТ "Прокредит Банк", АТ "Креді Агріколь Банк", АТ "Кредобанк", АТ "ПУМБ", АТ КБ "Приватбанк", АБ "Укргазбанк", АТ "Укрексімбанк", котрі. Зведемо дані в одну таблицю (табл. 1)

Таблиця 1

Фінансові показники комерційних банків за листопад 2019 року, тис. грн

Банки	Кредитний портфель	Кредитний дохід (кредитні відсотки)	Депозитний портфель	Депозитні витрати (відсотки)
АТ "Райффайзен Банк Аваль"	45 092 293	8 225 674	63 496 949	2 294 127
АТ "Укрсиббанк"	22 129 766	4 428 294	41 795 935	851 003
АТ "ОТП Банк"	25 986 352	4 341 572	32 348 882	1 342 360
АТ "Прокредит Банк"	16 244 559	2 263 009	13 766 057	1 191 834
АТ "Креді Агріколь Банк"	26 848 963	3 515 072	30 753 174	1 515 121
АТ "Кредобанк"	11 178 357	1 891 552	13 110 270	668 019
АТ "ПУМБ"	31 624 589	6 408 507	41 240 912	2 016 724
АТ КБ "Приватбанк"	60 535 048	28 021 698	224 452 031	11 710 429
АБ "Укргазбанк"	41 746 907	8 427 871	93 615 159	5 837 642
АТ "Укрексімбанк"	64 435 916	10 285 672	77 244 916	8 292 964

За даними табл. 1 розрахуємо наступні показники: чисту процентну маржу та СПРЕД, котрі дадуть ясність у заробітках по кредитах і депозитах обраної фінансової установи. Всі вони необхідні для аналізу та виявлення оптимального банку для ділових відносин з ним (розміщення грошей на депозиті). Наступні показники будемо розраховувати на прикладі АТ КБ Приватбанк [1-5].

Будь-який комерційний банк заробляє великі гроші на різниці між відсотками за кредитами і депозитами. Перевищення доходів над видатками банку характеризує процентна маржа – важливий показник діяльності банку. Вона визначається як різниця між процентними доходами і витратами комерційного банку, тобто між відсотками отриманими і сплаченими.

Тобто маржа – це головний показник ефективності роботи банку, взагалі він розраховується як різниця між доходами та витратами комерційного банку по різних напрямках його бізнес-операцій (різницею відсотків між кредитами і депозитами, комісіями за перекази, торгівлею іноземною валютою). Загальна підсумкова маржа складається із фінансових результатів по всім банківським операціям. Логіка побудови цього показника дозволяє вирішувати питання ефективності діяльності фінансової установи для більш часткового сегментування по окремим банківським продуктам. Але в нашій науковій роботі-статті нас цікавить тільки процентна маржа, на ній ми і зосередимось. Для початку розрахуємо чисту процентну маржу. Чиста процентна маржа – це відношення маржі (різниці між отриманими відсотками по кредитах і виплаченими відсотками за депозитами) до відсоткових активів (кредитного портфелю). Розраховується вона за формулою

$$\text{ЧПМ} = (\text{ВД} - \text{ВВ}) / \text{КП}, \quad (1)$$

де ВД – відсотковий дохід (дохід за кредитами), ВВ – відсоткові витрати (відсотки по депозитах), КП – кредитний портфель (процентні активи).

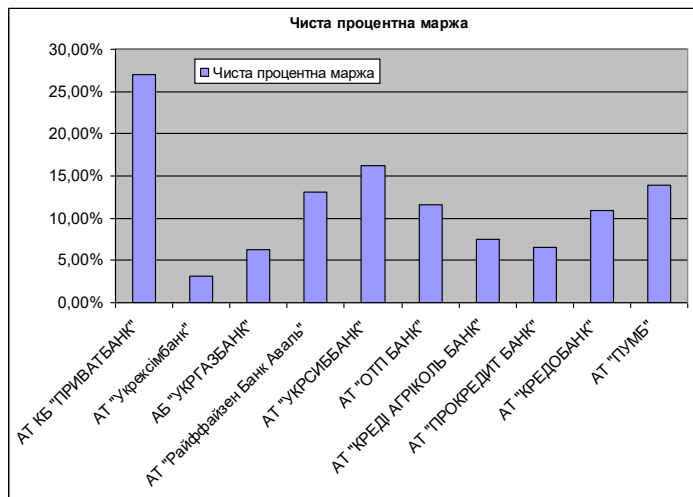


Рис. 1. Чиста процентна маржа комерційних банків за листопад 2019 р, %

Зробимо аналогічні розрахунки по останнім комерційним банкам та представимо їх на графіку (рис. 1).

Чиста процентна маржа – це рентабельність фінансової установи; чим вона вище, тим більше коштів банку заробляє з однієї гривні виданих кредитів. Вона виражається в долях одиниць або у відсотках (кому як зручніше). Якщо розглядати діяльність банків з позиції ефективності, то лідером можна відзначити – АТ КБ «Приватбанк», потім АТ «Укрсиббанк» і АТ «ПУМБ» і т.д. З графіка бачимо, що маржа АТ КБ «Приватбанку» більше 25%. Відрив в цьому значенні від розглянутих установ – значний.

Але нас цікавить точка зору звичайного громадянина на ситуацію. Тут бажано б відмітити головне – що доходи йдуть рука об руку з ризиком неповернення коштів клієнтів. Адже на них банк заробляє відсоткову маржу, і цього треба ніколи не забувати. Ми прийшли к висновку, що велика маржа (з позиції клієнта-вкладника) не є головним, а важливим чинником виступає баланс між доходами (прибутками, ефектами) і сукупними ризиками, а це є золотим правилом фінансів. Концепція бізнесу визначається постійністю в отриманні прибутків, утриманню постійної кількості клієнтів (а не коли вони розбігаються при кризових станях). Все наведене вище досягається при збалансованих ризиках з фінансовими результатами. В банківському бізнесі даний процес виглядає наступним чином: кредитний відсоток для підприєємців повинен бути стерпним щодо погашення. Адже, якщо фірма вчасно не виплатить тіло кредиту, відсотки та комісію – вона втратить свій бізнес (нехай не відразу, але труднощі будуть спіткати її постійно, доки вона не припинить свого існування). Далі йдемо ланцюгом руху фінансів: гроші на кредити дає населення через депозити. Їх достатність буде розвивати бізнес в даному регіоні, тому величина коштів та їх постійна циркуляція залежить від депозитної ставки. Вона не повинна бути низькою – бо населення не принесе грошей у банк, далі їх не отримає фірма в достатній кількості, а ще й висока плата за кредит. Тобто ви зрозуміли, що кредитний відсоток не повинен бути дуже високим, а депозит для людей – не сильно низьким.

Далі розраховується СПРЕД. Він і потрібен для визначення балансу між ставками по кредитах і депозитам. СПРЕД – це різниця між середньозваженою ставкою, отриманої за активами і середньозваженою ставкою, виплаченої за зобов'язаннями. А простіше кажучи – між відсотками отриманими (кредит) та сплаченими (депозит). Розраховується за формулою

$$\text{СПРЕД} = \text{ДК}\% - \text{СР}\%, \quad (2)$$

$$\text{ДК}\% = \text{ВД}/\text{КП}, \quad (3)$$

де ДК% – середня зважена ставка, отримана за кредитами (прибутковість процентних активів, %) – відношення відсоткових доходів до кредитного портфелю.

$$\text{СР}\% = \text{ВВ}/\text{ДП (ПП або ПО)} \quad (4)$$

де СР% – середня зважена ставка, виплачена за депозитами (вартість процентних ресурсів, %) – відношення відсоткових витрат до депозитного портфелю (середніх процентних пасивів або зобов'язань).

Простіше кажучи СР% – це ставка ресурсів, котрі банк бере у населення, щоб на них (запозичених грошах) заробити додаткові маржинальні кошти для себе. ПП (ПО) – процентні пасиви (процентні зобов'язання).

Як бачимо – нічого складного: чиста процентна маржа розраховується лише на один кредитний портфель, а СПРЕД враховує ще й депозитний ресурс. Кредитний та депозитний портфелі завжди стоять у знаменнику (там їм і місце). Адже по логіці ми ділимо результат на витрати, тобто якою ціною даний ефект отриман. І так завжди, щоб ми не брали за основу, і який банків-

ський продукт не аналізували. Все це дозволяє нам побудувати ефективну систему показників та легко її запам'ятати, щоб продуктивно використовувати на практиці. Зробимо аналогічні розрахунки по інших комерційних банках та представимо їх на графіку (рис. 2):

АТ КБ «Приватбанк» з великим відривом показує максимальний СПРЕД, а далі все це говорить про одне – він багато заробив, є лідером по прибуткам серед інших фінансових установ. Потім за ним йдуть: АТ «Укрсиббанк» і АТ «ПУМБ».

Звернемо увагу на низький СПРЕД, він у АТ «Укрексімбанк» і АТ «Прокредит Банк». Кредитні та депозитні ставки цих банків відповідно: 15,96% / 10,74% та 13,93% / 8,66%. Відсотки по депозитам: 10,74% і 8,66% – самі високі серед всіх банків, а по позикам – одні з низьких у виборці. Тобто для населення даний момент є сприятливим (позитивним) індикатором, що говорить про потенційні довгострокові стосунки, котрі принесуть плоди всім сторонам бізнес-процесу.

Більш наглядно та комплексно ми зможемо цей процес побачити в табл. 2.

Отже, зробимо подібні розрахунки (чисту процентну маржу, СПРЕД, кредитні та депозитні відсотки) по інших банках та зведемо все в одну таблицю (табл. 2).

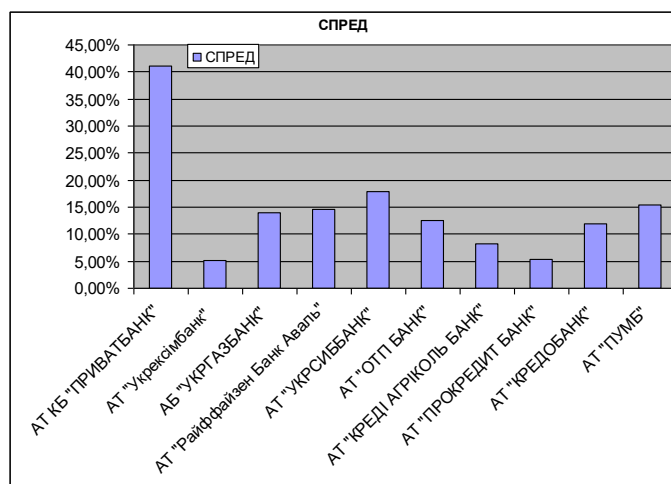


Рис. 2. СПРЕД комерційних банків за листопад 2019 р, %

Розрахункові показники комерційних банків за листопад 2019 року, тис.грн

Банки	Кредитний процент (ставка)	Депозитний процент (ставка)	СПРЕД	Чиста процентна маржа
АТ "Райффайзен Банк Аваль"	18,24%	3,61%	14,63%	13,15%
АТ "Укрсиббанк"	20,01%	2,04%	17,97%	16,17%
АТ "ОТП Банк"	16,71%	4,15%	12,56%	11,54%
АТ "Прокредит Банк"	13,93%	8,66%	5,27%	6,59%
АТ "Креді Агріколь Банк"	13,09%	4,93%	8,17%	7,45%
АТ "Кредобанк"	16,92%	5,10%	11,83%	10,95%
АТ "ПУМБ"	20,26%	4,89%	15,37%	13,89%
АТ КБ "Приватбанк"	46,29%	5,22%	41,07%	26,95%
АБ "Укргазбанк"	20,19%	6,24%	13,95%	6,20%
АТ "Укрексімбанк"	15,96%	10,74%	5,23%	3,09%

Візьмемо АБ «Укргазбанк»: відсоток по депозитам дещо нижче ніж у АТ «Прокредит Банк», але кредитний відсоток один із самих великих серед усіх установ, СПРЕД теж високий (але не настільки в порівнянні з АТ «Приватбанком» та АТ «Укрсиббанком»), а ось чиста процентна маржа – низька. Даний момент говорить про менш ефективний заробіток з кредитного портфелю (активних операцій).

Показник (величина) резерву – це віртуальний індикатор. Він з'являється тільки тоді, коли банк фіксує факт появи позики на балансі (тобто факт видачі кредиту позичальнику); зростає з погіршенням якості судного портфелю (коли загальний фінансовий клас позичальників падає), та, зникає, коли кредити виплачуються. Треба відмітити важливий момент, що зростання абсолютної величини резервів релевантне збільшенню кредитного портфелю, і являє собою досить нормальне явище у банківській сфері, коли відносний показник (питома вага) резервів до кредитів залишається на тому ж самому рівні, а краще, коли зменшується при зростанні обсягів активних операцій (видачі суд).

Ризик по кредитному портфелю визначається наступним чином

$$KP = P / КП \quad (5)$$

де КР – кредитний ризик, Р – кредитні резерви, КП – кредитний портфель

Занесемо показники загальних резервів по кредитним операціям всіх фінансових установ нашої вибіркової групи в табл. 3 [1-3].

Таблиця 3

Резерви по загальним кредитам (фізичних і юридичних осіб) комерційних банків за листопад 2019 року, тис.грн

Банки	Кредитний портфель	Резерв	Питома вага резерву у кредитах
АТ "Райффайзен Банк Аваль"	45 092 293	3 260 966	7%
АТ "Укрсиббанк"	22 129 766	2 986 343	13%
АТ "ОТП Банк"	25 986 352	4 932 726	19%
АТ "Прокредит Банк"	16 244 559	454 478	3%
АТ "Креді Агріколь Банк"	26 848 963	1 881 500	7%
АТ "Кредобанк"	11 178 357	634 402	6%
АТ "ПУМБ"	31 624 589	8 812 467	28%
АТ КБ "Приватбанк"	60 535 048	239 169 278	395%
АБ "Укргазбанк"	41 746 907	8 168 170	20%
АТ "Укрексімбанк"	64 435 916	57 062 796	89%

Як бачимо, показники резервів АТ КБ «Приватбанку» дуже погані, наприклад, кредитний ризик по судам юридичних осіб склав 1427%. Дане явище пов'язано з великою кількістю проблемних позик, зalog по яким досить не реалізовано, щоб погасити борг (майже 1 млн поганих боржників). Погане забезпечення конвертується за допомогою зростаючих коефіцієнтів та додається до величини резервів, тому й з'являється такий негативний показник у Приватбанку. Далі проблемним є АТ «Укрексімбанк» з загальним показником – 89% (теж дуже погане становище). Всі інші фінансові установи індукують нормальні величини резервів (рис. 3).

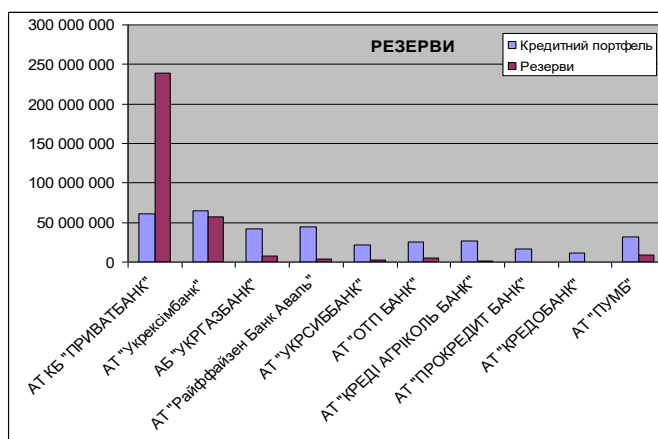


Рис. 3. Графік загальних кредитів та резервів комерційних банків за листопад 2019 року, тис.грн

Менш ризикований банк по кредитним резервам є АТ «Прокредит Банк», загальний показник резервів – 3%. При цьому СПРЕД в нього не високий – 5,27%, кредитний відсоток – 13,93% (максимальний розмір у АТ КБ «Приватбанку», АТ «ПУМБ» і АТ «Укргазбанку»), маржа досить низька – 6,59% (установа заробляє мало з кредитів), а головне, що повинно цікавити нас, так це ставка депозиту – 8,66% (одна з високих серед фінансових установ).

Висновки та напрямки подальших досліджень. Розглянуті в даній роботі теоретико-методологічні і методичні підходи відрізняються новизною, системністю і логічністю, відображають сутність процесу дослідження і комплексної оцінки параметрів банку (ставки, кредити і депозити, резерви), що гармонійно аналізується при триєдності всіх цих елементів. Адже все це дозволяє більш грамотно підійти до питання вибору оптимальної фінансової установи (для фізичних осіб в першу чергу).

Список літератури

1. <https://bank.gov.ua/statistic/supervision-statist/data-supervision#4>
2. <https://minfin.com.ua/banks/rating/>
3. <https://stockmarket.gov.ua>
4. <https://smida.gov.ua>
5. <https://minfin.com.ua>
6. bank.gov.ua
7. <https://finsee.com/депозити/надійні-банки/>
8. <https://forinsurer.com/rating-banks>
9. <https://www.epravda.com.ua/news/2019/11/7/653456/>
10. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0351500-16>
11. **Корецька Н. І.** Процес концентрації ринку банківських послуг України: оцінка та стратегії позиціонування / Н. І. Корецька // Економічний форум. – 2014. – № 1. – С. 196–204.

12. **Пурій Г.М.** Активізація інвестиційної діяльності банківської системи в контексті розвитку глобалізації / **Галина Пурій** // Науковий вісник НЛТУ України. Збірник науково-технічних праць. – 2009. – Випуск 19.12. – С. 255 – 263.

Рукопис подано до редакції 13.05.2020

УДК [658.562:622.7.016]: 66.085.3

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

ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ КАК ИСТОЧНИК ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В ЖЕЛЕЗОРУДНОМ СЫРЬЕ

Цель. Усовершенствование существующего ядернофизического метода контроля содержания 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 и поглощенного гамма-излучения от содержания полезного компонента в железной руде. Получение аналитических формул для вычисления содержания железа в железорудном сырье на основе рассеянного и поглощенного гамма-излучения.

Метод. Предлагается вместе с известным ядернофизическим методом, основанным на регистрации комптоновского рассеяния, использовать метод учета интенсивности поглощенного гамма-излучения для повышения точности контроля качества железорудного сырья в области высоких содержаний железа.

Научная новизна. Впервые предложено при контроле содержания железа в железорудном сырье ядернофизическими методами контролировать как интенсивность рассеянного гамма-излучения, так и учитывать интенсивность поглощенного гамма-излучения.

Практическая значимость. Известный ядернофизический метод контроля качества железорудного сырья, основанный на измерении интенсивности рассеянного гамма-излучения, обуславливает недостаточную точность при анализе содержания железа в исходной руде рудообогатительных фабрик и продуктах переработки. Применение полученных результатов исследований даст возможность повысить точность контроля содержания железа в железорудном сырье и продуктах переработки в условиях рудообогатительных фабрик, что позволит уменьшить колебания содержания железа в конечном продукте рудообогатительных фабрик – концентрате, а также создаст предпосылки для увеличения производительности металлургического производства.

Результаты. Проведены исследования по определению содержания железа в железорудном сырье при помощи ядернофизических методов, основанных на регистрации интенсивности рассеянного и поглощенного гамма-излучений. Анализ полученных результатов экспериментальных исследований показал, что для контроля качества железорудного сырья с высокими значениями содержания железа целесообразно применять ядернофизический метод контроля, основанный на учете интенсивности поглощенного гамма-излучения. Получены аналитические формулы для вычисления содержания железа в железорудном сырье на основе рассеянного и поглощенного гамма-излучения.

Ключевые слова: железорудное сырье, комптоновское рассеяние, ядернофизические методы, гамма-излучение, оперативный контроль.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-153-159

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 [1]. При этом, годовой объем открытой и подземной добычи железорудного сырья в Кривбассе составляет более 60 млн тонн.

В то же время существует проблема колеблемости показателей содержания железа в железорудном сырье (ЖРС), поступающем на переработку на рудообогатительные фабрики (РОФ). Колебания показателей качества исходного ЖРС приводит к колеблемости содержания железа в промпродукте и в концентрате. В связи с этим, стабилизация содержания железа в ЖРС является одной из наиболее важных задач в горнообогатительной промышленности, обусловленной необходимостью повышения качества концентрата в условиях жесткой конкуренции на мировом рынке ЖРС.

Анализ исследований и публикаций. На РОФ контроль содержания железа в ЖРС осуществляется при помощи ядернофизических, магнитометрических и ультразвуковых методов

[2]. Магнитометрический метод [3-11] позволяет определять содержание магнитного железа в ЖРС в зависимости от изменения магнитной проницаемости. Ультразвуковые методы контроля [12-14], основанные на измерениях процессов распространения ультразвуковых объёмных и поверхностных волн, также находят свое применение в условиях РОФ.

Для контроля содержания общего железа в ЖРС, как правило, применяется ядернофизический метод, основанный на регистрации комптоновского рассеяния [15-18]. Данный метод показывает хорошие результаты в зоне низких содержаний железа в ЖРС, однако его точность уменьшается при повышении содержания полезного компонента в ЖРС. Ядернофизический метод контроля содержания железа в ЖРС, основанный на регистрации рассеянных гамма-квантов, является одним из наиболее перспективных, однако целесообразным является рассмотрение возможности использования интенсивности поглощенного гамма-излучения для определения содержания железа в ЖРС.

Постановка задания. Целью экспериментальных исследований является усовершенствование ядернофизического метода определения содержания железа в ЖРС.

В связи с этим были поставлены следующие задачи:

провести эксперименты, позволяющие исследовать зависимости интенсивностей рассеянного и поглощенного гамма-излучения от содержания железа в ЖРС;

получить аналитические формулы для вычисления содержания железа в ЖРС на основе рассеянного и поглощенного гамма-излучения.

Изложение материала и результаты. Математическое моделирование интенсивностей рассеянного и поглощенного ЖРС гамма-излучения, проведенное в работе [2], позволило исследовать влияние особенностей устройств, реализующих облучение ЖРС. Вместе с тем, главным остается вопрос об исследовании гамма-излучения как источника информации о содержании железа при учете рассеянного и поглощенного ЖРС гамма-излучения. С этой целью были проведены эксперименты, позволяющие исследовать зависимости интенсивностей рассеянного и поглощенного гамма-излучения от содержания железа в ЖРС. На рис.1 представлены в виде точек графики результатов экспериментов.

С увеличением содержания железа в ЖРС при неизменных условиях, реализуемых при лабораторных исследованиях, интенсивность рассеянного гамма-излучения монотонно уменьшается, асимптотически приближаясь почти к фоновым значениям. С другой стороны, интенсивность поглощенного ЖРС гамма-излучения монотонно возрастает при увеличении содержания железа в ЖРС.

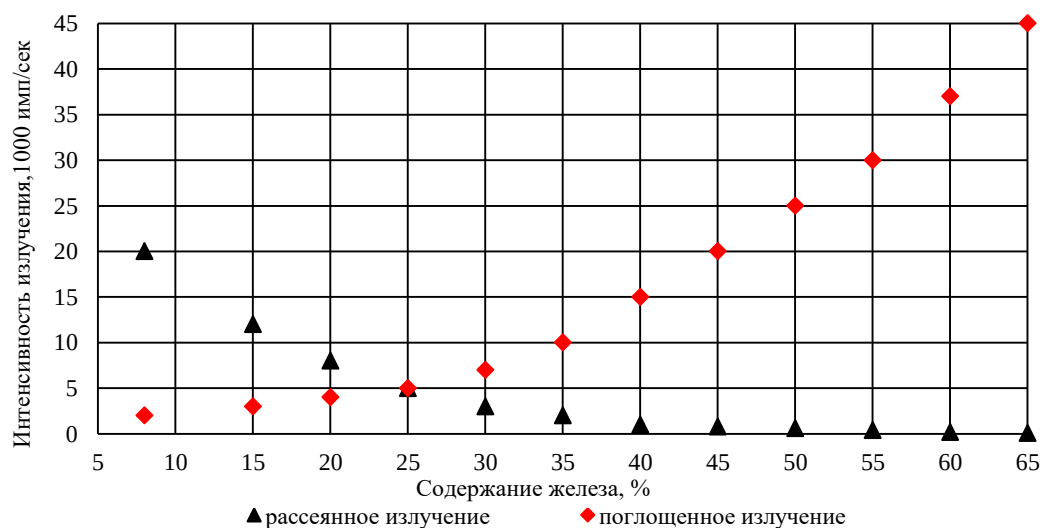


Рис. 1. Зависимости интенсивности рассеянного и поглощенного гамма-излучения от содержания железа в ЖРС

Важной особенностью исследуемых зависимостей является то, что при некотором содержании железа в ЖРС интенсивности обоих гамма-излучений сравниваются, а соответствующие графики пересекаются. Такие результаты экспериментов наводят на мысль о возможности дуального подхода к измерению содержания железа в ЖРС. При достаточно низких содержаниях железа в ЖРС естественно использовать информацию о рассеянном

гамма-излучении, так как его интенсивность выше интенсивности поглощенного ЖРС гамма-излучения. В свою очередь, при сравнительно высоких содержаниях железа в ЖРС, когда интенсивность поглощенного гамма-излучения превышает интенсивность рассеянного гамма-излучения, целесообразно использовать информацию о поглощенном ЖРС гамма-излучении. Для получения аналитических формул, описывающих на рис. 1 результаты экспериментов, представим эту информацию в оцифрованном виде, сводя их в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость интенсивности гамма-излучения от содержания железа в ЖРС

Содержание железа в руде, %	Интенсивность гамма-излучения, имп/сек	Рассеянное гамма-излучение	Поглощенное гамма-излучение
8		20000	2000
15		12000	3000
20		8000	4000
25		5000	5000
30		3000	7000
35		2000	10000
40		1000	15000
45		800	20000
50		600	25000
55		400	30000
60		200	37000
65		100	45000

Для получения аналитических формул согласно данным, приведенным в табл. 1, воспользуемся методом наименьших квадратов (МНК). Анализ результатов экспериментов, приведенных на рис. 1 и в табл. 1, указывает на нелинейность исследуемых зависимостей интенсивностей гамма-излучений от содержания железа в ЖРС. Поэтому возникает вопрос о выборе структуры формулы, которая аналитически описывает исследуемые зависимости. Согласно общему подходу к выбору структур формул, одним из наиболее важных требований является условие минимального количества параметров, входящих в эту формулу. Величины этих параметров определяются как результат идентификации на заданном статистическом материале с помощью МНК, поэтому минимальное их количество позволяет решать соответственно минимальное количество уравнений. Вместе с тем, параметры должны входить в формулу так, чтобы путем алгебраических преобразований формулу можно было бы свести к линейному виду относительно параметров, и тем самым воспользоваться в наиболее удобно реализуемом виде МНК. Качественный анализ зависимостей, приведенных на рис. 1, позволяет предположить о целесообразности выбора структуры формулы в виде степенной зависимости интенсивности гамма-излучения от содержания железа в ЖРС

$$N=a \cdot q^b, \quad (1)$$

где a, b – параметры.

Возможность выбора структуры, задаваемой формулой (1), объясняется также тем, что величины интенсивности гамма-излучения и содержания железа в ЖРС, представляющие статистический материал, приведенный в табл. 1, являются положительными. Для применения МНК в линейном виде преобразуем формулу (1) путем логарифмирования к виду

$$y=\alpha+b \cdot x, \quad (2)$$

где $y=\ln N, x=\ln q, \alpha=\ln a$.

В формулу (2) параметры входят линейно, что упрощает применение МНК. Принимая во внимание данные, приведенные в табл. 1, получаем систему из 12 уравнений с двумя неизвестными α и b

$$\alpha+b \cdot x_i=y_i, i=1, \dots, 12. \quad (3)$$

Очевидно, что система (3) является несовместной, так как число неизвестных меньше числа уравнений. Как один из возможных путей преодоления этой трудности является обобщение определения решения системы уравнений (3). Несовместную систему уравнений (3) можно решить с помощью МНК, минимизируя суммарную невязку правых и левых частей уравнений этой системы.

В качестве функции суммарной невязки в МНК используется сумма квадратов невязок каждого из уравнений

$$\Phi(\alpha, b) = \sum_{i=1}^{12} (\alpha + b \cdot x_i - y_i)^2. \quad (4)$$

Таким образом, для решения несовместной системы уравнений (3) необходимо минимизировать функцию (4) по параметрам α, b , то есть

$$\min_{\alpha, b} \Phi(\alpha, b). \quad (5)$$

Простой вид функции (4) позволяет решить задачу минимизации (5), приравняв нулю частные производные функции $\Phi(\alpha, b)$, то есть

$$\begin{aligned} \partial \Phi(\alpha, b) / \partial \alpha &= 0, \\ \partial \Phi(\alpha, b) / \partial b &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Так как функция (2) является линейной относительно параметров α и b , то (4) – квадратичная функция, что обуславливает линейность системы уравнений (6). Действительно, подставляя (4) в (6) и вычисляя частные производные, получаем систему двух линейных алгебраических уравнений

$$\begin{cases} 12\alpha + b \sum_{i=1}^{12} x_i = \sum_{i=1}^{12} y_i; \\ \alpha \sum_{i=1}^{12} x_i + b \sum_{i=1}^{12} x_i^2 = \sum_{i=1}^{12} x_i y_i. \end{cases} \quad (7)$$

Эта система уравнений легко решается стандартными способами. Систему уравнений (7) можно записать в упрощенной форме, воспользовавшись обозначениями для средних

$$\begin{cases} \alpha + b\bar{x} = \bar{y} \\ \alpha\bar{x} + b\bar{x}^2 = \bar{xy} \end{cases} \quad (8)$$

где $\bar{x} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} x_i$, $\bar{y} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} y_i$, $\bar{x}^2 = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} x_i^2$, $\bar{xy} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} x_i y_i$.

Тогда решение системы (8) согласно формулам Крамера запишется в виде

$$\alpha = \frac{\bar{y} \cdot \bar{x}^2 - \bar{x} \cdot \bar{xy}}{\bar{x}^2 - (\bar{x})^2}, \quad b = \frac{\bar{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\bar{x}^2 - (\bar{x})^2}. \quad (9)$$

Ниже в табл. 2 представлены результаты расчетов по формулам (9).

Таблица 2

Информация для расчетов параметров аппроксимирующих формул

№	q, %	x	x ²	N _p	y _p	xy _p	x	x ²	N _п	y _п	xy _п
1	8	2.08	4.32	20000	9.90	20.59	2.08	4.32	2000	7.60	15.81
2	15	2.71	7.33	12000	9.39	25.44	2.71	7.33	3000	8.01	21.68
3	20	3.00	8.97	8000	8.99	26.92	3.00	8.97	4000	8.29	24.85
4	25	3.22	10.36	5000	8.52	27.42	3.22	10.36	5000	8.52	27.42
5	30	3.40	11.57	3000	8.01	27.23	3.40	11.57	7000	8.85	30.11
6	35	3.56	12.64	2000	7.60	27.02	3.56	12.64	10000	9.21	32.75
7	40	3.69	13.61	1000	6.91	25.48	3.69	13.61	15000	9.62	35.47
8	45	–	–	–	–	–	3.81	14.49	20000	9.90	37.70
9	50	–	–	–	–	–	3.91	15.30	25000	10.13	39.62
10	55	–	–	–	–	–	4.01	16.06	30000	10.31	41.31
11	60	–	–	–	–	–	4.09	16.76	37000	10.52	43.07
12	65	–	–	–	–	–	4.17	17.43	45000	10.71	44.73
среднее	–	3.09	9.83	–	8.47	25.73	3.47	9.83	–	9.31	32.87

При расчете параметров для интенсивности рассеянного гамма-излучения были приняты во внимание содержания железа в ЖРС до 40%. При более высоких содержаниях железа в ЖРС интенсивность рассеянного гамма-излучения слишком мала и, как следствие, ошибка измерений значительна.

Подставляя данные последней строки табл. 2 в формулы (9), находим

$$\alpha_p = \frac{8,59 \cdot 9,83 - 3,09 \cdot 25,73}{9,83 - 3,09^2} = 13,32 \quad b_p = \frac{25,73 - 3,09 \cdot 8,47}{9,83 - 3,09^2} = -1,785 \quad (10)$$

$$\alpha_{п} = \frac{9,31 \cdot 12,40 - 3,47 \cdot 32,87}{12,40 - 3,47^2} = 3,86 \quad b_{п} = \frac{32,87 - 3,47 \cdot 9,31}{12,40 - 3,47^2} = 1,57 \quad (11)$$

Согласно (10), интенсивность рассеянного ЖРС гамма-излучения вычисляется по формуле

$$N_p = 608162 q^{-1,785}, \quad (5\% \leq q \leq 40\%) \quad (12)$$

Согласно (11), интенсивность поглощенного ЖРС гамма-излучения вычисляется по формуле

$$N_p = 47,33q^{1,57}, \quad (5\% \leq q \leq 65\%) \quad (13)$$

Для проверки значимости формул (12) и (13) воспользуемся статистическими методами. Учитывая, что имеет место нелинейная парная регрессия, вычислим индекс корреляции по формуле [19]

$$\rho_{xy} = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (14)$$

где y_i – статистические данные, $\hat{y}_i$ – результаты расчета по функции, $\bar{y}$ – среднее значение.

Для оценки значимости индекса детерминации ρ_{xy}^2 используется F – критерий Фишера. Фактическое значение критерия Фишера находится по формуле

$$F_\phi = \frac{\rho_{xy}^2}{1 - \rho_{xy}^2} \frac{n - m}{m - 1}, \quad (15)$$

где n – число опытов, m – число параметров в функции.

Вычисленное фактическое значение критерия Фишера (15) сравнивается с табличным значением критерия Фишера F_T для уровня значимости α , числа степеней свободы числителя $k_1 = m - 1$ и числа степеней свободы знаменателя $k_2 = n - m$. Если $F_\phi > F_T(\alpha, k_1, k_2)$, то нулевая гипотеза о статистической незначимости и ненадежности выбранной функции отклоняется с вероятностью $1 - \alpha$. В противном случае, то есть при $F_\phi \leq F_T(\alpha, k_1, k_2)$, нулевая гипотеза принимается.

В табл. 3 приведены необходимые расчеты для оценки значимости функций (12) и (13).

Таблица 3

Информация для статистической проверки значимости функций (12) и (13)

№	N_p	$\hat{N}_p$	$(N_p - \hat{N}_p)^2$	$(N_p - \bar{N}_p)^2$	N_n	$\hat{N}_n$	$(N_n - \hat{N}_n)^2$	$(N_n - \bar{N}_n)^2$
1	20000	14859	26424931	161653424	2000	1239	579484	222506944
2	12000	4838	51289374	22224624	3000	3324	104673	193673611
3	8000	2895	26058835	510224	4000	5221	1490838	166840278
4	5000	1944	9339133	5224424	5000	7411	5815020	142006944
5	3000	1404	2547312	18367224	7000	9868	8223825	98340278
6	2000	1066	871895	27938624	10000	12570	6603123	47840278
7	1000	840	25561	39510024	15000	15501	251394	3673611
8	–	–	–	–	20000	18650	1822348	9506944
9	–	–	–	–	25000	22005	8970620	65340278
10	–	–	–	–	30000	25557	19742312	171173611
11	–	–	–	–	37000	29298	59324968	403340278
12	–	–	–	–	45000	33221	138748854	788673611
Сред.	7286	–	–	–	16917	–	–	–
Сумма	–	–	116557041	275428571	–	–	251677459	2312916667

Расчеты по формулам (14) и (15) дали следующие результаты.

Для рассеянного гамма-излучения

$$\rho_{qN_p} = \sqrt{1 - \frac{116557041}{275428571}} = 0.759, \quad F_{\phi p} = \frac{0,577}{1 - 0,577} \frac{12 - 2}{2 - 1} = 31.6; \quad (16)$$

для поглощенного гамма-излучения

$$\rho_{qN_n} = \sqrt{1 - \frac{251677459}{2312916667}} = 0.891, \quad F_{\phi n} = \frac{0,944}{1 - 0,944} \frac{12 - 2}{2 - 1} = 168.7. \quad (17)$$

По таблице распределения Фишера для 95%-квантилей находим [20]

$$F_T = F(0.05, 1, 10) = 4.96. \quad (18)$$

Так как фактические значения критерия Фишера (16) и (17) больше его табличной величины (18), то нулевая гипотеза о статистической незначимости и ненадежности функций (12) и (13) отклоняется с вероятностью 0,95.

Вместе с тем, на практике необходимо решать обратную задачу, а именно: по интенсивности гамма-излучения (рассеянного или поглощенного ЖРС) оценить величину содержания железа в ЖРС. В этом случае полученные функции (12) и (13) необходимо преобразовать в обратные. Учитывая монотонность и непрерывность функций (12) и (13), можно сделать, что обрат-

ные функции существуют [21]. Сама структура функций (12) и (13) позволяет записать аналитические выражения для их обратных функций.

Для функции (12) обратной является функция

$$q = 1739N_p^{-0,569}. \quad (19)$$

В свою очередь, для функции (13) обратной является функция

$$q = 0,0857N_n^{0,637}. \quad (20)$$

Анализ формул показывает, что диапазон вычисления содержания железа по измеренной интенсивности у них разный. Так, формулу (19) целесообразно применять в области малых содержаний железа в ЖРС, то есть при достаточно большой интенсивности рассеянного гамма-излучения. А формулу (20) необходимо применять в области больших содержаний железа в ЖРС, то есть при достаточно большой интенсивности поглощенного гамма-излучения. Для нахождения момента перехода от одной формулы к другой рассмотрим условие, при котором содержания железа, вычисленные по формулам (19) и (20), будут равны, то есть

$$1739N_p^{-0,569} = 0,0857N_n^{0,637}. \quad (21)$$

Решая уравнение (21), находим

$$N_1 = 3739. \quad (22)$$

Таким образом, при интенсивности, определяемой формулой (22), рассеянное и поглощенное гамма-излучения будут равны. В результате общая формула для вычисления содержания железа может быть записана в виде

$$q = \begin{cases} 1739N^{-0,569}, & \text{если } N < 3739; \\ 0,0857N^{0,637}, & \text{если } N \geq 3739. \end{cases} \quad (23)$$

В пересчете на величину содержания железа в ЖРС, граничная величина содержания железа составит величину

$$q_1 = 16\%. \quad (24)$$

В заключение необходимо отметить особенность формул (19) и (20), которая характеризуется коэффициентом эластичности [21]. Коэффициент эластичности показывает, на сколько процентов изменится функция, если аргумент изменится на один процент. Коэффициент эластичности вычисляется по формуле

$$E_{y/x} = \frac{x}{y} \frac{dy}{dx}. \quad (25)$$

Для формул (19) и (20) коэффициенты эластичности, соответственно, равны

$$E_{Np/q} = -0,569 \quad E_{Nn/q} = 0,637. \quad (26)$$

Важно подчеркнуть, что коэффициенты эластичности являются постоянными, что важно при проведении расчетов.

Выводы и направления дальнейших исследований. Проведены исследования по определению содержания железа в ЖРС при помощи ядернофизических методов, основанных на регистрации интенсивности рассеянного и поглощенного гамма-излучений. Анализ полученных результатов экспериментальных исследований показал, что для контроля качества ЖРС с высокими значениями содержания железа целесообразно применять ядернофизический метод контроля, основанный на учете интенсивности поглощенного гамма-излучения. Получены аналитические формулы для вычисления содержания железа в ЖРС на основе рассеянного и поглощенного гамма-излучения.

Список литературы

1. Азарян А. А. Разработка комплексной системы для повышения качественных показателей железной руды / А. А. Азарян, В. Ю. Зубкевич, Д. В. Швец // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – 2018. – Вип. 47. – С. 68–75. – DOI: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-68-76.
2. Using the intensity of absorbed gamma radiation to control the content of iron in ore / A. Azaryan, A. Gritsenko, A. Trachuk, V. Serebrennikov, D. Shvets // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 3, issue 5 (99). – P. 29–35. – DOI: 10.15587/1729-4061.2019.170341.
3. Азарян А. А. Контроль содержания магнитного железа в пылеобразных продуктах рудообогатительной фабрики / А. А. Азарян, В. Г. Кучер, Ю. Е. Цыбулевский, Д. В. Швец // International Academy Journal «Web of Scholar». – 2017. – № 1(10). – С. 9–12.

4. Азарян А. А. Разработка измерительного канала для оперативного контроля содержания железа магнитного во взрывных скважинах / А. А. Азарян, А. А. Трачук, А. Н. Гриценко, Д. В. Швець // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. – 2019. – № 32. – С. 138–145.
5. Швець Д. В. Розробка системи стабілізації масової долі заліза магнітного у зливі класифікатора та дослідження можливості автоматизації процесу подрібнення залізної руди та підготовки її до збагачення / Д. В. Швець // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. – Кривой Рог, 2014. – С. 252–264.
6. Азарян А. А. Перспективы построения систем автоматического регулирования процесса магнитной сепарации на базе погружных анализаторов содержания магнитного железа / А. А. Азарян, В. Г. Кучер, Д. В. Швець // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. – Кривой Рог, 2017. – С. 214–228.
7. Дрига В. В. Исследование и классификация факторов снижающих точность непрерывного контроля качества магнетитовых руд / В. В. Дрига // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. – Кривой Рог, 2011. – С. 168–179.
8. Дрига В. В. Исследование влияния изменения пространственного расположения рудного материала в магнитном поле накладного индуктивного преобразователя на точность непрерывного контроля качества магнетитовых руд / В. В. Дрига // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. – Кривой Рог, 2011. – С. 64–80.
9. Цыбулевский Ю. Е. Исследование влияния физических характеристик материала железосодержащей пробы на размеры индуктивных датчиков. / Ю. Е. Цыбулевский, А. В. Швыдкий // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. – Кривой Рог, 2011. – С. 208–212.
10. Марюта А. Н. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик / А. Н. Марюта, Ю. Г. Качан, В. А. Бунько – Москва : Недра, 1983 – 277 с.
11. Марюта А. Н. Контроль качества минерального сырья / А. Н. Марюта, П. К. Младецкий, П. А. Новицкий. – Киев : Техніка, 1976. – 220 с.
12. Morkun V. The study of volume ultrasonic waves propagation in the gas-containing iron ore pulp / V. Morkun, N. Morkun, A. Pikilnyak // Ultrasonics. – 2015. – Volume 56. – P. 340–343.
13. Поркуян О. В. Комбинированный метод определения относительного содержания магнетита в твердой фазе железорудной пульпы / О. В. Поркуян, Т. Г. Сотникова // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ". – Харьков, 2010. – № 12. – С. 29–36.
14. Morkun V. Investigation of the effect of characteristics of gas-containing suspensions on the parameters of the process of ultrasonic wave propagation / V. Morkun, N. Morkun, V. Tron, S. Hryshchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 6, issue 5(90). – P. 49–58.15.
15. 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. – № 1. – P. 4–9. – URL: <https://bit.ly/39L1yFZ>.
16. Azaryan A. Research of influence single crystal thickness NaJ (TL) on the intensity of the integrated flux of scattered gamma radiation / A. Azaryan // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 2. – P. 43–46. – URL: <https://bit.ly/2UMMbQ>.
17. Azaryan A. Complex automation system of iron ore preparation for beneficiation / A. Azaryan, A. Pikilnyak, D. Shvets // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Issue 8. – P. 64–66. – URL: <https://bit.ly/2Xf1Vpx>.
18. Development of the method to operatively control quality of iron ore raw materials at open and underground extraction / A. Azaryan, A. Gritsenko, A. Trachuk, D. Shvets // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 5, issue 5 (95). – P. 13–19. – DOI: 10.15587/1729-4061.2018.144003.
19. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами / Д. Химмельблау. – Москва : Мир, 1973. – 958 с.
20. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления / Г. М. Фихтенгольц. – Москва : Наука, 1969. – Т. I. – 551 с.
21. Лавріненко Н. М. Основи економіко-математичного моделювання : навчальний посібник / Н. М. Лавріненко, С. М. Латинін, В. В. Фортуна, О. І. Бескровний. – Львів : Магнолія 2006, 2010. – 540 с.

Рукопись поступила в редакцию 15.04.2020

УДК 622.7.017

Г.Г. ГУБИН, Л.Н. САИТГАРЕЕВ, Т.П. ЯРОШ, кандидаты техн. наук, доценты
Криворожский национальный университет

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА И ФЛОКУЛООБРАЗОВАНИЕ ЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МИНЕРАЛОВ ОКИСЛЕННЫХ РУД

Цель. В связи с трудностями магнитного обогащения в сильном поле окисленных кварцитов, которые не позволили получить высокосортные концентраты, авторы провели исследования по изучению магнитных свойств минералов и определили возможность их флокуляции.

Методы исследования. Применялись магнитные методы.

Научная новизна заключается в получении новых результатов в магнитных свойствах минералов окисленных руд в магнитных полях напряженностью до 800 кА/м.

Практическая значимость заключается в разработке технологии флокулирования с целью снижения потерь металла с тонкими шламами крупностью менее 10 мкм.

Результаты. Исследованы мономинеральные фракции гематита, мартита, гетита, сидерита и кварца. Из полученных данных следовало, что перечисленные минералы обладают слабовыраженным магнетизмом. При этом необходимо учитывать, что природные минералы и подготовленные мономинеральные фракции не являются абсолютно чистыми материалами. В каждой фракции в большей или меньшей степени присутствует тонковкрапленный магнетит, который не раскрывается даже в классе минус пять микрометров и вносит свою долю в магнитные свойства минералов.

Экспериментальные исследования подтвердили наличие процесса флокулообразования в полях с индукцией 0,5-1 Тл. В продуктах с повышенной массовой долей магнетита (в основном сидерит и гематит крупностью 0,01 мм) в полях напряженностью до 800 кА/м образуются флокулы из частичек магнетита. Притяжение слабомагнитных частиц к ним незначительно. При увеличении индукции поля эти флокулы притягиваются между собой, на них постепенно флокулируют частицы основных слабомагнитных минералов, особенно при напряженности свыше 400 кА/м, а при 800 кА/м образуются уже объёмные агрегаты-флокулы, выстроенные параллельными цепочками в направлении поля. С уменьшением размеров частиц гематита, мартита и гетита притяжение во флокулы происходит при меньших расстояниях между ними. Совместное намагничивание крупных частиц с мелкими несколько облегчает флокулообразование для мелких частиц за счёт образования их флокул с крупными частицами, особенно в поле 800 кА/м.

Полученные результаты объясняют сравнительно низкие качественные показатели обогащения окисленных кварцитов магнитным методом в сильном поле и являются основанием для их улучшения.

Ключевые слова: магнитное обогащение, железорудные минералы, флокулы, флокулообразование, намагничивание частиц.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-159-165

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Со временем, как считают геологи, окисленные кварциты станут основной рудной базой Украины. Е.М. Николенко опубликовал данные, из которых следует, что в Кривбассе сосредоточено более 50 млрд т этого типа руд, которые представлены разными стратиграфическими горизонтами Криворожской серии [1].

Анализ исследований и публикаций. Уже проведено большое количество исследовательских работ по изучению обогатимости окисленных руд. Выявлены трудности, связанные с их переработкой [2-15].

По сегодняшним представлениям все природные минералы окисленных железных руд относятся к антиферромагнетикам и обладают слабовыраженным ферромагнетизмом. Сведения о магнитных свойствах окисленных минералов довольно противоречивы. Г.В. Губин и Г.М. Курочкин исследовали мономинеральные фракции гематита, мартита, гетита, сидерита и кварца на вибрационном магнитометре. Из полученных данных следовало, что перечисленные минералы обладают слабовыраженным магнетизмом. При этом необходимо учитывать, что природные минералы и подготовленные мономинеральные фракции не являются абсолютно чистыми. В каждой мономинеральной фракции в большей или меньшей степени присутствует тонковкрапленный магнетит, который не раскрывается даже в классе $-5+0$ мкм, и он вносит свою долю в магнитные свойства минералов. Например, в природном кварце содержится от 0,03 до 0,7% магнетита. Именно этим, по мнению исследователей, объясняется то, что намагниченность насыщения тонких классов (менее 10 мкм) кварца больше, чем тот же параметр у мартита и гетита. Остаточная намагниченность и коэрцитивная сила тонких классов кварца соизмерима с теми же параметрами гетита и сидерита. Причем остаточная намагниченность частиц кварца размером 5 мкм в два раза больше, чем остаточная намагниченность частиц гетита такого же размера. Очевидно, что это является одной из причин засорения магнетитовых продуктов тонкоизмельчённым кварцем при магнитном обогащении руды.

Эта работа свидетельствует о неоднозначной зависимости свойств исследованных минералов от крупности.

Наиболее ярко эта зависимость проявилась у гематита (рис. 1). Гематит различной крупности, начинает насыщаться при напряженности более 800 кА/м. Магнитные свойства гематита имеют свой пик в классе $-10+5$ мкм. При дальнейшем уменьшении крупности частиц все магнитные параметры гематита, кроме коэрцитивной силы, уменьшаются. Это говорит о том, что размеры однодоменной структуры гематита находятся в пределах 10 мкм. Во всех классах крупности, кроме $-5+0$ мкм, нарастание магнитных свойств связано с увеличением массовой доли магнетита в гематите. И только в классе $-5+0$ мкм происходит резкое снижение магнитных

свойств, что авторы связывают с разрушением однодоменной структуры частиц минерала при измельчении.

Исследования зависимости коэрцитивной силы от крупности показали, что только у мартита она ярко выражена; с уменьшением размера частиц этот параметр достигает наибольшего для всех минералов значения (рис. 2). Такая зависимость характерна для ферромагнетиков, например, магнетита. У гетита такой зависимости нет, а у сидерита с уменьшением крупности, начиная с 40 мкм, коэрцитивная сила увеличивается.

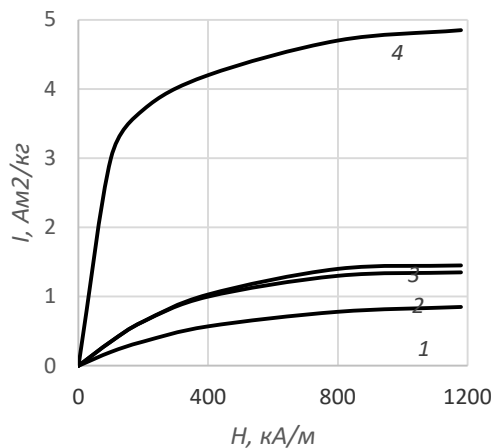


Рис. 1. Зависимость удельной намагниченности гематита от напряженности для различной крупности гематита: 1 – 160-45 мкм; 2 – 45-20 мкм; 3 – 20-10 мкм; 4 – 10-0 мкм

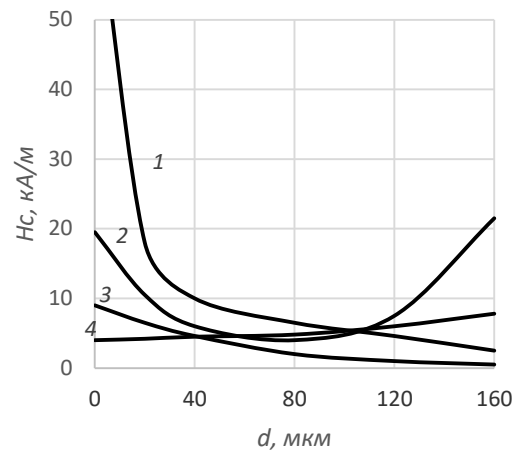


Рис. 2. Зависимость коэрцитивной силы минералов окисленных железных руд от крупности: 1 – мартит; 2 – гематит; 3 – сидерит; 4 – гетит

Г.В. Губин, И.П. Богданова и Н.Н. Лукьянчиков по результатам обогатимости и технологическим расчетам в зависимости от целесообразной, по их соображениям, технологии обогащения предлагали разделять железные руды на четыре группы:

I – гетито-мартитовые, гетито-гематито-мартитовые, гематито-мартитовые, средне и широкослоистые, мелко- и средневкрапленные, пористые и средней плотности. Эти руды успешно обогащаются по магнитной схеме, а также обжиг магнитным методом. Этот тип руд соответствует категории наиболее легко обогатимых;

II – гематито-мартитовые, гетито-мартитовые, магнетито-гематито-мартитовые с мелкой вкрапленностью минералов. Руды можно обогащать обжигмагнитным методом и по комбинированным магнито-флотационным схемам, включающих 2-3 стадии обогащения. Средне- и тонкослоистые, мелко- и тонковкрапленные гематито-мартитовые руды Скелеватского месторождения с полидисперсным составом рудной и нерудной вкрапленности успешно обогащаются по двухстадиальным магнито-флотационным схемам с частичным выделением концентратов и хвостов в I стадии магнитной сепарации при флотационном дообогащении промпродуктов. Крупность измельчения этих руд в I стадии 70-80 % класса $-0,07$ мм, конечная крупность измельчения 95-97 % класса минус $0,07$ мм. В результате выделяется концентрат с массовой долей железа 61,5-64,5 %. Магнитное обогащение магнетито-лимонито-мартитовых, магнетито-мартитовых руд с дисперсной вкрапленностью магнетита в нерудных слоях становится не эффективным. Можно обогащать такие руды магнитным методом: в I стадии при крупности 60-70 % класса минус $0,07$ мм с флотационной или гравитационной доводкой промпродукта. Раскрытие этих руд происходит в крупности 100 % класса минус $0,05$ мм. При обогащении выделяется концентрат с массовой долей железа 60-62 %. Руды II группы можно отнести к категории среднеобогатимых;

III – гетито-мартитовые, мартито-гематитовые с тонкой, весьма тонкой, дисперсной вкрапленностью, плотные и весьма плотные. Обогащение этих руд флотацией даёт удовлетворительные результаты. Они относятся к категории труднообогатимых;

IV – силикато-гематитовые и гетито-силикатные кварциты, в основном гетитовые руды с высоким содержанием силикатов. Они относятся к категории труднообогатимых. Такие руды из-за низкой эффективности обогащения невыгодны для эксплуатации.

Отражая соответствие технологии обогащения природным особенностям руд, предложенная типизация облегчает ориентировочную оценку обогатимости, позволяет принципиально определить технологию обогащения руд различных типов.

В дальнейшем по мере совершенствования технологии обогащения окисленных железных руд приведенные показатели будут уточняться.

В работе [2] приведены результаты исследований кинетических магнитных свойств – время релаксации после снятия поля и изменение удельной магнитной восприимчивости гематита и железных руд при изменении напряжённости поля.

По времени релаксации τ можно судить о скорости изменения намагниченности. Чем больше время релаксации, тем медленнее изменяется намагниченность и магнитоустойчивее материал. Наиболее устойчивым, магнитоустойчивым к изменениям намагниченности является гематит; время релаксации составляет более 10 секунд. Мартит по времени релаксации почти одинаков с гематитом, но наибольшая намагниченность его в интервале 1-3 с составляет $\frac{I_t}{I_r} = 5 - 7$ (где I_t – остаточная намагниченность за определённое время после отключения электромагнита, I_r – остаточная намагниченность, τ – время релаксации процесса, характеризующее скорость стремления намагниченности к равновесному состоянию). Менее устойчивыми во времени оказались гидроксиды железа ЮГОКа, время релаксации составило 8 с. Намагниченность их заметно увеличивается в интервале 1-3 с и составила $\frac{I_t}{I_r} = 2 - 5$.

Красковая руда и гетит по времени релаксации близки, $\tau=6$ с. Наибольшая намагниченность гетита $\frac{I_t}{I_r} = 3 - 5$ сохраняется в интервале времени 1-4 с. Наибольшая намагниченность для красковой руды $\frac{I_t}{I_r} = 2 - 4$ сохраняется в том же интервале времени. Магнетит наименее устойчив к изменению намагничивающего поля. Он является магнитомягким минералом, его, время релаксации составляет 4 с. Это явление наиболее заметно в полях, превышающих поле насыщения магнетита (100 кА/м). Для смеси мартита с магнетитом, а также окисленной руды шахты им. Валявко время изменения намагниченности соответствует чистому магнетиту. Максимальная намагниченность этих минералов $\frac{I_t}{I_r} = 3 - 9$ сохраняется в интервале 1-4 с.

В этой работе определены зависимости $\frac{I_t}{I_r}$ от крупности минерала для минералов окисленных руд в первую и седьмую секунды после снятия магнитного поля. Максимум на кривых для гематита соответствует 0,09-0,16 мм, для мартита – при 0,008-0,024 мм, для гетита при $H=80$ кА/м наблюдается перегиб при 0,030-0,056, а при $H=400$ кА/м – для 0,010-0,025 мм. Небольшой максимум и резкий подъём после 0,045 мм. Таким образом, для α -гематита существует два максимума намагниченности, определяемые его генетическими особенностями. Для собственно гематита оптимальной по извлечению следует считать крупность 0,10-0,16 мм, для псевдоморфного гематита (мартита) – 0,008-0,024 мм. Сравнивая опытные данные по предварительному намагничиванию минералов при напряженности поля 400 и 80 кА/м, можно видеть, что при 400 кА/м намагниченность в первые секунды несколько выше, чем в поле 80 кА/м.

Следовательно, данные материалы целесообразно вводить в режим магнитного насыщения перед их разделением. Предварительное намагничивание способствует появлению ориентационных сил и магнитной флокуляции тонкозернистых слабомагнитных материалов. При этом у гематита вследствие большого времени релаксации флокуляция будет продолжаться и после снятия намагничивающего поля.

При всех условиях эффективность предварительного намагничивания для гематита выше, чем для мартита. При напряженности магнитного поля 40-80 кА/м выход магнитной фракции гематита увеличивается на 21 %, мартита и гетита – на 8-12 %. При времени действия магнитного поля наблюдаются два максимума. Первый соответствует времени 2-7 с и объясняется изменением спонтанной намагниченности минералов под воздействием направленного магнитного поля. Второй отмечается в интервале 30-60 с и связан с магнитной флокуляцией тонкодисперсных зёрен минералов. Влияние предварительного намагничивания наблюдается на разбавленных пульпах при отношении Т:Ж не более 1:3. Таким образом, предварительная магнитная обработка минералов окисленных кварцитов с использованием кинетических их свойств способствует улучшению разделения минералов в полях высокой напряжённости.

При выполнении работы по обогащению окисленных кварцитов основной задачей явилось изучение возможности селективной флокуляции минеральных частиц с целью улучшения качества концентратов.

Изложение материала и результаты. Авторами этой статьи изучен процесс флокулообразования окисленных кварцитов под микроскопом в однородном магнитном поле напряжённостью до 800 кА/м на частицах узких классов крупности.

В продуктах с повышенной массовой долей магнетита (в основном сидерит и гематит крупностью 0,01 мм). В полях напряжённостью до 800 кА/м образуются флокулы из частичек магнетита. Притяжение к ним слабомагнитных частиц незначительное. При увеличении индукции поля эти флокулы притягиваются между собой, на них постепенно флокулируют частицы основных слабомагнитных минералов, особенно при напряжённости выше 400 кА/м, а при напряжённости 800 кА/м – это уже объёмные агрегаты-флокулы из магнетитовых частиц, окружённые частицами основных минералов, выстроенные параллельными цепочками в направлении поля. Чем меньше массовая доля магнетита, тем меньше этих флокул и агрегатов и тем меньше их длина.

Флокулообразование частиц слабомагнитных минералов изучено на отдельных частицах и их совокупности при расстоянии между центрами 1,3-2,2 диаметра частиц, что соответствует 60-20 % твёрдого в пульпе. При напряжённости 40-80 кА/м происходит разворот частиц лёгкой осью намагничивания вдоль направления поля. Причем частицы гематита и гетита устанавливаются преимущественно по длинной оси перпендикулярно направлению поля, что говорит о существующем направлении легкой оси намагничивания.

Для частиц гематита крупностью 100 мкм в поле напряжённостью 400 кА/м притяжение начинается при расстоянии около $1,5 d$. В поле напряжённостью 640-800 кА/м притяжение во флокулы начинается с расстояния около $2 d$. Частицы гетита крупностью 100 мкм притягиваются примерно с тех же расстояний, несмотря на более низкую намагниченность, что обусловлено лучшим взвешиванием в тяжелой жидкости и меньшими силами трения о дно кюветы. Частицы мартита притягиваются с расстояний, примерно на 30 % больших. С уменьшением размеров частиц гематита, мартита и гетита притяжение во флокулы происходит при меньших расстояниях между ними. Так, для частиц крупностью 50 мкм относительное расстояние притяжения r/d (где d – диаметр частиц, r – расстояние притяжения между частицами) примерно на 40 % меньше, чем для крупности 100 мкм. Для мартита и гетита крупностью 25 мкм относительное расстояние примерно в два раза меньше, чем для крупности 200 мкм.

Для частиц гематита крупностью 25 мкм относительное расстояние притяжения только на 10 % меньше, чем для крупности 100 мкм, что обусловлено ростом намагниченности мелких частиц.

Следует отметить, что некоторые частицы не притягиваются во флокулы в поле 800 кА/м даже с расстояния $1/3 d$. Это обусловлено, по-видимому, поверхностным магнетизмом.

Совместное намагничивание крупных частиц с мелкими несколько облегчает флокулообразование для мелких частиц за счет образования их флокул с крупными, особенно в поле 800 кА/м.

Некоторые результаты исследований приведены на рис. 1 и 2.

Так как вязкость жидкости Клеричи в 500 раз больше, чем вязкость воды, численные значения относительных расстояний притяжения будут немного отличаться от полученных экспериментальных данных. Важность эксперимента состоит, прежде всего, в подтверждении процесса флокулообразования частиц слабомагнитных минералов. Эти данные свидетельствуют о реальности флокулообразования и были использованы «Механобрчерметом» для создания флокулятора и нахождения оптимальных условий магнитного обогащения с использованием предварительной флокуляции.

После снятия магнитного поля при вибрации флокулы разрушаются, что свидетельствует о необходимости непосредственного соединения флокулятора и магнитного сепаратора.

Таким образом, исследованы магнитные свойства слабомагнитных минералов, и показано, что магнитные характеристики зависят как от магнитных свойств основных минералов, так и от присутствия в них магнетита.

Получена неоднозначная зависимость магнитных характеристик от крупности частиц. Для гематита максимум удельной магнитной намагниченности наблюдается при крупности минус

10÷5 мкм, что свидетельствует об однодоменности частиц в этой области. Определено магнитное поле, при котором происходит флокулообразование: 90 и 450 кА при плотности твердого в питании соответственно 9 и 25 %. Рассчитано расстояние, начиная с которого происходит притяжение частиц во флокулы: при индукции 1 Тл оно составляет 3-1,5 диаметра частиц, уменьшаясь в ряду сидерит, гематит, мартит, гётит, кварц.

Экспериментальные исследования подтвердили наличие процесса флокулообразования в полях с индукцией 0,5-1 Тл.

Лабораторные испытания окисленных железных руд ЦГОКа и НКГОКа на сепараторах роторного и карусельного типов показали, что после предварительного намагничивания возможно повышение качества концентратов при незначительном снижении выхода. Улучшение показателей обогащения происходило за счет более полного извлечения тонких классов (-10 мкм) железосодержащих минералов в концентрат.

Показано, что магнитную флокуляцию предпочтительно использовать перед первой стадией обогащения в схемах обогащения с сепараторами роторного типа при индукции намагничивания 1,4 Тл.

Таким образом, из изложенных материалов статьи следует, что имеются дополнительные возможности повышения эффективности высокоградиентной магнитной сепарации железистых окисленных кварцитов.

Выводы и направление дальнейших исследований.

1. Следует учитывать различие магнитных свойств минеральных частиц окисленных минералов при разработке сепараторов и технологических схем обогащения.

2. Имеется дополнительная возможность повышения качества концентратов полиградиентной магнитной сепарации за счёт использования явления флокулообразования частиц минералов окисленных руд.

Список литературы

1. **Николенко Е.М.** О стратегии развития геолого-разведочных работ в Криворожском железорудном бассейне // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2013. – №7. – С. 115-117.
2. **Грицай Ю.Л., Герасимова З.Ф., Богданова И.П.** Исследование изменения магнитных свойств минералов окисленных железных руд после намагничивания. Обогащение руд черных металлов. М. «Недра». – 1976. – С. 73-81.
3. **Г.І. Рудько, О.В. Плотников, С.В. Радованов.** Геологія окислених кварцитів залізорудних родовищ Криворізького басейну. Київ – 2013. – 392 с.
4. **О.В. Плотников, М.Ю. Токар, Л.І. Конопацька/** Звіт по НДР. – АГН України. – 2011. – 175 с.
5. **В.Д.Свтехов, С.В. Свтехов, В.В. Філенко/** Отчеты НИР. - КТУ – 209. – 175 с.
6. Испытания в полупромышленных условиях магнитно-флотационной технологии обогащения окисленных руд КГОКОРа (заключительный). Отчёт о НИР/ «Механобчермет»; Руков. работы **Т.Б. Гадзенко**. – Кривой Рог, 1993. – 53 с.
7. Испытания в полупромышленных условиях технологии измельчения и магнитного обогащения окисленных железных руд ИнГОКа: Отчёт о НИР / «Механобчермет», Руков. работы **Л.Н. Лесянский**. – Кривой Рог, 1991. – 92 с.
8. **Плотников О.В.** Геологічні чинники економічної цінності залізорудних родовищ в докембрійських залізисто-кременистих формаціях Українського щита: Автореф. дис. ...д-ра геол. наук. – Київ, 2002. – 28 с.
9. Применение высокоинтенсивных магнитных сепараторов для доизвлечения слабомагнитных окислов железа из хвостов обогащения// *Экспресс-информация УНИИТЭН ЧМ. Серия Обогащение руд. Вып.11 –М., 1982. – С.1-5.*
10. Селективная флокуляция шламов окисленных железистых кварцитов Михайловского месторождения с применением активной кремнекислоты/**Л.А. Барский, Э.А. Шрадер, С.А. Степанов** и др.// *Комплексное освоение месторождение бассейна КМА. Сб. науч. Тр. Ин-та проблем компл. освоения недр АН СССР. –М., 1990. – С.129-138.*
11. **Бартник Е.А., Висмут Г.Д.** Обогащение мартитизированной железной руды с применением высокоинтенсивных сепараторов Джонс, работающих в мокром режиме.// *Erzmetall*, 1985.–№5.–р.243-249.
12. Наладка и освоение техники и технологии обогащения окисленных железных руд на реконструированной секции №4 ЦГОКа с целью повышения производительности и качества концентрата: Отчёт о НИР/Рук. работы **Нотович Г.И.**, Механобчермет, Кривой Рог, 1993.–63 с.
13. **Ширяев А.А., Величко Ю.В., Ботвинников В.В.** Особенности технологии подготовки и обогащения окисленных железистых кварцитов со стадийным выделением концентрата./ *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2005г., №4, С. 86-88.
15. **Соколова В.П., Зима С.Н., Воробьёв Н.К.** Исследование раскрытия минеральных фаз окисленных железных руд в связи с выбором рациональной технологии обогащения /Сб.тр. КТУ. Разработка рудных месторождений, №83, 2003г. – С.105-109.

16. Соколова В.П., Габура А.В. К вопросу обогащения окисленных железных руд Ингулецкого месторождения /Сб.тр. КТУ. Разработка рудных месторождений, №84, 2003г. – С.153-158.

Рукопись поступила в редакцию 15.04.2020

УДК 681.03

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

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ CLICKHOUSE - КОЛОНОЧНОЇ СУБД ДЛЯ ONLINE ОБРОБКИ АНАЛІТИЧНИХ ЗАПИТІВ

Мета. Проведення системного аналізу СУБД ClickHouse. Оцінка доцільності використання її у аналітичних системах.

Методи дослідження. У роботі використані: метод експертних оцінок, статистичні та аналітичні методи, комп'ютерні інформаційні та програмні технології. Залучення методів системного аналізу для вирішення проблем необхідно, перш за все, тому, що в процесі прийняття рішень доводиться здійснювати вибір в умовах невизначеності, яка обумовлена наявністю факторів, що не підлягають адекватній кількісній оцінці.

Наукова новизна. Проаналізовано сучасні потреби аналітичних обробок інформації, відмічено необхідність зберігати, аналізувати, перетворювати трильйони записів і петабайти даних. У роботі досліджено бази даних стовпчикового типу в цілому, інструменти для керування ними та їх переваги і недоліки. Предметом дослідження є система управління базами даних стовпчикового типу ClickHouse.

Практична значимість. При переході від рядкових СУБД до колоночних СУБД вираш у часі обробки запитів майже в 100 тисяч разів.

Результати. Було проведено аналіз будови СУБД ClickHouse, визначено можливості та особливості об'єкту, з'ясовано структурні особливості, які потенційно допомогли б впровадити її у роботу. Розглянуто показники, за якими оцінюють сучасні програмні продукти класу баз даних, виявлено основні можливості СУБД ClickHouse, порівняння її з іншими подібними інструментами, означено переваги і основні недоліки перед конкурентними продуктами галузі. У роботі конкретизовано характеристики колоночних СУБД. Представлено результати тестування колоночних СУБД. Запропоновано приклад для перевірки використання SQL для колоночних БД. Обґрунтовано доцільність переходу від рядкових БД до колоночних. Розглянуто спосіб зберігання інформації в ClickHouse. Виконуючи системний аналіз СУБД ClickHouse було отримано характеристики, на базі яких можна зазначити, що дана СУБД – це перспективний, швидкісний напрям, що розвивається, має великі можливості застосування, як самостійне ПЗ, так і в таких технологіях, як Big Date, Data Mining та інших.

Ключові слова: бази даних, колоночні СУБД, аналітичні запити, системний аналіз, швидкість.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-165-169

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Актуальність теми дослідження полягає у тому, що інформатизація майже усіх галузей призводить до стрімкого росту об'єму даних, які потрібно зберігати, аналізувати, перетворювати у людино-зрозумілий вигляд і надавати для подальших дій. Раніше із цими задачами могли справлятися реляційні «горизонтальні» бази даних - тобто бази, у яких інформація на фізичному рівні розташовувалася по рядках. З об'ємами даних, які наразі визначають основні вимоги до сховища даних, таким базам даних впоратися не під силу, тому постають питання:

використання іншого типу баз даних - «вертикальних», які дозволяють зберігати і швидко отримувати дуже великі об'єми даних;

вибір найбільш зручної системи управління такою базою даних.

Одним із інструментів, що вирішують ці питання, є ClickHouse - стовпчикова СУБД від компанії Яндекс, що була розроблена для задоволення потреб аналітичної системи компанії.

Аналіз досліджень і публікацій.. Найчастіше тема СУБД ClickHouse піднімається на конференціях і в спец. лекціях для розробників ПЗ. Розглядаються принципи роботи систем аналітики, особливості збору і обробки даних та структуру СУБД ClickHouse. Література пропонує всілякі тестові аналізи і порівняння сучасних колоночних СУБД.

Постановка задачі. Об'єктом дослідження є бази даних стовпчикового типу в цілому, інструменти для керування ними та їхні переваги і недоліки.

Предметом дослідження є система управління базами даних стовпчикового типу ClickHouse.

Завданням дослідження є виявлення основних можливостей СУБД ClickHouse; порівняння її з іншими подібними інструментами; визначення переваг і основних недоліків перед конкурентними продуктами галузі.

Метою дослідження є проведення системного аналізу СУБД ClickHouse. Оцінка доцільності використання її у аналітичних системах.

Залучення методів системного аналізу для вирішення проблем необхідно, перш за все, тому, що в процесі прийняття рішень доводиться здійснювати вибір в умовах невизначеності, яка обумовлена наявністю факторів, що не підлягають адекватній кількісній оцінці.

Для системного аналізу властиво формування таких загальних уявлень про систему, як:

виявлення головних функцій (властивостей, цілей, призначення) системи;

виявлення основних частин (модулів) та їх функцій;

виявлення основних процесів, їх ролі, умов здійснення, виявлення змін станів у функціонуванні системи;

врахування змін і невизначеностей в системі;

дослідження функцій і процесів в системі з метою управління ними та інших.

Виклад матеріалу і результати. Популярні реляційні СУБД - Oracle, SQL Server, MySQL, PostgreSQL базуються на архітектурі, що була розроблена у минулому столітті, коли головною задачею баз даних було підтримати перехід від паперового обліку діяльності до комп'ютерного. Величезна (на той час) кількість інформації з паперових документів переносилася в БД облікових систем, які повинні були надійно зберігати всі вхідні відомості і, при необхідності, швидко знаходити їх. Такі вимоги зумовили архітектурні особливості реляційних СУБД, що залишилися до теперішнього часу практично незмінними: зберігання даних по рядках, індексування записів і журнал операцій [5].

Однак відносно нещодавно, з поширенням аналітичних інформаційних систем і сховищ даних, які застосовувались для управлінського аналізу, стало зрозуміло, що характер навантаження в цих двох видах систем радикально відрізняється. Якщо звичайним транзакційним додаткам властиво часті, але дрібні операції додавання/зміни записів, то для аналітичних систем навпаки, важливі вибірки великих обсягів даних при відносно рідкісному їх додаванні/оновленні (запис даних найчастіше також іде великими блоками, тому операція відбувається набагато рідше за вибірку). Варто зазначити, що у таких вибірках є важлива особливість - зазвичай, вони містять невелику кількість полів (дуже рідко – більше 7-8 полів, хоча у аналітичній таблиці кількість полів зазвичай переважає 25-30).

Для таких вимог, які поставили аналітичні системи, виникла потреба у зміні способу зберігання і доступу до даних задля прискорення виконання операцій з великими вибірками. Таким рішенням стало використання «вертикальних» (стовпчикових) баз даних, які «повернули» дані на 90°. Основна ідея стовпчикових СУБД - це зберігання даних не по рядках, як це роблять традиційні СУБД, а по колонках. Це означає, що з точки зору SQL-клієнта дані представлені як за звичайно, у вигляді таблиць, але фізично ці таблиці є сукупністю колонок, кожна з яких по суті являє собою таблицю з одного поля. При цьому фізично на диску значення одного поля зберігаються послідовно один за одним (рис. 1).

На рис.1 та рис. 2 показано відмінність у зберіганні та доступі до даних у стовпчикових та рядкових БД. При зберіганні за стовпцями відбувається читання 2-х стовпців, а при зберіганні по рядках відбувається читання всіх стовпців.

	34		1,7
	678		4,9
	488		3,2

Рис. 1. Зберігання за стовпцями

	34		1,7
	678		4,9
	488		3,2

Рис. 2. Зберігання по рядках

Однією із перших стовпчикових баз даних, що стала доступною для використання є Sybase TQ. Якийсь час ця СУБД була монополістом у своїй галузі, тому встигла завоювати прихильників серед користувачів. Найбільшою перевагою цієї СУБД є швидкість завантаження та індексації даних: згідно офіційного сайту компанії, станом на 2013 рік за цим показником було

поставлено світовий рекорд. Також вона надає функціональність збережених процедур, що є важливим аспектом гнучкості системи в отриманні масивів даних. Серед недоліків – направленість на використання у корпоративних проектах enterprise-рівня, що робить його доволі громіздким для впровадження у малі та середні проекти [4].

Vertica – потужний інструмент, однією із великих переваг якого є відсутність обмежень у виборі апаратної платформи, є набір конфігурацій для необхідного користувачу обладнання. Vertica має безкоштовну версію, що сприяє поширенню серед невеликих проектів, що потребують обробки аналітичних даних. Одним із вагомих недоліків СУБД є відсутність індексів, замість них використовується поняття «проекцій» даних, але це не є оптимальним із точки зору швидкодії системи.

Exasol – поширений представник стовпчикових СУБД. Серед переваг цієї СУБД є зберігання даних у таблицях у стислому вигляді, що значно прискорює аналітичні запити, а також орієнтованість системи на зберігання даних у оперативній пам'яті, що також прискорює обробку даних. Exasol підтримує SQL-синтаксис, що дозволяє користувачу звичайних баз даних легше перейти на використання стовпчикової БД. Але Exasol орієнтований на enterprise-розробку, як і Sybase не має безкоштовної версії та не дуже поширений в Україні.

ClickHouse - це стовпчикова СУБД для OLAP систем (online обробки аналітичних запитів). Вона була розроблена компанією Яндекс для задоволення потреб Яндекс.Метрики - другої за величиною аналітичною системою у світі. Серед усіх перерахованих вище СУБД ClickHouse обрано за об'єкт дослідження через велику кількість переваг, серед яких:

- можливість лінійного масштабування додаванням серверів;
- відмовостійкість;

- паралельна обробка процесів на багатопроцесорних ядрах;

СУБД оптимізована для роботи на жорстких дисках (можна обробляти дані, на які не вистачає оперативної пам'яті);

- векторні обчислення - за рахунок чого досягається висока ефективність і швидкодія;

- open-source проект, безкоштовний, велика спільнота користувачів на території СНД;

- та багато інших особливостей [1].

Стовпчикові бази такі називаються тому, що зберігають дані не по рядках, а по стовпчиках. Кожен окремий стовпчик - це ніби окрема таблиця з однієї колонки, яка зберігає тільки свої значення. Це дозволяє вибирати лише необхідні дані із певних стовпчиків, не перебираючи усі стовпчики у рядках, як це роблять звичайні СУБД.

Всі дані в стовпчиковій базі даних зберігаються в відсортованому вигляді (кожен стовпчик окремо). Для запитів на вибірку даних, що складають переважну більшість запитів від аналітичної системи до СУБД, це критично важливо: такі запити містять декілька умовних операторів, групові операції, сортування за певними критеріями. Ці запити, завдяки описаному принципу зберігання даних виконуються майже миттєво і можуть обробляти величезні об'єми даних (10 мільйонів записів - не проблема).

На більш високому рівні БД складається зі звичних реляційних СУБД таблиць. ClickHouse надає величезну кількість вбудованих функцій для отримання аналітичних даних - квантілі візних рівнів (у тому числі медіана вибірки), дисперсію вибірки, коефіцієнт кореляції тощо.

Для роботи із СУБД надається широкий спектр можливостей, а саме:

- клієнт командної строки;

- HTTP-інтерфейс;

- JDBC-драйвер;

бібліотеки сторонніх розробників для таких мов програмування, як PHP, Python, NodeJs, Ruby, Java, C++ та багато інших;

- веб-інтерфейс Tabix та UI/IDE для OSX, Linux и Windows - HouseOps.

СУБД ClickHouse було впроваджено для збирання статистичних даних щодо конверсії та повноти читання матеріалів на сайтах періодичних видань республіканського інформаційного центру. Щоденний обсяг відвідування порталу, на якому базуються сайти перевищує 50 тисяч унікальних користувачів, отже для зберігання і обробки усіх дій цих користувачів протягом тривалого періоду часу можливостей і швидкості звичайної СУБД не вистачило б. СУБД ClickHouse було налаштовано на окремому сервері, та налагоджено процес передачі даних до

нього, використовуючи модифікований PHP-компонент, СУБД MySQL для тимчасового зберігання та веб-інтерфейс [2].

Наступним етапом було побудова користувацького інтерфейсу додатку згідно із вимогами щодо аналітичної інформації.

ClickHouse використовує власний діалект SQL близький до стандартного, але містить різні розширення: масиви та вкладені структури даних, функції вищого порядку, імовірнісні структури.

Система оптимізована для зберігання даних на жорстких дисках (використовуються переваги лінійного читання, стиснення даних). У багатьох тестах ClickHouse показує дуже високу продуктивність, вигравши за цим показником у таких конкурентів як Greenplum, Vertica, Amazon Redshift, Druid, InfiniDB / MariaDB ColumnStore, Apache Spark, Presto, Elasticsearch.

Спочатку в Яндекс.Метрика для побудови звітів використовувалися попередньо агреговані дані. Цей підхід дозволяв зменшити розмір збережених даних, але мав ряд обмежень і недоліків:

- необхідність заздалегідь зафіксувати список доступних для користувача звітів (відсутність можливості побудувати довільний звіт);

- преагрегації по великій кількості ключів або по ключам високою кардинальністю (таким як URL) може призводити до зворотного ефекту (збільшення обсягу даних);

- підтримку логічної цілісності при зберіганні великої кількості різних агрегацій важко.

Альтернативний підхід полягає в зберіганні «сирих» не агрегованих даних, виробляючи всі необхідні обчислення в момент запиту користувача. Для цього була необхідна СУБД, яка змогла б обробляти не агреговані дані Яндекс.Метрики (петабайти даних) з дуже високою ефективністю і в реальному часі. До кінця 2014 року була запущена Метрика 2.0, що працює на базі ClickHouse, яка дозволила користувачам будувати довільні звіти. У червні 2016- го року вихідний код системи був викладений в open-source під ліцензією Apache 2.0 [3].

Основні характеристики ClickHouse:

- колоночна СУБД, поруч з даними не зберігаються інші величини, наприклад, в ClickHouse підтримуються значення постійної довжини, щоб не зберігати поруч розмір типу;

- лінійна масштабованість. Здатність працювати з великими даними (трильйони записів і петабайт даних).

ClickHouse розроблялась для OLAP сценарію роботи:

- в системі кілька слабко пов'язаних таблиць з великою кількістю параметрів / стовпців (порядку сотень);

- запити можуть використовувати велику кількість рядків, але тільки невелика підмножина стовпців;

- в основному, запити на читання є досить рідкісні (зазвичай не більше 100 rps на сервер);

- потрібна висока пропускна здатність при обробці одного запиту (до мільярдів рядків в секунду на один сервер);

- результат виконання запиту істотно менше вихідних даних - тобто, дані фільтруються або агрегуються;

- порівняно простий сценарій поновлення даних, зазвичай тільки додавання даних пачками; немає складних транзакцій [9].

ClickHouse можна використовувати як внутрішнє сховище даних для аналітиків.

Вже відмічалось, що ClickHouse це колончаста система, отже, стиснення даних виконується добре, тому що дані з однієї колонки зберігаються, в одному файлі на жорсткому диску і, якщо там приблизно однакова інформація, то стискається дуже ефективно - а якщо зберігати дані по рядках, то інформація різна в кожному полі (з них складається рядок) і стискається погано.

Швидкісні характеристики ClickHouse неймовірні, в сотні тисяч разів вище, в порівнянні з Hadoop, MySQL, PostgreSQL[10].

У ClickHouse використовується векторна обробка даних, отже дані не обробляються по рядках, обробляються тільки колонками. Це дозволяє дуже прискорити обробку [6-8].

Для перевірки можливостей SQL в ClickHouse створимо таблицю expert зі стовпцями fio, gr та stag типу String, Int, Int відповідно, для цього вводимо наступні команди:

```
CREATE TABLE expert(fio String, gr Int, stag Int) ENGINE=Memory
```

Для введення записів використовуємо команду INSERT.

INSERT INTO expert VALUES ('Ivanov T.K.', 1984, 8), ('Petrov C.D.', 1977, 17), ('Sidorov A.I.', 1987, 5)

Для перегляду використовуємо команду SELECT:

SELECT * FROM expert

Результат представлено в табл.1.

Визначимо експерта, який народився після 1985 року.

SELECT fio FROM expert WHERE gr >1985

Видаємо таблицю командою DROP TABLE.

DROP TABLE expert

Видно, що при елементарних операціях - це звичайний SQL.

Таблиця 1

Таблиця expert

fio	gr	stag
Ivanov T.K.	1984	8
Petrov C.D.	1977	17
Sidorov A.I.	1987	5

Висновки і напрямки подальших досліджень. В ході дослідження було обстежено ринок продуктів в предметній області БД, виявлено продукти, що найбільш часто використовують, проаналізовано їх переваги та недоліки.

Після виокремлення предмету дослідження було проведено аналіз будови СУБД ClickHouse, було визначено можливості та особливості об'єкту, визначено структурні особливості, які потенційно допомогли б впровадити її у роботу.

Виконуючи системний аналіз СУБД ClickHouse було отримано вище вказані характеристики, на базі яких можна зазначити, що дана СУБД – це перспективний, швидкісний напрям, що розвивається, має великі можливості застосування, як самостійне ПЗ, так і в таких технологіях, як Big Date, Data Mining та інших.

Список літератури

1. ClickHouse. <https://ru.wikipedia.org/wiki/ClickHouse>.
2. ClickHouse. Руководство. http://clickhouse.readthedocs.io/en/latest/reference_ru.html.
3. Александр Календарев ClickHouse в системах сбора статистики. // Системный администратор, 2017 г. - №1-2 С. 56-59.
4. Башкеев А.А., Миловидов А.Н. Коротко о СУБД ClickHouse. Тезисы докладов конференции «Интеллектуальные системы хранения и обработки информации». www.osp.ru/iz/tbd_dbms Москва, 29-30 ноября 2016 г.
5. Томас Кайт, Кун Дарл Oracle для профессионалов. - М. Вильямс, 2016. - 960с.
6. Урсатьев А.А. Большие Данные. Аналитические базы данных и хранилища: Vertica, Kdb. //Управляющие системы и машины. 2018, - № 1. - С. 58-71.
7. Vertica. <http://www.vertica.com/>
8. Майкл Стоунбрейкер. Один размер пригоден для всех»: идея, время которой пришло и ушло. http://citforum.ru/database/articles/one_size_fits_all/
9. Колоночные СУБД — принцип действия, преимущества и область применения. <https://habr.com/ru/post/95181/>
10. Алексей Князев. Колоночные индексы, особенности использования. http://www.t-ql.ru/post/columnstore_index_faq.aspx

Рукопис подано до редакції 09.04.2020

УДК 621.867.157 (088.8)

Ю.Г. ГОРБАЧОВ, канд. техн. наук, проф., А.О. ХРУЦЬКИЙ, канд. техн. наук,

А.С. ГРОМАДСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., О.С. ЛІФЕНЦОВ, ст. викладач

Криворізький національний університет

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН ТА ПРОЦЕСУ ВІБРОТРАНСПОРТУВАННЯ

Мета. Необхідність подальшого розвитку гірничо-металургійного комплексу потребує оснащення гірничих підприємств новим технологічним обладнанням. Метою роботи є забезпечення можливості експериментального дослідження особливостей технологічного процесу вібраційного транспортування сипких вантажів та вібраційних машин для його реалізації. Важливість проблеми обумовлюється необхідністю подальшого розширення застосування вібраційних технологій і техніки у гірничому виробництві для підвищення його ефективності. Для вибору та обґрунтування раціо-

нальних режимних параметрів та робочих і конструктивних показників вібраційного обладнання потрібне відповідне експериментальне устаткування. З огляду на це, тема дослідження представляється цілком актуальною.

Методи дослідження. В результаті розгляду науково-технічної інформації та за допомогою аналітичного методу визначено важливість експериментальних досліджень вібраційних технологій та техніки. На підставі аналізу галузей використання вібротехніки в гірничій промисловості намічено шляхи і задачі таких досліджень. Сформульовано вимоги та особливості підходів до вивчення різних аспектів вібраційних технологій і техніки. Зроблено висновки про необхідність їх поєднання у конструкції розроблюваного обладнання, запропоновано загальні вимоги до нього.

Наукова новизна. Полягає у розробці ідеї застосування універсальної конструкції експериментального стенду, яка може налаштовуватися для досліджень та випробувань різних напрямків, а також працювати з повнорозмірними зразками вібраційної техніки в умовах, максимально наближених до польових.

Практична значимість. Практична реалізація ідеї дозволить з мінімальними витратами часу і праці налаштувати стенд як для досліджень процесу вібраційного транспортування гірничої маси, так і для випробувань натурних зразків вібротранспортних машин.

Результати. Отримані під час використання пропонованого обладнання результати дадуть можливість перевірити достовірність теоретичних досліджень та обґрунтувати раціональні параметри режимів процесу вібротранспортування і механічного обладнання для його реалізації.

Ключові слова: вібраційні технології і техніка в гірничій промисловості, вібраційне транспортування гірничої маси і продуктів її переробки, вібротранспортні машини.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-169-173

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сучасний етап розвитку техніки характеризується усе більшим розповсюдженням вібраційної техніки, яка, на відміну від традиційної, базується на використанні не обертальних, а високочастотних періодичних зворотно-поступальних рухів (коливань) [1-4]. Такий підхід дає низку переваг у порівнянні з машинами традиційних типів і дозволяє створювати вельми ефективні пристрої різноманітного технологічного призначення. Вібрації забезпечують зниження тертя, полегшують процеси пластичного деформування та руйнування дисперсних середовищ, здійснюють циркуляційні рухи оброблюваних мас, реалізують резонансні режими тощо [5].

Застосування вібраційної техніки дає можливість докорінним чином удосконалити існуючі та розробити принципово нові технологічні процеси, зробити їх більш простими, ефективними та енергозощадливими. Усе це у повній мірі відноситься й до гірничій промисловості. Вібраційні впливи здатні змінювати реологічні властивості дисперсних середовищ – зменшувати або збільшувати зв'язки між частинками матеріалів, ущільнювати чи розпушувати їх, підвищувати плинність, зміцнювати і руйнувати, створювати спрямовані та циркуляційні переміщення. Гірничі вібраційні машини використовуються для транспортування і підйому, навантаження і бункерування гірничої маси та продуктів її переробки; дроблення, подрібнення та збагачення мінеральної сировини; змішування і класифікації, нагріву і охолодження сипких матеріалів; зміцнення гірничо-ріжучого інструменту; очищення транспортних ємностей від налиплих та намерзлих вантажів, а також механізації багатьох інших допоміжних технологічних операцій [6-8].

Вібраційні машини здебільшого виконують дві основні функції: технологічну обробку різних продуктів за рахунок деформаційних впливів на них (деколи аж до руйнування структури) та переміщення вантажів, під час якого вони також деформуються. У багатьох випадках ці функції можуть суміщатися. Таким чином, у вібраційних машинах практично будь-якого призначення паралельно відбуваються процеси деформування і переміщення в умовах періодичних силових впливів [9-12].

З оглядку на це, особливий інтерес викликає проблема дослідження процесу вібраційного випуску і транспортування сипких матеріалів та створення високоефективних конструкцій вібраційних машин для його реалізації. Використання такої техніки дозволить реалізувати найефективніші циклічно-потоківі та потоківі технології гірничого виробництва [13, 14]. Отже, актуальність роботи не викликає сумнівів.

Аналіз досліджень і публікацій. Вібраційний (примусовий) випуск дисперсних матеріалів з ємності відрізняється від гравітаційного (самопливного) суттєвим зростанням швидкості витікання і параметрів потоку при незмінних параметрах випускної ємності за рахунок різкого збільшення пропускної здатності випускного отвору [1,6,10]. Транспортування сипких вантажів вібраційним способом забезпечується за рахунок використання сил інерції вантажу і сил його тертя відносно поверхні вантажонесучого органу. При цьому для переміщення вантажу необ-

хідно забезпечити певну асиметрію вказаних сил, які діють на нього під час зворотно-поступальних коливань робочого органу вібраційної транспортної машини. Чим більше ця асиметрія, тим менше будуть періодичні переміщення вантажу у бік, протилежний напрямку транспортування (ще краще, якщо вони повністю будуть відсутні), тобто тим ефективніше буде процес вібраційного транспортування [6-8,12].

Вібраційне переміщення використовується не лише у транспортних цілях, але й забезпечує реалізацію численних технологічних процесів. Ефективність їх протікання залежить від режиму коливань робочого органу відповідної транспортної чи транспортно-технологічної віброустановки. На практиці можуть застосовувати різні види коливань, а траєкторія руху при цьому формується поступальними та крутильними коливаннями робочого органу машини [6-8].

Під час дослідження процесу вібраційного транспортування сипких вантажів потрібно з'ясувати його фізичну суть та визначити залежності основних експлуатаційних параметрів (швидкості вібротранспортування, ступеня її використання для реалізації тієї чи іншої технологічної операції обробки сипкого середовища, енергоємності процесу) від характеристик режиму коливань (частоти, амплітуди, форми годографу, кутів вібрації та нахилу вантажонесучого органу тощо).

Створення нових конструкцій вібраційних машин для транспортування і різноманітної обробки сипких матеріалів потребує експериментальних досліджень для вибору та обґрунтування робочих і конструктивних параметрів установок, перевірки їх у різних умовах експлуатації.

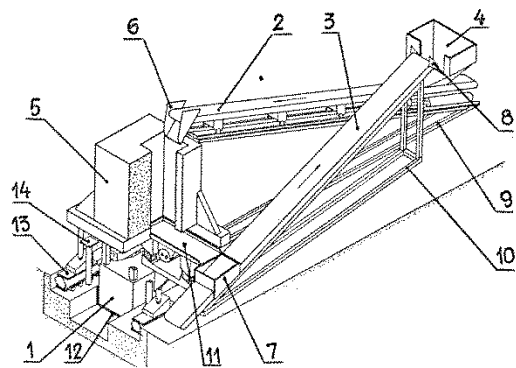
Оскільки задачі досліджень при цьому можуть суттєво відрізнятися

Таким чином, існує необхідність у спеціальному лабораторному стенді для вирішення задач експериментальних досліджень вібраційних машин та процесу вібраційного транспортування сипких матеріалів.

Постановка задачі. Метою роботи є вибір та обґрунтування параметрів експериментального лабораторного стенду, на якому можна проводити дослідження особливостей процесу вібраційного транспортування сипких матеріалів, а також вибір і перевірку режимних і конструктивних параметрів вібротранспортних машин.

Викладення матеріалу та результати досліджень. Пропонована установка призначена для вирішення вказаних вище задач в лабораторних умовах, але таких, що максимально наближені до виробничих. Це дозволить значно підвищити достовірність результатів досліджень. Загальна принципова схема установки показана на рис. 1.

Рис. 1 – Загальна принципова схема експериментального стенду: 1 – станина; 2 – пересувний стрічково-ланцюговий конвеєр; 3 – стаціонарний стрічковий конвеєр; 4 – перевантажувальний пристрій; 5 – бункер; 6, 8 – випускні лійки; 7 – прийомна лійка; 9, 10 – естакади; 11 – вібромашина; 12 – віброізоляція; 13 – рухома каретка; 14 – колона



Конструкція стенду виконана у вигляді замкнутого транспортного контуру з проміжною акумуляційною випускною ємністю (бункером), яка імітує шахтну випускную виробку.

Досліджувана вібромашина 11 монтується на масивній станині 1, віброізольованій від фундаменту установки за допомогою пружних елементів 12. Станина представляє собою просторову металоконструкцію, заповнену бетоном. Її маса – біля 8 тонн. Станина пристосована для роботи з натурними зразками вібромашин, які можуть мати приводи різних типів з різним динамічним впливом на опорні конструкції і на бункер. Наявність віброізоляції дозволяє знизити ці навантаження.

Бункер служить для акумуляції сипкого матеріалу, який відіграє роль корисного навантаження. Це також просторова металоконструкція із закріпленими на ній масивними бетонними блоками. Загальна маса заповненого матеріалом бункеру досягає 40 тонн. Поперечний перетин стовпа матеріалу у ньому – 1 м² (1х1 м), висота – 3,2 м. Матеріал з бункеру витікає під дією вібраційної машини і завантажується на стрічку конвеєра 3. Далі він потрапляє у перевантажувальний пристрій 4, потім на конвеєр 2, з якого знову завантажується у бункер.

Відмінною рисою стенду є можливість зміни налаштування у залежності від характеру задач досліджень. Існує два варіанти налаштування: для дослідження процесів віброреології та вібраційного випуску сипких матеріалів з ємностей, а також для дослідження власне вібромашин та їх віброприводів. У першому випадку передбачається відокремлення бункера від коливних частин стенду. Він спирається на колони 14 фундаменту, що забезпечує необхідні рівні точності та достовірності експерименту. У другому випадку бункер замикається на віброізолювану станину.

Зміна налаштування забезпечується спеціальним підйомним пристроєм з рухомими каретками 13. Для пояснення принципу його роботи на рис. 2 приведена більш докладна схема стенду [15].

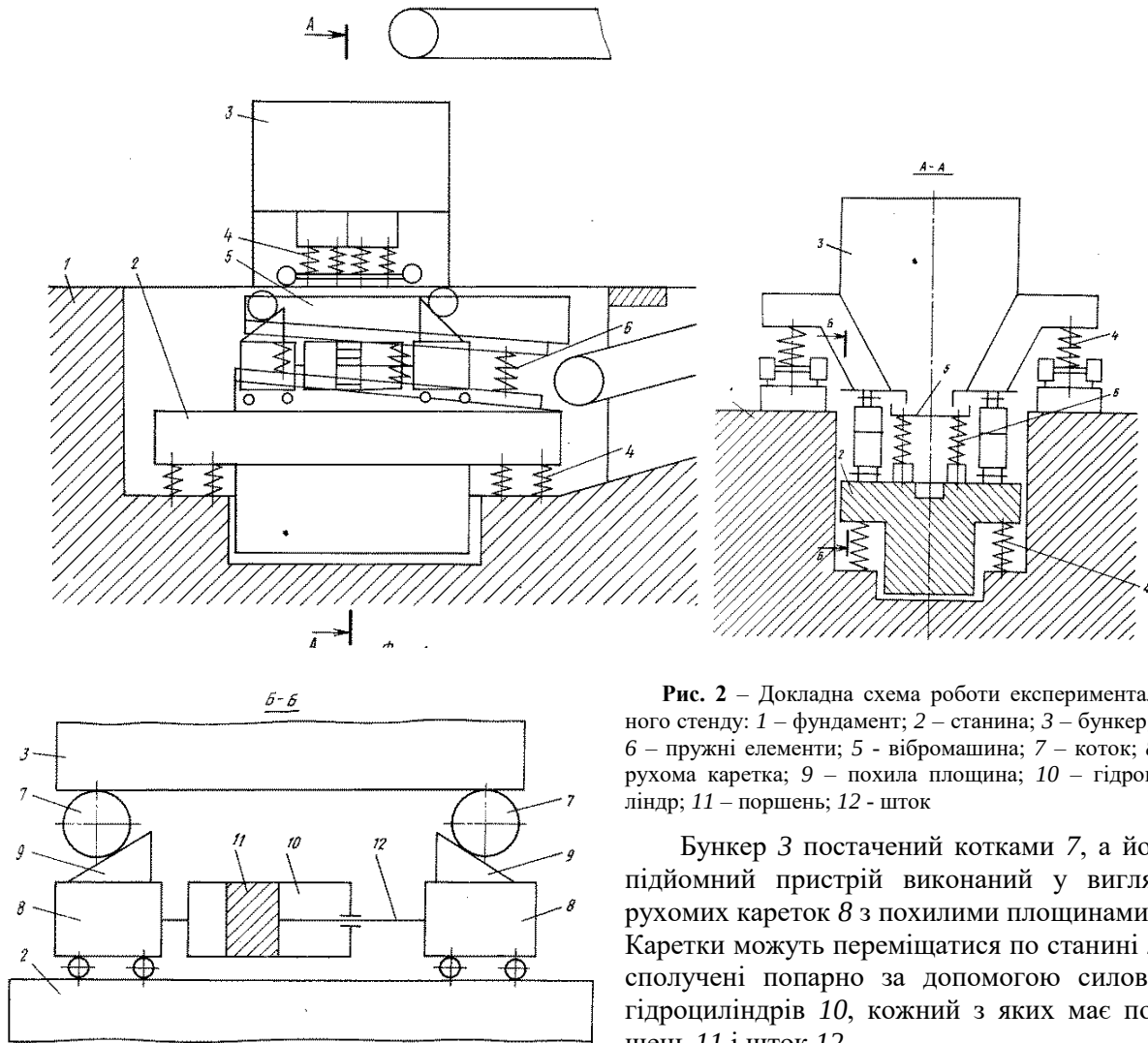


Рис. 2 – Докладна схема роботи експериментального стенду: 1 – фундамент; 2 – станина; 3 – бункер; 4, 6 – пружні елементи; 5 – вібромашина; 7 – коток; 8 – рухома каретка; 9 – похила площина; 10 – гідроциліндр; 11 – поршень; 12 – шток

Бункер 3 постачений котками 7, а його підйомний пристрій виконаний у вигляді рухомих кареток 8 з похилими площинами 9. Каретки можуть переміщатися по станині 2 і сполучені попарно за допомогою силових гідроциліндрів 10, кожний з яких має поршень 11 і шток 12.

Для змінення режиму роботи вібромашини бункер піднімають шляхом подачі робочого тіла у ліві порожнини кожного з двох силових гідроциліндрів. При цьому поршень рухається вправо, а циліндр – вліво. Каретки розходяться і бункер піднімається. У результаті цього маси станини і бункера поєднуються в одну загальну масу, що змінює характеристики власних коливань станини і бункера, а, значить, і режим роботи вібраційної машини. Величину цієї загальної маси можна регулювати шляхом змінення маси матеріалу в бункері.

Опускання бункера роблять зворотним чином: робоче тіло подають у праві порожнини циліндрів. Каретки при цьому наближуються одна до іншої і бункер опускається.

Використання описаного стенду для дослідження параметрів вібромашин може здійснюватися наступним чином. Віброустановка, наприклад віброживильник чи віброконвеєр, монтується на станині. На останню замикається й бункер. Вмикаються усі транспортні механізми (віброустановка та обидва конвеєри), які починають транспортувати матеріал по замкненому контуру. В

процесі роботи фіксуються робочі параметри вібромашини: продуктивність (за часом спорожнення бункеру, ємність якого відома); значення горизонтальних і вертикальних складових амплітуди коливань як її вантажонесучого органу, так і опорної рами у різних точках по довжині цих елементів (за допомогою вібровимірювального пристрою); результуючі значення амплітуди; кути напрямку дії змушеного зусилля у точках замірів для побудови траєкторій коливань.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Застосування запропонованої конструкції експериментального стенду, який має можливість налаштування на різні задачі випробувань, дозволить проводити дослідження процесів вібраційного випуску і доставки сипких матеріалів, а також вібраційних транспортних машин з використанням повнорозмірних конструкцій останніх в умовах, що у максимальному ступені імітують виробничі.

Список літератури

1. Громадський А. С. Проектування гірничих машин і комплексів для видобутку та переробки руд: Навч. посіб. для студ. вищих і серед. спец. навч. закладів / А.С. Громадський, Ю.Г. Горбачов, А.О. Хруцький, О.С. Ліфенцов. - Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2017. - 528 с.
2. Потураев В.Н. Вибрационная техника и технологии в энергоемких производствах / В.Н. Потураев // – Дн-ск: НГА Украины, 2002, - 190 с.
3. Іскович-Лотоцький Р.Д. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій / Р.Д. Іскович-Лотоцький, Р.Р. Обертюх, І.В. Севостьянов // – Вінниця: Універсум, 2006, - 291 с.
4. Blechman I.I. Revisiting the models of vibration screening process / I.I. Blechman, L.I. Blechman, L.A. Vaisberg, K.S. Ivanov // Vibroengineering PROCEDIA, 2014, V. 3, PP. 169-174.
5. Гончаревич И.Ф. Вибрация – нестандартный путь: вибрации в природе и технике / И.Ф. Гончаревич. – М.: 1986. – 209 с.
6. Гончаревич И.Ф. Вибротехника в горном производстве / И.Ф. Гончаревич. – М.: Недра, 1992, - 319 с.
7. Вибрации в технике: Справочник / Т. 4. Вибрационные процессы и машины // Под ред. Э.Э. Лавендела. – М.: Машиностроение, 1981. – 509 с.
8. Гончаревич И.Ф. Теория вибрационной техники и технологии / И.Ф. Гончаревич, К.В. Фролов. – М.: Наука, 1981. – 320 с.
9. Гончаревич И.Ф. Некоторые аспекты современного развития вибрационной техники / И.Ф. Гончаревич, Э.Г. Гудушаури // Проблемы машиностроения и надежности машин. – М.: 2008, №5, - с. 116-120.
10. Учитель А.Д. Вибрационный выпуск горной массы / А.Д. Учитель, В.В. Гущин. – М.: Недра, 1981. – 232 с.
11. Потураев В.Н. Вибрационная техника и технологии в энергоемких производствах / В.Н. Потураев. – Дн-ск: НГА Украины, 2002, - 190 с.
12. Спиваковский А.О. Вибрационные конвейеры, питатели и вспомогательные устройства / А.О. Спиваковский, И.Ф. Гончаревич. – М.: Машиностроение, 1972. – с. 328 с.
13. Вибродоставочные комплексы в технологиях разработки рудных месторождений / В.Н. Потураев, В.И. Дырда, И.К. Поддубный, О.К. Авдеев, Н.А. Гордиенко, А.В. Коваль, В.И. Финогеев, Н.И. Лисица, А.Х. Дудченко // АН УССР, Ин-т геотехнической механики. – К.: Наука, 1989. – 168 с.
14. Каварма И.И. Комплексы поточного транспорта для подземной разработки крепких руд / И.И. Каварма, А.В. Бровко. - М.: Недра, 1986. - 86 с.
15. Каварма И.И. Установка для исследования процессов вибротранспортирования / И.И. Каварма, Ю.Г. Горбачев // А.с. № 732718, СССР, МКИ G 01 M 7/00, B 65 G 27/08, заявл. 30.10.78, опубл. 05.05.80, Бюл. № 17.

Рукопис подано до редакції 20.04.2020

УДК 332.146.2

Л. А. БУРКОВА, канд. економ. наук, доц., В. С. АДАМОВСЬКА, канд. економ. наук,
А. Б. ЯРОВА, канд. економ. наук, доц.
Криворізький національний університет

ТЕРИТОРІАЛЬНА ГРОМАДА ЯК БАЗОВИЙ СУБ'ЄКТ МІСЦЕВОГО САМОВРЯДУВАННЯ: ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТА НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ

Мета. Метою даного дослідження є розробка теоретичних і методичних положень, інструментарію та практичних рекомендацій щодо удосконалення основних напрямів розвитку територіальних громад в Україні у сучасних умовах.

Методи дослідження. Дослідження ґрунтується на загальних принципах економічного моделювання, використано ряд методів наукових досліджень, серед яких: логічне узагальнення, порівняння, статистичний аналіз, графічний тощо.

Наукова новизна. Запропонована модель формування фінансової та економічної складових для ефективного розвитку територіальних громад в Україні. Удосконалено дефініції термінів «територіальна громада» та «об'єднана територіальна громада».

Практична значимість. Залучення інвестицій для розвитку територіальної громади та сприяння розвитку на її території підприємницької інфраструктури дозволить забезпечити сприятливі умови для ведення господарської діяльності діючих підприємств, створення нових підприємств, юридичного переміщення підприємств з територій інших територіальних громад, розвиток малого підприємництва тощо. У результаті збільшиться кількість робочих місць на території територіальної громади, що призведе до збільшення величини податкових надходжень до місцевого бюджету. Як наслідок – покращиться якість життя мешканців територіальної громади.

Результати. Одним з ключових аспектів, який на сьогодні є найбільш актуальним, є визначення місця і ролі територіальних громад в сучасних умовах розвитку економіки держави з урахуванням спрямованості на реформування системи місцевого самоврядування. Територіальні громади повинні стати такими елементами місцевого самоврядування, які будуть об'єднані спільною діяльністю, інтересами та метою відносно задоволення потреб місцевого рівня, пов'язаних з побутом, проживанням, відпочинком, навчанням тощо. Щодо подальших досліджень формування та розвитку об'єднаних територіальних громад, то варто відмітити, що підґрунтям їх розвитку та зростання має стати згуртованість її мешканців, оскільки не існує загальних принципів і засад як її формувати. Наведені у статті рекомендації сприятимуть кращому формуванню фінансової та економічної складових для ефективного розвитку територіальних громад в Україні.

Ключові слова: реформування, децентралізація влади, місцеве самоврядування, територіальна громада, об'єднана територіальна громада, залучення інвестицій.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-173-179

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Єдність принципів централізації та децентралізації влади покладено в основу структурування та функціонування апарату державного управління. Він передбачає оптимальний баланс співвідношення концентрації влади і її децентралізації, порушення якого може призводити до негативних наслідків.

Політика держави зараз націлена на реформування системи місцевого самоврядування, що полягає, передусім, у зміні системи адміністративно-територіальних одиниць базового рівня через об'єднання територіальних громад. Останнє передбачає і децентралізацію влади, тобто передачу значної частини повноважень, ресурсів та відповідальності органам місцевого самоврядування від органів виконавчої влади. При цьому передача певних повноважень на рівень територіальних громад дозволяє попередити надмірну концентрацію влади на центральному рівні та його переобтяженню місцевими справами.

Вище зазначена політики ґрунтується на положеннях Європейської хартії місцевого самоврядування та світових стандартів суспільних відносин у цій сфері.

Підґрунтям для докорінної зміни системи влади та її територіальної основи на всіх рівнях стало прийняття у 2014 році Концепції реформування місцевого самоврядування та територіальної організації влади.

З 2015 р. по 2018 р. в Україні було створено 878 об'єднаних територіальних громад, а станом на 12.11.2019 р. їх кількість збільшилась до 996 одиниць (тобто на 118 одиниць ОТГ або на 13,4%), які самостійно формують і наповнюють свої бюджети з податків, які залишаються у розпорядженні громад та отримують фінансову підтримку від держави.

Лідером у формуванні базового рівня місцевого самоврядування в Україні є Дніпропетровська область, в якій створено 70 об'єднаних територіальних громад, друге місце займає Черкаська область, в якій створено 58 об'єднаних територіальних громад, а третє місце – Запорізька та Житомирська області, в яких створено по 57 об'єднаних територіальних громад.

Вимогами Закону України «Про засади державної регіональної політики» [5] забезпечена державна підтримка регіонального розвитку та розвитку інфраструктури громад, яка з моменту започаткування реформи зросла у 39 разів: з 0,5 млрд грн у 2014 році до 19,37 млрд грн у 2018 році. Ця підтримка забезпечила виконання протягом 2015-2018 років більш ніж 10 тисяч проектів у регіонах та громадах.

Таким чином, розпочата в Україні реформа має успіхи від її впровадження. Прийняття для її виконання нормативно-правові акти суттєво посилили мотивацію до міжмуніципальної консолідації у державі, створили необхідні правові умови та механізми для формування територіальних громад, які добровільно об'єднують зусилля, рухаючись на шляху вирішенні нагальних проблем. Але при цьому деякі питання відносно діяльності територіальних громад ще потребують удосконалення та законодавчого врегулювання.

Аналіз досліджень і публікацій. Українські дослідники велику увагу присвячують дослідженню питань місцевого самоврядування у цілому та самоврядних територій зокрема. При цьому дане поняття є порівняно новим в українській практиці, хоча має ознаки глибокої давнини, адже становлення територіальних громад завжди було важливим для розвитку суспільства.

Проблеми діяльності та розвитку місцевого самоврядування у цілому та територіальних громад зокрема є предметом дослідження багатьох науковців з державного управління, серед яких М. Баймуратов, В. Бабаєв, О. Батанов, Ю. Білоконь, І. Вахович, М. Гапонюк, Ж. Гербер, О. Дорош, І. Дробот, В. Кампо, А. Крисоватий, І. Луніна, В. Мамонова, В. Наконечний, В. Письменний, С. Саханенко та ін.

Постановка задачі. Розробити теоретичні та методичні положення, інструментарій та практичні рекомендації щодо удосконалення основних напрямків розвитку територіальних громад в Україні у сучасних умовах.

Викладення матеріалу та результати. За часів, коли Україна стала незалежною, термін «територіальна громада» тривалий час не застосовувався на законодавчому рівні. А запровадження системи місцевого самоврядування, що передбачала діяльність територіальних громад, пов'язано із вимогами Конституції України [10] та прийнятому на її основі у 1997 році Закону України «Про місцеве самоврядування в Україні» [7].

Проведено огляд сучасних джерел щодо визначення сутності поняття «територіальна громада», результати якого узагальнено у табл. 1.

За результатами проведеного огляду літературних джерел щодо сутності поняття «територіальна громада» можна підсумувати, що не зрозумілим є порядок віднесення тієї чи іншої особи до відповідної територіальної громади, адже нормативно-правові акти не тлумачать, наприклад, такі аспекти: яким чином «зафіксувати» статус члена територіальної громади; тривалість часу, який громадянин повинен прожити на відповідній території, щоб вважатися постійно проживаючим жителем села, селища або міста; чи вважається членом відповідної територіальної громади іноземець, особа без громадянства або інша особа, які не мають місцевої реєстрації але при цьому проживають у певному населеному пункті (постійно або тривалий час) тощо.

Так, Згідно Закону України «Про свободу пересування та вільний вибір місця проживання в Україні» [8]:

місце перебування – адміністративно-територіальна одиниця, на території якої особа проживає строком менше шести місяців на рік;

місце проживання – житло, розташоване на території адміністративно-територіальної одиниці, в якому особа проживає, а також спеціалізовані соціальні установи, заклади соціального обслуговування та соціального захисту, військові частини.

Згідно Цивільного Кодексу України місцем проживання фізичної особи є житло, в якому вона проживає постійно або тимчасово [20]. Отже, фізична особа може мати декілька місць проживання, що ускладнює проблему визначення її місця проживання, за яким така особа має право відноситися до тієї чи іншої територіальної громади.

Згідно Закону України «Про зовнішньоекономічну діяльність» [6] постійне місце проживання – місце проживання на території якої-небудь держави не менше одного року фізичної особи, яка не має постійного місця проживання на території інших держав і має намір проживати на території цієї держави протягом необмеженого строку, не обмежуючи таке проживання певною метою, і за умови, що таке проживання не є наслідком виконання цією особою службових обов'язків або зобов'язань за договором (контрактом).

Крім того, за результатами проведеного дослідження можна констатувати відсутність єдності у поглядах законодавців та науковців щодо сутності поняття «територіальна громада». З урахуванням вище наведеного та з метою усунення плутанини у понятійно-категоріальному апараті щодо сутності даної категорії вважаємо доцільним уточнити дефініцію категорії «територіальна громада» під якою пропонується розуміти спільноту мешканців села (селища або міста), які проживають на території самостійної адміністративно-територіальної одиниці не менше одного року, об'єднані загальними інтересами власного життєзабезпечення, володіють на даній території нерухомим майном, мають спільну комунальну власність та вирішують питання місцевого значення як безпосередньо, так і через органи місцевого самоврядування.

Дослідження сутності поняття «територіальна громада»

Джерело	Тлумачення поняття
Конституція України від 28.06.1996 р. №254к/96-ВР (зі змінами та доповненнями) [10]	Жителі села чи добровільного об'єднання, об'єднані у сільську громаду жителів кількох сіл, селища та міста, які мають право самостійно вирішувати питання місцевого значення в межах Конституції і Законів України.
Закон України «Про місцеве самоврядування» від 21.05.1997 р. №280/97 (зі змінами та доповненнями) [7]	Жителі, об'єднані постійним проживанням у межах села, селища, міста, що є самостійними адміністративно-територіальними одиницями, або добровільне об'єднання жителів кількох сіл, що мають єдиний адміністративний центр.
Указ Президента України «Про заходи щодо впровадження Концепції адміністративної реформи в Україні» від 22.07.1998 р. №810/98 (зі змінами та доповненнями) [0]	Спільнота мешканців, жителів населених пунктів (сіл, селищ, міст), об'єднана загальними інтересами власного життєзабезпечення, самостійного, в межах законів, вирішення питань місцевого значення як безпосередньо, так і через органи місцевого самоврядування.
Батанов О.В. [3]	Територіальна спільність, що складається з фізичних осіб – жителів, що постійно мешкають, працюють на території села (або добровільного об'єднання в спільну громаду кількох сіл), селища або міста, безпосередньо або через сформовані ними муніципальні структури вирішують питання місцевого значення, мають спільну комунальну власність, володіють на даній території нерухомим майном, сплачують комунальні податки та пов'язані територіально-особистісними зв'язками системного характеру.
Н.М. Альошина [1]	Спільнота (як громадян України, так і іноземців та осіб без громадянства), що об'єднана на основі об'єктивного (певна територія проживання) та суб'єктивних критеріїв (наявність спільних інтересів та усвідомлення психологічної єдності), наявності спільного майна, яке знаходиться у комунальній власності, та специфічних повноважень, які ця спільнота може вирішувати як через органи місцевого самоврядування, так і безпосередньо.
В.М. Кампо [9]	Первинний суб'єкт місцевого самоврядування – територіальний колектив в особі жителів села (сіл відповідної сільради), селища або міста.
Н.І. Руда [18]	Спільність, що здійснює свої функції в різних сферах життєдіяльності, яка об'єднана спільними інтересами і формується в межах спільного проживання людей.
М.П. Орзіх [14]	Первинний суб'єкт місцевого самоврядування, до складу якого входять громадяни України, іноземці, особи без громадянства, що постійно мешкають або працюють на даній території, або володіють на території нерухомим майном, або сплачують місцеві податки та збори.
М.О. Пухтинський [17]	Свідомо сформована, соціальна і політично активна людська спільнота, самодостатня у своєму існуванні і розвиткові з погляду забезпечення фінансовими, економічними, природними ресурсами.
В.І. Кравченко [12]	Сукупність громадян України, котрі спільно проживають у міському чи сільському поселенні, мають колективні інтереси і визначений законом правовий статус; територіальну громаду можна розглядати як: базову адміністративно-територіальну одиницю; форму організації місцевої влади; суб'єкт цивільно-правових відносин (господарюючий суб'єкт).
М.А. Баймуратов [2]	Сукупність фізичних осіб, які постійно мешкають на відповідній території та пов'язані між собою територіально-особистісними зв'язками системного характеру.
В.А. Григор'єв [4]	Певна самоорганізація громадян, які об'єднані за територіальною ознакою з метою задоволення в межах закону своїх колективних потреб та запитів, а також захисту законних прав та інтересів.
В.М. Бесчастний [13]	Спільність жителів, об'єднаних шляхом природного розселення і постійним проживанням в межах одного або кількох населених пунктів з єдиним адміністративним центром, за якою Конституцією та Законами України визнане право вирішувати питання місцевого значення в межах законодавства України.
Патицька Х.О. [16]	Природно сформована людська спільнота, членами якої є фізичні особи, які проживають, працюють чи володіють нерухомим майном на території в межах одного або кількох населених пунктів з єдиним адміністративним центром, та яка характеризується сукупністю сталих зв'язків і спроможністю до реалізації спільних інтересів в питанні власного життєзабезпечення й соціально-економічного розвитку, виступає представником місцевої спільноти і є власником комунального майна на відповідній території.

Крім того, вважаємо доцільним й уточнення дефініції терміну «об'єднана територіальна громада», під якою пропонуємо розуміти добровільне об'єднання зусиль суміжних територіальних громад, які мають єдиний адміністративний центр, з метою вирішення спільних проблем такої громади.

Визначено, що більшість зарубіжних країн мають багаторічний досвід проведення реформ щодо децентралізації влади. На сьогодні існує декілька моделей місцевого самоврядування: англосаксонська, континентальна та змішана. Між цими моделями існують спільні риси, притаманні процесу децентралізації у зарубіжних країнах.

Однак, як здається, серед існуючих моделей місцевого самоврядування немає універсальної моделі, яку б можна було застосувати в Україні без її адаптації.

За роки незалежності України, нажаль, не вдалося побудувати сталу систему місцевого самоврядування, яка б перейняла на себе виконання певних функцій, не властивих за їх характером органам центральної влади, та яка б була здатною ефективно вирішувати питання на місцевому рівні, забезпечувати покращення якості життя населення. І хоча питання щодо реформування системи місцевого самоврядування піднімалися в державі протягом тривалого часу, однак й досі вони не є вирішеними.

Як наслідок, питання децентралізації влади на сьогодні – це вже не просто спроба поліпшити якість публічного управління, а й необхідна передумова виходу України з кризи, що склалася під впливом економічних та політичних чинників.

Слід зазначити, що Кабінет Міністрів України затвердив Концепцію реформування місцевого самоврядування та територіальної організації влади в Україні [11], якою визначено коло проблем, які на сьогодні потребують негайного та ефективного розв'язання.

Основною метою реформи децентралізації відповідно до Концепції [11] є формування ефективного місцевого самоврядування та територіальної організації влади для створення і підтримки повноцінного життєвого середовища для громадян. Тобто, метою реформи є не перерозподіл повноважень та фінансових ресурсів між органами центральної влади та місцевого самоврядування, а розвинення дієвого механізму ефективного розпорядження територіальними громадами наявними ресурсами та можливостями з метою забезпечення сталого розвитку громади.

Погоджуємось з думкою автора роботи [16] відносно того, що фінансова спроможність територіальних громад безпосередньо залежить від функціонування в межах їх території суб'єктів господарювання, які є основними платниками місцевих податків. Однак розвиток підприємницької інфраструктури в територіальних громадах (здебільшого у сільських та селищних) є досить низьким. Не виключенням є й велика кількість територіальних громад, які, отримали фінансові ресурси, повноваження, землю та об'єкти комунальної власності, але, нажаль, не спроможні їх ефективно використовувати для розвитку підприємницької діяльності на власній території.

Відбулось це внаслідок того, що з моменту набуття Україною статусу незалежної держави у розвитку місцевого самоврядування превалювало забезпечення виконання короткострокових інтересів та відсутність стратегічного плану розвитку територіальних громад. Слід відмітити, що й на сьогодні добровільне об'єднання територіальних громад неодноразово відбувалось лише заради отримання на місцевому рівні додаткових повноважень та фінансових ресурсів, а також зосередження матеріальних та природних ресурсів більш забезпечених громад.

На нашу думку, вирішення питання щодо формування та розвитку місцевого самоврядування в державі залежить й від ефективного функціонування апарату управління, який повинен складатися виключно з компетентних та висококваліфікованих кадрів.

Вважаємо, що вагоме значення у ефективному розвитку підприємницької інфраструктури на території територіальних громад посідає й подолання корупції на рівні органів місцевого самоврядування, їх зацікавленості у розвитку малого підприємництва. Маючи фінансові ресурси та законодавчо визначені інструменти, територіальна громада та виконавчі органи місцевого самоврядування повинні сприяти формуванню підприємницького середовища та забезпечувати підтримку його розвитку з метою нарощування фінансового та економічного потенціалу територіальних громад.

З урахуванням вище наведеного в рамках даного дослідження запропонована модель формування фінансової та економічної складових для розвитку територіальної громади, яка представлена на рис. 1.

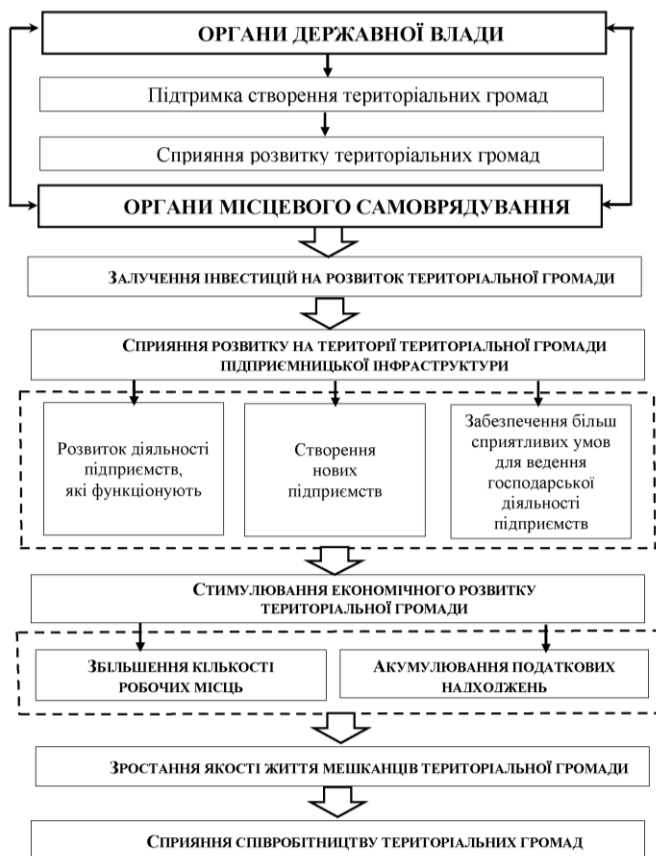


Рис. 1. Формування фінансової та економічної складових для ефективного розвитку територіальної громади (розроблено авторами)

Отже, на нашу думку, з метою формування фінансової та економічної складової для ефективного розвитку територіальної громади органи місцевого самоврядування повинні здійснювати наступні заходи: залучати інвестиції на розвиток територіальної громади; сприяти розвитку на території територіальної громади підприємницької інфраструктури. Зазначене може бути забезпечено за рахунок:

зацікавленості органів місцевої влади у розвитку підприємств, які функціонують на території територіальної громади;

створення нових підприємств на території територіальної громади;

створення більш сприятливих умов для ведення підприємницької діяльності на території територіальної громади. Внаслідок цього можливим є юридичне переміщення підприємств з територій інших територіальних громад, розвиток малого підприємництва тощо. Це дозво-

лить збільшити кількість робочих місць на території територіальної громади, а також збільшити кількість податкових надходжень як до державного бюджету, так і до місцевого.

Виконання вище перелічених заходів щодо формування фінансової та економічної складової для ефективного розвитку територіальної громади сприятиме й збільшенню якості життя мешканців територіальної громади.

Територіальна громада, яка має ефективний економічний розвиток та фінансові ресурси для власного розвитку є привабливою для співробітництва з іншими територіальними громадами, створення їх об'єднань.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Таким чином, вирішення питання щодо формування та розвитку місцевого самоврядування в державі залежить від ефективного функціонування апарату управління. Залучення інвестицій для розвитку територіальної громади та сприяння розвитку на її території підприємницької інфраструктури дозволить забезпечити сприятливі умови для ведення господарської діяльності діючих підприємств, створення нових підприємств, юридичного переміщення підприємств з територій інших територіальних громад, розвиток малого підприємництва тощо. У результаті збільшиться кількість робочих місць на території територіальної громади, що призведе до збільшення величини податкових надходжень до місцевого бюджету. Як наслідок – покращиться якість життя мешканців територіальної громади.

Щодо подальших досліджень формування та розвитку об'єднаних територіальних громад, то варто відмітити, що підґрунтям їх розвитку та зростання має стати згуртованість її мешканців, оскільки не існує загальних принципів і засад як її формувати.

Також заслуговує на увагу той факт, що юридично оформлена об'єднана територіальна громада являє собою тільки початок формування згуртованої спільноти мешканців об'єднаної громади. Адже простої сукупності жителів для згуртованості недостатньо. Тобто добровільне об'єднання громадян має супроводжуватись не тільки змінами територіальних меж, а й змінами, що відбуваються у взаємовідносинах окремих населених пунктів, взаєминах членів громади, в особистій сфері кожного її мешканця.

Питання згуртованості є актуальним в Україні, оскільки більшість існуючих сьогодні об'єднаних територіальних громад є тільки об'єднаннями територій, але не об'єднанням людей. Тобто згуртованість має формувати солідарну відповідальність.

Список літератури

1. **Альошина Н.М.** Поняття й ознаки територіальної громади / Н.М. Альошина // Державне будівництво та місцеве самоврядування : зб. наук. пр. – Харків, 2011. – Вип. 21. – С. 173–180.
2. **Баймуратов М.А.** Европейские стандарты локальной демократии и местное самоуправление в Украине. Харьков: Одиссей, 2000. – 314 с.
3. **Батанов О.В.** Територіальна громада – основа місцевого самоврядування в Україні : монографія. – К. : Ін-т де-ржа-ви і права ім. В.М. Корецького НАН України, 2001. – 260 с.
4. **Григорьев В.А.** Становление местного самоуправления в Украине. Одесса: Юрид. л-ра, 2000. – 108 с.
5. Закон України «Про засади державної регіональної політики» від 05.02.2012 р. №156-VII (зі змінами та доповненнями). – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/156-19>
6. Закон України «Про зовнішньоекономічну діяльність» від 16.04.1991 р. №959-XII (зі змінами та доповненнями). – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/959-12/ed20190207#n79>
7. Закон України «Про місцеве самоврядування» від 21.05.1997 р. №280/97 (зі змінами та доповненнями). – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/280/97-%D0%B2%D1%80>
8. Закон України «Про свободу пересування та вільний вибір місця проживання в Україні» від 11.12.2003 р. №1382-IV (зі змінами та доповненнями). – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/1382-15>
9. **Кампо В.М.** Деякі проблеми становлення і розвитку місцевого самоврядування. Місцеве і регіональне самоврядування в Україні. 1993. Вип. 1/2 (4/5). – С. 68.
10. Конституція України від 28.06.1996 р. №254к/96-ВР (зі змінами та доповненнями). – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80>
11. Концепція реформування місцевого самоврядування та територіальної організації влади в Україні, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 01.04.2014 р. № 333-р. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/333-2014-%D1%80>
12. **Кравченко В.І.** Місцеві фінанси України: навч. пос. – Київ: Знання. 1999. – С. 77-82.
13. Місцеве самоврядування в Україні: проблеми та перспективи / за ред. **В.М. Бесчастного**. – Донецьк: Донецький юридичний інститут при Донецькому національному університеті. 2005. 579 с.
14. **Орзіх М.П.** Концепція правового статусу самоврядних територій і органів місцевого самоврядування. Місцеве та регіональне самоврядування України. Київ. 1994. Вип. 4 (9). – С. 45.
15. **Патицька Х.О.** Нарощення податкового потенціалу об'єднаних територіальних громад в контексті забезпечення їх фінансової спроможності. Причорноморські економічні студії. 21/2017. С. 42-46.
16. **Патицька Х.О.** Формування фінансово-економічного потенціалу територіальних громад в умовах реалізації реформи місцевого самоврядування / Х.О. Патицька // Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук. – Л. – 2018. – С. 254.
17. **Пухтинський М.О.** Проблеми реалізації конституційно-правових засад місцевого самоврядування. Збірник наукових праць УАДУ. 1999. Вип. 1. – С. 257.
18. **Руда Н.І.** Формування соціального статусу територіального колективу в період переходу до ринкових відносин. Правова система України: теорія і практика: тези доп. і наук., пров. наук.-практ. конф. (Київ, 7-8 жовтня 1993 р.) Київ, 1993. – С. 203.
19. Указ **Президента України** «Про заходи щодо впровадження Концепції адміністративної реформи в Україні» від 22.07.1998 р. №810/98 (зі змінами та доповненнями). – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/810/98>
20. Цивільний Кодекс України від 16.01.2003 р. №435-IV (зі змінами та доповненнями). – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15>

Рукопис подано до редакції 09.04.2020

УДК 004.451.25:[622.788:621.867]

В. Й. ЛОБОВ, Л.І.ЄФІМЕНКО, М.П. ТИХАНСЬКИЙ, кандидати техн. наук, доценти
Криворізький національний університет

НЕЧІТКЕ КЕРУВАННЯ ТЕРМІЧНОЮ ОБРОБКОЮ ЗАЛІЗОРУДНИХ ОБКОТИШІВ У ЗОНІ ВИСУШУВАННЯ ВИПАЛЮВАЛЬНОЇ МАШИНИ КОНВЕЄРНОГО ТИПУ

Мета. Забезпечення підвищення ефективності автоматизованого керування процесом термічного оброблення залізрудних обкотишів у технологічній зоні висушування шляхом розробки принципів, структури та дослідження роботи системи керування на основі нечіткої логіки про стан теплоносіїв газоповітряних потоків і основних параметрів технологічних зон машини.

Методи дослідження. При проведенні дослідження використано аналіз літературних і патентних джерел, наукове узагальнення раніше виконаних досліджень, а також, методи теорії автоматичного керування та математичного моделювання для аналізу якості перехідних процесів і швидкодії розробленої системи керування процесом термічної обробки з моделями нечіткої логіки, теорії ідентифікації систем для вибору і обґрунтування структури математичної моделі об'єкта керування у зоні висушування машини з використанням нечіткої логіки.

Наукова новизна. Визначено найбільш важливі параметри виробничого процесу для технологічних зон висушування, які потрібно враховувати при удосконаленні математичної моделі та які найбільше впливають на розподіл температур теплоносіїв газоповітряних потоків і витрати енергоносіїв, при цьому враховано вплив температури теплоносіїв сусідніх зон на цей процес. Встановлені закономірності для повторного використання температур відпрацьованих теплоносіїв газоповітряного потоку. Визначено оптимальний розподіл температур теплоносіїв газоповітряного потоку за зоною висушування, що забезпечує стабілізацію теплового режиму.

Практична значимість. Використання автоматизованого керування процесом термічної обробки обкотишів зі змінними параметрами температур теплоносіїв газоповітряних потоків надає додаткові можливості для підвищення ефективності використання випалювальної машини конвеєрного типу. Підвищення ефективності виробництва обкотишів забезпечують шляхом раціонального використання теплоносіїв ГПП за технологічними зонами і повторного використання відпрацьованих цих теплоносіїв ГПП перед викиданням їх в атмосферу. Розроблено апаратно-програмну реалізацію системи автоматизованого керування процесом термічної обробки обкотишів зі змінними параметрами температур теплоносіїв газоповітряних потоків

Результати. Удосконалено математичну модель, що апроксимує динаміку термічного процесу обробки обкотишів в зонах машини, на основі рішення систем нечітких функцій, і принципів параметричної ідентифікації. На основі математичного моделювання проведено дослідження з метою визначення оптимального розподілу температур теплоносіїв газоповітряного потоку за зоною висушування, що забезпечує стабілізацію теплового режиму. Встановлено закономірності для повторного використання відпрацьованих теплоносіїв газоповітряних потоків.

Ключові слова: автоматизоване керування, випалювальна машина конвеєрного типу, теплоносії, технологічні зони, термічне оброблення обкотишів, нечітка логіка, моделі

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-179-186

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Складність агрегатів і технологій у значній мірі ускладнюють вирішення раціонального використання сировинних і паливно-енергетичних ресурсів технологічними агрегатами, особливо важливих для енергоємних виробництв при високій якості готової продукції металургійної промисловості. Одним із таких технологічних агрегатів є випалювальна машина конвеєрного типу (ВМКТ), яка використовується для термічного оброблення залізрудних обкотишів на фабриках огрудкування (ФОГ) гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК). ВМКТ являють собою складну енергетичну систему, що забезпечує процес термічної обробки залізрудних обкотишів, вироблених із дрібнодисперсних концентратів, і є одними з найбільш енерговитратних об'єктів аглодоменного переділу. При виробництві обкотишів значна енергоємність властива процесам їх термічного оброблення на ВМКТ, які включають використання теплоносіїв газоповітряних потоків (ГПП) у технологічних зонах (ТЗ) машини при переміщенні їх на візках конвеєрної стрічки (КС) упродовж випалювальної машини конвеєрного типу із забезпеченням нормованих фізико-хімічних процесів за рахунок оптимального управління виробництвом обкотишів із концентратів різного хімічного складу, ступеня окислення та добавками. У структурі собівартості виготовлених обкотишів питому вагу займають операції їх термічного оброблення, що обумовлені високими енерговитратами. До основних факторів, що впливають на енерговитрати ВМКТ відносять гранулометричні характеристики, фізико-хімічні властивості сирих залізрудних обкотишів і ефективне використання теплоносіїв ГПП упродовж технологічних зон випалювальної машини. Враховуючи, що термічні процеси виробництва обкотишів проходять послідовно у різних ТЗ, підвищення ефективності виробництва обкотишів у цілому може бути забезпечено шляхом раціонального використання теплоносіїв ГПП за технологічними зонами і повторного використання відпрацьованих цих теплоносіїв ГПП перед викиданням їх в атмосферу. Значну частину теплових витрат у ВМКТ становить фізична теплота відпрацьованих (відхідних) теплоносіїв ГПП, використання якої може бути відрегульовано на підвищення ефективності термічного процесу виробництва обкотишів. Тому актуальними стають питання дослідження закономірностей і процесів, що протікають у ТЗ при зміні параметрів теплоносіїв ГПП, і розробці викладених технічних рішень, що забезпечать їх ефективне використання.

Аналіз досліджень і публікацій. Як показує аналіз результатів досліджень, що представлені у багатьох наукових роботах [1–5], параметри теплоносіїв ГПП суттєво впливають на термічне оброблення обкотишів на випалювальній машині, що потребує їх діагностування і

керування. Проте визначення цих й інших параметрів на виробничому обладнанні практично неможливо виконати. Тому одні дослідники пропонують застосування різних моделей [6 – 9], інші – більш перспективний напрямок. До недоліків математичних моделей можна віднести нехтування теплообміном між сирими обкотишами та вже випаленими. Моделі не враховують вплив температури теплоносіїв ГПП, що відходять із зон випалювання та рекуперації на зони висушування та попереднього нагрівання, на термічний процес виготовлення обкотишів. У роботах [10, 11] представлено результати досліджень керування ТП із використанням нечітких множин. Тут розглядаються адаптивні нечіткі системи керування, які, виходячи з інформації про якість процесу, проводять корекцію правил таблиць нечіткого виведення для збереження заданої якості процесів керування при зміні значень параметрів об'єкта, що виходять за допустимі межі. Автоматизація синтезу регуляторів и наглядачів стану в середі пакету MATLAB представлена в [12]. В інших роботах [14, 15] авторами встановлено, що система з нечітким контролером (НК) забезпечує зменшення в середньому на $2 \text{ м}^3/\text{год}$ споживання природного газу, більш рівномірно забезпечує газопроникність шару обкотишів, що призводить до збільшення швидкості фільтрації газового потоку та інтенсифікації процесу теплообміну в цьому шарі. Розроблена модифікована методика [16] побудови систем управління ТП на основі нечітких діаграм дозволяє домогтися більш високого рівня деталізації протікання технологічного процесу в силу відображення не тільки факту його зміни, а й тенденції його розвитку за рахунок обліку відомостей про знаки першої і другої похідних. У результаті дослідно-промислових випробувань встановлено, що промислове впровадження розробленої автоматизованої системи може забезпечити підвищення ефективності технологічного процесу приблизно на 1 %. Інші нечіткі моделі [10, 17] і правила для управління технологічними процесами стосовно інформаційних систем засновані на аналізі та управлінні фізико-хімічними та тепло- і масо об'ємними процесами випалювання. Надання рекомендацій щодо управління об'єктами складаються з двох етапів: визначення технологічного стану частин (зон) та знаходження керуючих впливів за вектором станів цих частин. Ще одним дослідженням є системи з регуляторами нечіткої логіки [15, 16], які дозволяють більш рівномірно забезпечувати газопроникність шару обкотишів, що призводить до збільшення швидкості фільтрації газового потоку та інтенсифікації процесу теплообміну в шарі обкотишів. Основні параметри досліджуваних систем змінюються в різних діапазонах для вакуум-камер. Як показує аналіз наукових праць [2], наявний математичний апарат не дозволяє отримати результати досліджень, що поліпшують енергоефективність газодинамічних характеристик при термічному процесі виготовлення обкотишів. Тому використання алгоритмів нечіткої логіки дозволяє розбити універсальні множини на окремі області, вирішуючи оптимальне керування перерозподілом теплоносіїв ГПП упродовж технологічних зон ВМКТ. При реалізації регулятора з описом нечітких множин застосовуються функції трикутної та трапецеїдальної форми [15]. Результатом використання регулятора нечіткої логіки (РНЛ) є здатність забезпечити якісне керування процесом висушування обкотишів у ТЗ ВМКТ.

Постановка завдання. Таким чином, наукові дослідження та виконаний аналіз наукової літератури показали, що математичне моделювання теплових, ГПП і фізико-хімічних процесів у технології термічного виготовлення обкотишів склали наукову базу для створення інноваційної схеми подачі теплоносіїв ГПП до випалювальної машини. Використання алгоритмів нечіткої логіки дозволяє розбити універсальні множини на окремі області об'єкта управління для оптимального керування. Результати досліджень математичних моделей у наукових працях не дозволяють розробити технічні рішення, що покликані забезпечити поліпшення газодинамічних характеристик у шарі обкотишів і технологічних зонах висушування випалювальної машини. Запропоновані ними моделі не враховують вплив температури теплоносіїв ГПП сусідніх зон на цей процес, відсутній автоматизований перерозподіл використаних теплоносіїв ГПП. Тому керування тягодуттьовими пристроями потребує доповнення схемою автоматизації, яка враховує технологічні параметри теплоносіїв ГПП, такі як: тиск, температура, витрати тощо.

Метою роботи є забезпечення підвищення ефективності автоматизованого керування процесом термічного оброблення залізородних обкотишів у технологічних зонах висушування шляхом розробки принципів, структури та дослідження роботи системи керування на основі нечіткої логіки про стан теплоносіїв газоповітряних потоків і основних параметрів технологічних зон випалювальної машини.

Для досягнення поставленої мети необхідно: визначити вхідні та вихідні найбільш важливі параметри виробничого процесу для технологічних зон висушування, які потрібно враховувати при використанні математичної моделі та які найбільше впливають на розподіл температур теплоносіїв газоповітряних потоків і витрати енергоносіїв; на основі моделювання провести чисельні дослідження з метою визначення оптимального розподілу температур теплоносіїв газоповітряного потоку у технологічних зонах, що забезпечують стабілізацію теплового режиму процесів висушування; встановити закономірності для повторного використання температур відпрацьованих теплоносіїв газоповітряного потоку.

Викладення матеріалу та результати. При переході візків КС з обкотишами із технологічної зони висушування I (ZC1) у другу технологічну зону висушування (ZCII) випалювальної машини необхідно враховувати вихідні параметри ZC1 для моделі нечіткої логіки, які впливають на роботу ZCII. Так, для ZC1 вхідними параметрами є: висота шару обкотишів $H1$, мм, вміст води $W1$, % та основність $Ос$, частка одиниці, швидкість V_{kv} , м/с переміщення візків (КС), температура ГПП T_{p1} , °C, що відходить із другої технологічної зони охолодження. До вихідних параметрів відносяться температура верхнього шару обкотишів T_{sh1} , °C, висота їх шару $H2$, мм і вміст вологості обкотишів $W2$,%. T_{sh} — є важливим параметром для врахування температурного розподілу шару обкотишів у технологічних зонах високих температур та технологічної зони охолодження для врахування необхідної кількості палива та оптимального тиску теплоносіїв ГПП для проходження через шар обкотишів, що знаходяться на візках КС у ZC1. Кожний параметр вихідного вектору $[T_{sh1}; W2; H2]$ ZC1, як показують результати виробничого процесу, змінюється у широкому діапазоні та залежить від інших значень параметрів вхідного вектору $[W1; H1; T_{p1}; V_{kv}; Ос]$. Використовуючи вхідні та вихідні вектори параметрів ZC1 та їхній взаємозв'язок розроблена модель для керування процесом термічного оброблення обкотишів у цій зоні. На рис. 1 а представлено модель із РПЛ «Fuzzy Regulator» у пакеті математичного моделювання Matlab/Simulink, а на рис.1 б — результати моделювання процесу термічного оброблення обкотишів на ВМКТ. РНЛ працює за заданими правилами нечіткої логіки за алгоритмом Мамдані. У робочій області, що представлена на рис.2 а, реалізовано РНЛ. У підпрограмі «Fuzzy» функцією «Add Variable...», задано кількість вхідних і вихідних змінних для РНЛ (табл. 1, 2). Графічне зображення функцій приналежності, наведено на рис. 2 б.

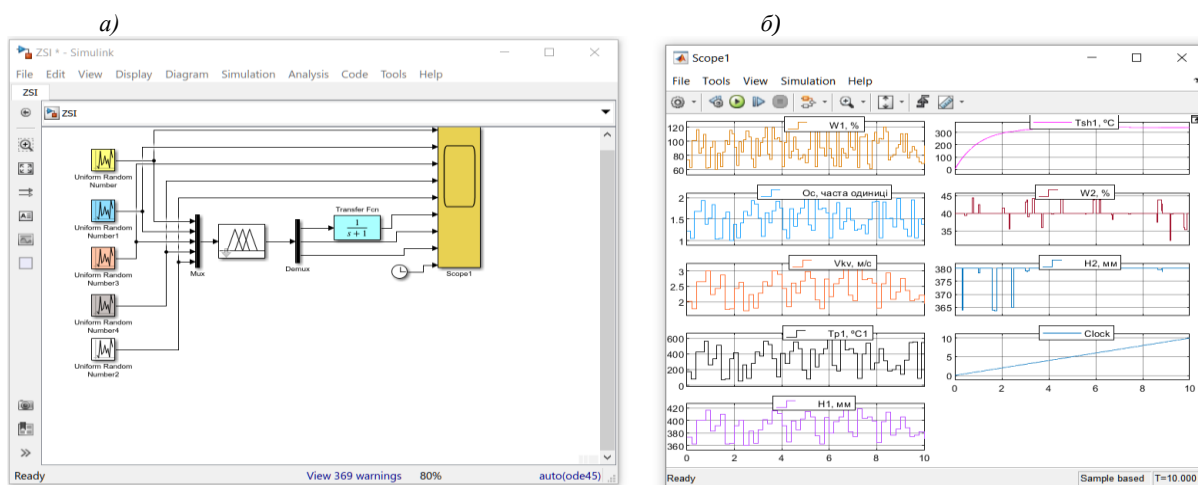


Рис. 1. Модель процесу випалювання обкотишів і результати моделювання процесу термічного оброблення залізородних обкотишів у ZC1 на випалювальній машині

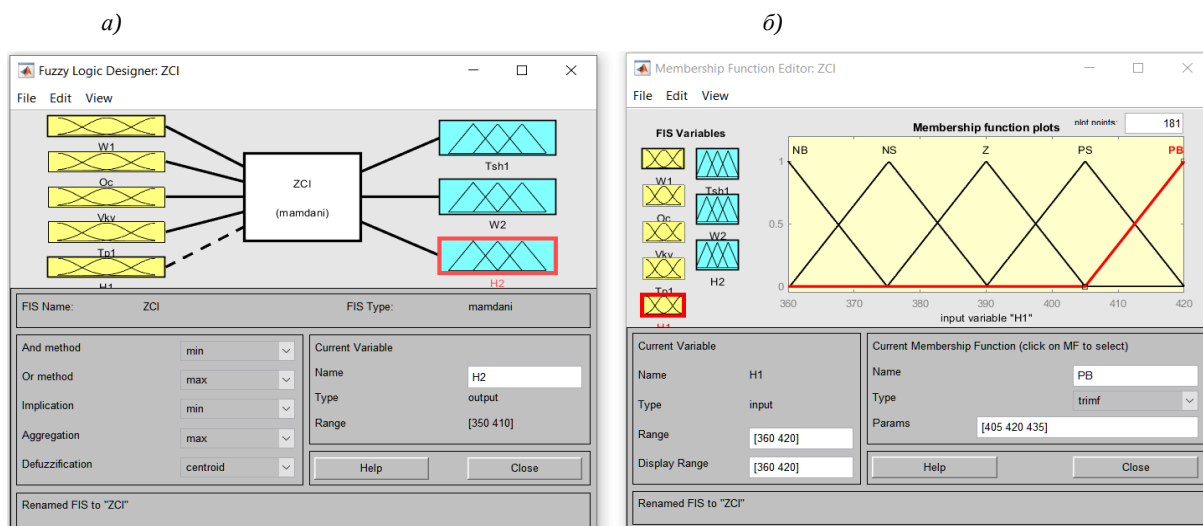


Рис.2. Модель із РПЛ «Fuzzy Regulator» (а), результати моделювання процесу термічного оброблення обкотишів – параметри функцій належності для технологічних зон ZCI (б)

Таблиця 1

Параметри вектора входу моделі нечіткої логіки для ЗСІ

Найменування параметра	Позначення параметра	Граничне значення параметра	
		min	max
Вологість обкотишів, %	W1	85	90
Висота шару обкотишів, мм	H1	250	400
Температура ГПП, °C	T _n 1	300	350
Швидкість переміщення візків КС, м/с	V _{kv}	0.72	2.52
Основність обкотишів	Oc	0.7	1.56

Таблиця 2

Параметри вектора виходу моделі нечіткої логіки для ЗСІ

Найменування параметра	Позначення параметра	Граничне значення параметра	
		min	max
Температура верхнього шару обкотишів, °C	T _{sh} 2	300	350
Вологість обкотишів, %	W2	35	45
Висота шару обкотишів, мм	H2	245	392

Після завдання правил, виберемо команду меню «View→View surface» і перейдемо до вікна перегляду поверхні відгуку (виходу). Змодельоване системою відображення показує залежність виходу від конкретних значень вхідних величин. У полі Output можна вибрати вихід, для якого необхідно переглянути залежність від вхідних параметрів. За допомогою вищевказаних програм-редакторів на будь-якому етапі проектування нечіткої моделі до неї можна внести необхідні корективи аж до завдання будь-якої особливої функції належності. На рис. 3 наведено скріншоти вікон перегляду поверхні відгуку в Simulink для ZCI.

При виборі варіантів режимів роботи технологічної зони висушування очевидно, що ті режими будуть переважними, які в найкращій мірі забезпечують поліпшення якісних показників випалених обкотишів при оптимальних параметрах виробничого процесу для досягнення найбільшої ефективності. При моделюванні нечіткого керування роботою технологічних зон висушування головна увага була приділена вибору оптимального технологічного режиму для забезпечення регламентного значення температури верхнього шару обкотишів на візках КС при мінімальних значеннях теплоносіїв ГПП, що використовуються із другої зони охолодження.

Для побудови моделей використано експериментальні дані ВМКТ типу LURGI-278A з ділянки випалювання ФОГ ПрАТ «Північний ГЗК», які контролюють безпосередньо параметри технологічних зон ZCI згідно технологічного процесу.

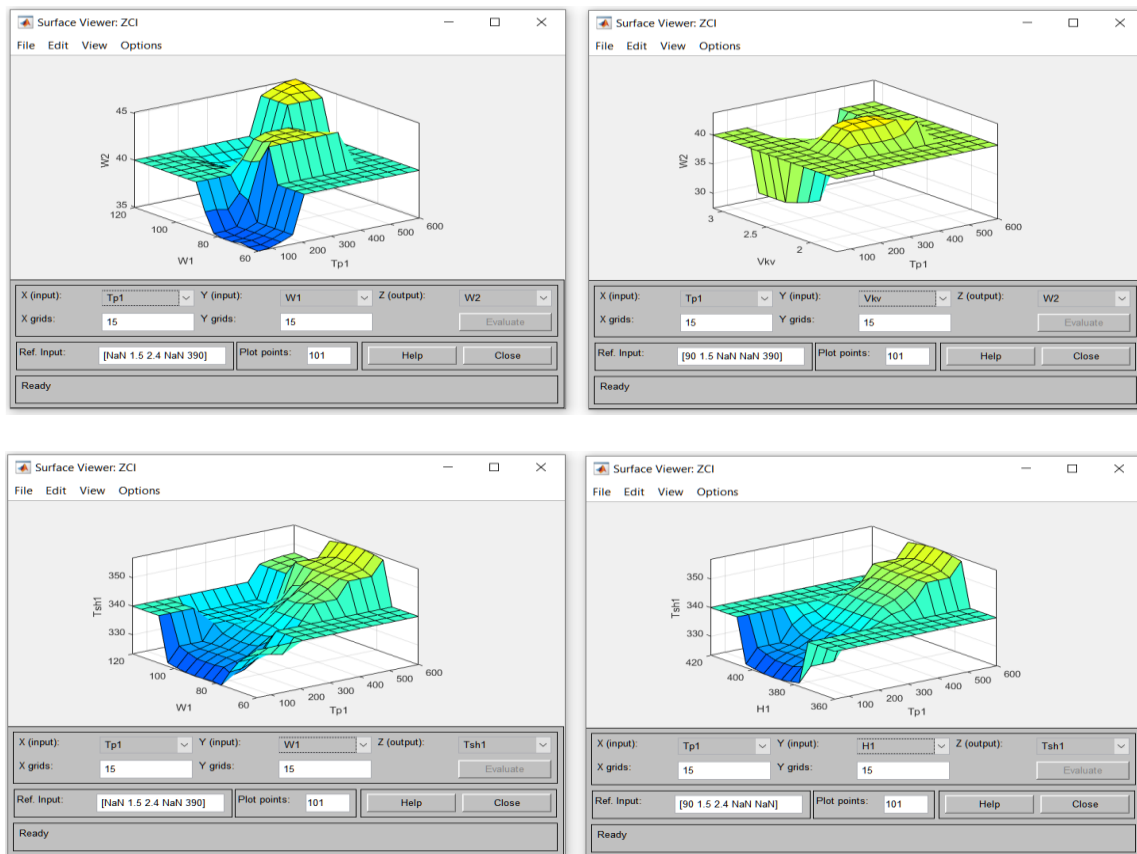


Рис. 3. Поверхні відгуку в Simulink для ZCI

На графіку рис. 4 а відображається зміна температури верхнього шару обкотишів, °C, при трьох значеннях $S = 0.2; 1.0$ і 3.0 , а на рис. 4б – витрати електричної енергії, кВт/год при трьох значеннях $S = 0.2; 1.0$ і 3.0 .

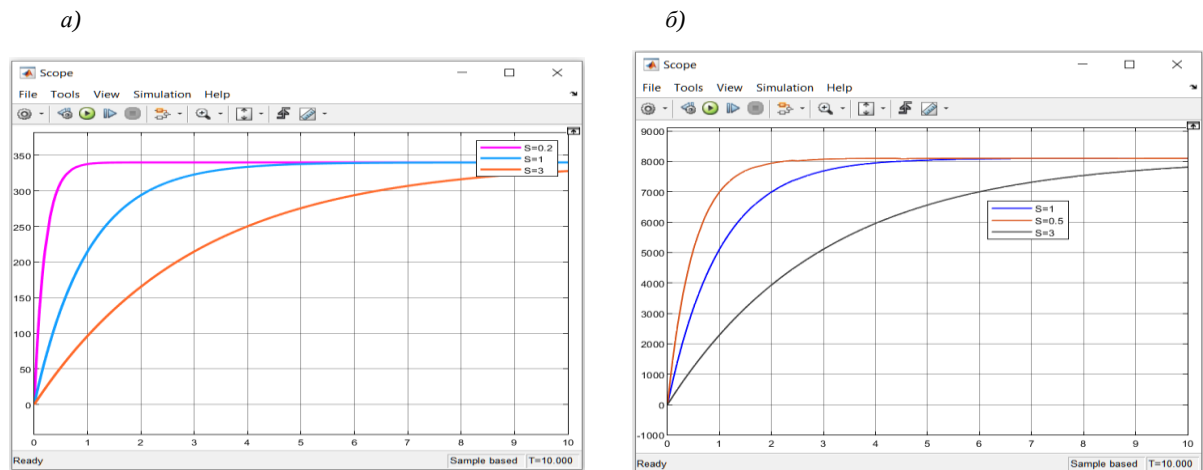


Рис.4. Графіки зміни температури верхнього шару обкотишів та витрати електричної енергії: а – температури верхнього шару обкотишів, °C і б – витрати електричної енергії, кВт/год

Висновки та напрямок подальших досліджень. Визначено вхідні та вихідні параметри виробничого процесу для ТЗ висушування, які є найбільш важливі та які потрібно враховувати при моделюванні. Встановлено які технологічні параметри найбільше впливають на розподіл температур теплоносіїв газоповітряних потоків і витрат енергоносіїв у першій зоні висушування. На основі моделювання проведено чисельні дослідження з метою визначення оптимального розподілу температур теплоносіїв газоповітряного потоку за ТЗ, що забезпечують стабілізацію теплового режиму процесу висушування обкотишів. Встановлені законо-

мірності для повторного використання температур відпрацьованих теплоносіїв газоповітряного потоку. Показано підвищення ефективності автоматизованого керування процесом термічного оброблення залізорудних обкотишів у ТЗ висушування шляхом розробки принципів, структури та дослідження роботи системи керування на основі нечіткої логіки з урахуванням теплоносіїв газоповітряних потоків і основних параметрів технологічних зон ВМКТ. Це дозволить стабілізувати температурний режим обробки обкотишів за ТЗ та скоротити обсяг споживання енергоносіїв установкою.

Список літератури

1. Буткарев А.А. Исследование и совершенствование процесса управления термообработкой окатышей на обжиговых конвейерных машинах / А.А. Буткарев // Сталь. – 2011 – № 5. – С. 4-8.
2. Lobov V. I. Temperature distribution model of the iron ore pellets layer inside the combustion chamber of the belt kiln burning zone / V. I. Lobov, M. O. Kotliar // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2015. – № 2. – Р. 109 – 117.
3. Рубан С.А. Автоматизація процесу керування термічною обробкою залізорудних обкотишів з використанням прогнозуючих ANFIS-моделей: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.13.07 / С.А. Рубан // КТУ. – Кривий Ріг, 2011. – 20 с.
4. Лобов В. Й. Технологія віртуальних пристроїв для автоматизації виробничих процесів: навчальний посібник / В. Й. Лобов, К. В. Лобова, О. В. Митрофанов. — Кривий Ріг, 2019. — 326 с.
5. Малышева Т. Я. Технологические аспекты производства окатышей из магнетитовых руд / Т. Я. Малышева, Ю. С. Юсфин, С. В. Плотноков // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. — 2011. — № 9, — С. 3 – 5.
6. Технологическая инструкция по обжигу железорудных окатышей на обжиговой машине ОК-1-324/336. Система качества. ДСТУ ISO 9001-2001.СТП ЦГОК -11- 2010. – 19 с.
7. Development and application of pellet induration model / Bayard Beling Morales, André Carlos Contini, Leonardo Barboza Trindade, Luiz Felipe Kusler Possani, Anderson Willian de Souza Baltazar, Magno Rodrigues Ribeiro // Technical contribution to the 6th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking – ICSTI. Rio de Janeiro. 2012. P. 61–68.
8. Mathematical models of iron ore pellet induration-validation and application / Cross M.A., Bogren E.C., Wakeman J.S., Frans R.D., // Appl. Math. and Phys. Models Iron and Steel Ind. Porc. 3 rd Process Techonol. Conf., Pittsburgh, Pa, 28–31 March, 1982. Vol. 3, New York, N.Y., 1982. – Р 101–109.
9. Пирматов, Д.С. Повышение эффективности управления обжигом окатышей в конвейерной обжиговой машине [Текст] / В.А. Кривоносов, Д.С. Пирматов // Материалы научно-технической конференции информационные технологии в металлургии и машиностроении. Днепропетровск, 26 – 28 марта 2013 г. Днепропетровск: НацМетАУ, 2013. – С.50-52
10. Козак Ю. А. Нечеткая адаптивная система управления обжигом Клинкера во вращающейся печи / Ю. А. Козак, В. С. Михайленко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. — Кіровоград : КНТУ, 2012. — № 17. — С. 257 – 264
11. Пирматов, Д.С. Оптимизация режима термообработки окатышей в АСУ /ГП конвейерной обжиговой машины [Электронный ресурс] / В.А. Кривоносов, Д.С. Пирматов // «Инженерный вестник Дона», 2013, №3.
12. Толочко О.И., Федоряк Р.В. Автоматизация синтеза регуляторов и наблюдателей состояния в среде пакета MATLAB // Труды всероссийской научной конференции “Проектирование научных и инженерных приложений в среде MATLAB” – М.: ИПУ РАН, 2002. – С. 482-496.
13. Краснова С.А. Каскадный синтез наблюдателей состояния динамических систем/ С.А. Краснова, В.А. Уткин; [отв. Ред. А.П. Курдюков]; Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. –М.: Наука, 2006. – 272 с.: 38 ил. – ISBN 5-02-033678-5 (в пер.).
14. Малишев О. І. Нейронная система управления процессом обжига клинкера во вращающихся печах / О. І. Малишев, В. О. Ужеловський // Вісник ПДАБА. — 2015. — № 7. — С. 84 – 91.
15. Лобов В. Й. Нечітке управління режимом термічної обробки залізорудних котунів на конвеєрній машині / В. Й. Лобов, К. В. Лобова // Вісник приазовського державного технічного університету. — 2017. — № 34.
16. Ващенко Р. А. Советующая система управления цементной печью на основе нечетких диаграмм поведения ее узлов: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» / Р. А. Ващенко. — Белгород, 2018. — 17 с.
17. Бураков М. В. Синтез нечетких логических регуляторов / М. В. Бураков, А. С. Коновалов // Информационно – управляющие системы. — 2011. — № 1. — С. 22 – 27.

Рукопис подано до редакції 22.04.2020

К.М. КОВБИК, аспірант
Криворізький національний університет

ШЛЯХИ ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ЗМІЦНЕННЯ МАСИВУ ГІРСЬКИХ ПОРІД ПРИ РОЗРОБЦІ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН ПОКЛАДІВ КРИВОРІЗЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО БАСЕЙНУ, В УМОВАХ ВТОРИННОГО ОБВОДНЕННЯ, ЯК ДОДАТКОВИЙ ЗАХІД ДО ДРЕНАЖУ НА ОСНОВІ ЗАРУБІЖНОГО ДОСВІДУ

Відпрацювання покладів багатих залізних руд в умовах вторинного обводнення родовищ, є специфічною задачею. Оскільки існує дуже багато факторів які впливають на показники вилучення корисної копалини в даних умовах. Одна з основних проблем відпрацювання таких покладів – вода. Створюючи небезпеку ведення праці, і зменшуючи несучу здатність порід вода запобігає, своїми проявами при підземній розробці родовищ корисних копалин, повному відпрацювання блоків (панелей). Незважаючи на велику кількість вже вирішених питань в цій області є багато нюансів особливо для Криворізького залізрудного басейну.

Метою статті є огляд й аналіз вже використаних рішень щодо боротьби з водопритоком на підземних виробництвах, при будівництві тунелів, та спец. споруд. Засоби які використовувались у світі і технології на ряду с досвідом дають результати, які необхідно використовувати за для того щоб впровадити подібні технології у майбутньому, не лише в Криворізькому залізрудному басейні, але й на інших підприємства України з видобутку корисних копалин підземним способом.

Методи. Аналіз науково дослідної та методичної літератури, яка була присвячена вирішенню питання обводнення шахт у різних регіонах світу, огляд отриманих результатів, та висновків.

Наукова новизна. Удосконалена спосіб підготовки блоків до виймання в умовах вторинного обводнення родовища. За рахунок використання додаткових дренажних свердловин, захисного перекриття, та виробок для водовідведення і вентиляції.

Практична значимість. Пропонується на основі результатів впровадити технологію попереднього захисту очисних блоків (панелей) від вторинного обводнення, з використанням технології «граунтінгу», або штучного зміцнення масиву, методом задування попередньо пробурених свердловин за для повертання води у необхідному для нас напрямку.

Результати. Було розроблено варіант підготовки панелі який теоретично дозволяє попередньо захистити виймальну одиницю від потрапляння в очисний простір води.

Ключові слова: граунтінг, дренаж, вторинне обводнення, водоприток, осушення, шахтна вода, підземна розробка.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-186-190

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. З поглибленням робіт гірничо-геологічні умови стають все жорсткішими, зокрема зростає гірничий тиск, собівартість видобутку, а продуктивність виймальних блоків зменшується, якщо додати специфіку деяких покладів до обводнення під час ведення робіт, то отримаємо дуже складно-структурні до розробки ділянки родовища в яких необхідно проводити додаткові технологічні заходи щодо водозахисту робочого простору.

На теперішній підприємства Кривого Рогу, які спеціалізуються на видобуванні корисних копалин підземним способом зустрічались з такою проблемою як раптове заводнення панелі під час відробки родовища. Дане явище є небезпечним, оскільки за короткий проміжок часу несуча здатність порід різко зменшується, підвищується тиск на гірничі кріплення, та погіршуються показники вилучення корисної копалини з панелі. Погіршуються санітар-гігієнічні умови, та безпека ведення праці.

Тому є необхідність провести удосконалення існуючих технологій виїмки корисних копалин на підземному виробництві за рахунок модернізації процесів дренажу та захисту виробок для забезпечення більш стабільної роботи панелей та блоків в умовах обводнення родовищ.

Аналіз досліджень і публікацій. Основним способом осушення родовищ, який здебільшого використовується, є дренаж. Дренаж – спосіб осушення територій родовищ корисних копалин шляхом збирання й відведення підземних гравітаційних вод у річки, озера чи спеціальні гірничі виробки. У гірничій справі дренаж застосовується для захисту шахт і кар'єрів від підземних вод шляхом перехоплення їх за допомогою дренажних пристроїв у період будівництва й експлуатації. Дренажні пристрої розділяються на поверхневі, підземні і комбіновані. До поверхневих належать: вертикальні водознижувальні і водовбирні свердловини, горизонтальні дре-

нажні свердловини, голкофільтрові установки і випереджальні поверхневі траншеї, до підземних – дренажні штреки, наскрізні фільтри, підняткові свердловини, водознижувальні колодязі, а також випереджуючі виробки (горизонтальні і похилі свердловини). За схемою розташування дренажні пристрої розділяють на кушові, лінійні, контурні, сітчасті, а в розрізі також – на одно і багатогоризонтні, колекторні і безколекторні [1, 9]

Для осушення ділянки родовища а також забезпечення ефективної роботи дільниць на підземних підприємствах застосовується попередній дренаж ділянки. Тобто перед початком ведення робіт, заздалегідь. Ділянку родовища осушують, і приводять до безпечного стану, та ефективного для відпрацювання стану. Маючи на увазі що підвищена агресивність шахтних вод становить небезпеку для ведення гірничих робіт зменшуючи, тим самим, несучу здатність порід вода приводить до зниження ефективності ведення гірських робіт, підвищенню собівартості видобутку, пониженню рівня безпеки робіт [2, 3].

Удосконалення дренажу це напрямок у якому працюють по сьогоднішній день. Вже винайдений спосіб альтернативи дренажу так званий «Граутінг», або укріплення масиву.

У США підземний дренаж та «граутінг» - це два найбільш поширені способи контролю за водопритоком на підземних підприємствах та при будівництві підземних споруд. Обидва методи мають ряд переваг та обмежень на їх застосування оснований на багатьох факторах. Ці фактори включають в себе [5]:

- гідрогеологічну характеристику покладу (ділянки родовища);
- глибини ведення робіт, а також використані методи видобутку корисної копалини;
- необхідність збереження навколишнього середовища.

Існує багато ефективних способів контролю водо притоку, але лише декілька із них практичні та економічно ефективні для шахт:

- гідроізоляція земної поверхні;
- заморожування надр;
- «Граутінг» Зміцнення масиву рідким твердуючим розчином;
- підземний дренаж.

Дослідження вчених світу були пов'язані у першу чергу с дослідженням способів і технологій контролю водо притоку, а також аналітичного вибору між використанням дренажу та граутінгу.

Такі дослідники як V.Straskraba, та S.EFFNER [2] ставили питання – «Дренаж або граутінг». У роботі приведений аналіз технологій, а також інших способів контролю водо притоку: заморозка надр, гідроізоляція поверхні.

Вони зробили висновок: з поміж обраних ними способів контролю водо притоку у різних шахтах які розташовані у різноманітних кліматичних зонах, та різною гідрогеологічною характеристикою обрання способу осушення та контролю водоносних горизонтів (водо притоку) залежить від багатьох факторів.

Вони встановили що Дренажні свердловини (осушувальні колодязі) ориг. (Dewatering Wells), пройдені з поверхні можуть бути дуже ефективним засобом.

Осушування свердловин з поверхні може бути дуже ефективним для першої фази розробки шахти, під час проходки і поглиблення ствола та видобутку штольнею, якщо гідравлічна провідність осушених шарів перевищує приблизно 1×10^{-4} см/сек. Проте, свердловини з поверхні зазвичай не можуть зневоднити поклад повністю, якщо є численні дефекти, або якщо водопроникність гірських порід зменшується з глибиною залягання, що характерно для більш глибоких шахт. Перевага осушування свердловинами полягає в тому, що шахтний дренаж може бути здійснений до видобутку корисної копалини, і що забрудненість від качаної води не впливає ведення видобутку [3].

Зміцнення (Граутінг) водоносних шарів є високоефективним методом управління водою в шахтах, і багато практичних застосувань показали, що високе зниження водо притоку через захисні шари є досяжним. Завдяки впровадженню ультрафінквих і хімічних розчинів, навіть шари з низьким рівнем водопроникності ефективно зневоднені. Недоліком граутінгу є відносно висока вартість, і тому зміцнення масиву, як правило, використовується для ущільнення невеликих ділянок, наприклад, розлому або тріщинуватої зони. До впровадження цього методу управління водою слід враховувати вплив глибини та взаємодію розчину твердіючого розчину з шахтною водою.

Дослідження впливу водо притоку на стан цементного розчину при використанні технології випереджувального зміцнення масиву (pre-grouting) при проходці тунелів у міцних породах. Цим дослідженням займались: Dawei Mao, Ming Lu, Zhiye Zhao, Melvin Ng [4]. Вони встановили що невизначеності завжди переважають у прогнозуванні геологічних умов для об'єктів. Інформація пов'язана з водою, яку отримують попередньою розвідкою за допомогою свердловин, є обов'язковою перед веденням зміцнення масиву.

Брудна вода з частками глини або пісків може бути признаками ерозії порід. Приток соляних вод прискорює корозію металу та електричного обладнання і суттєво впливає на зміцнювальний розчин. Дебіт і тиск підземних вод, що вимірюються з отворів розвідувальних свердловин, є двома найважливішими параметрами і можуть розглядатися як «дзеркало» геологічних факторів, безпосередньо пов'язаних із заляганням.

Співвідношення між значеннями притоку води за допомогою розвідки та допустимих залишкових обмежень притоку вивчено з малою кількістю характеристик і випадків. Оскільки потік води у гірській масі переважно відбувається уздовж тріщин, більша кількість потоків може призвести до кількох водо несучих тріщин. Це вказує на те, що відхилення навряд чи можна уникнути, і отримати явну кореляцію неможливо. Проте збільшення кількості розвідувальних свердловин може покращити розрахунок очікуваного притоку води рис. 1. Завдяки зібраним даним є можливим досягти кращої кореляції, що може досягти практичного інженерного використання у майбутньому.

Тиск перемішування розчину сильно залежить від тиску підземних вод, а високий тиск води, у свою чергу вимагає високого тиску граутінгового обладнання, ускладнюючи зміцнення масиву [4, 5, 7, 8].

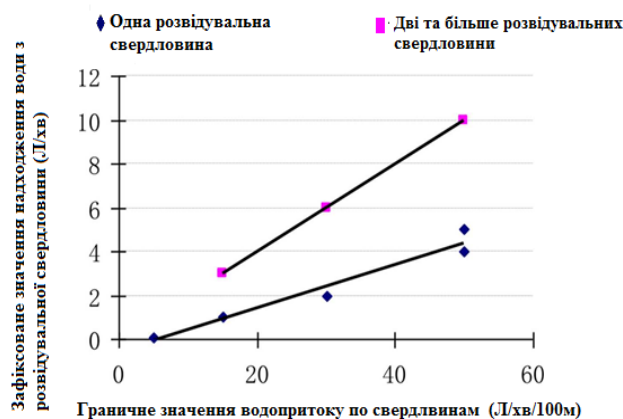


Рис. 1. Кореляція зафіксованого значення досліджуваного та залишкового граничного потоку

Також зміцнення масиву гірських порід проявило себе у будівництві тунелю «Xiang'an» під морським дном. У його роботі представлено прикладне дослідження, яке ілюструє технології граутінгу, прийняті при будівництві тунелю Сянгану в Китаї. [6].

По-перше, запропоновано концептуальну модель процесу затирання, яка включає в себе п'ять стадій типового процесу граутінгу, тобто заповнення і проникнення, граутінг основної ділянки, заточення вторинного ущільнення [10].

По-друге вводяться технології граутінгу, які використовувалися під час будівництва підводного тунелю Сяйця Сянца у високо вивіреному камені під морським дном. Було використано цементний розчин щоб посилити і закріпити скелю, а проникність зменшувалася ще більше при введенні Марітану. Ця техніка зміцнення значно зменшила проникність, укріпила надра і забезпечила стійкість ведення робіт[6].

Відзначено, що з-за властивих невизначеності геотехнічних та геологічних умов складні взаємодії між породами і матеріалом для зміцнення, параметри граутінгу (наприклад: тиск, зміцнювальні матеріали та кількість штукатурки), використовувані при будівництві, в основному визначалися з польових випробувань. Результати використання граутінгу приведені у табл. 1 [6].

Таблиця 1

Результати використання граутінгу при будівництві підводного тунелю Сяйця Сянца

Стан масиву	Вологість (%)	Щільність вологої породи (г/см ³)	Стискаємість (МПа ⁻¹)	Модуль Юнга(МПа)	Кут тертя (°)	Когезія (kPa)
До граутінгу	24,3	1,83	0,47	3,7	21,6	43,3
Після граутінгу	10-20	2,13	0,3	4,9	22	51,3

Постановка задачі. Дренаж використовується тільки при обмежених об'ємах відкачуваних забруднених вод, допускається їх зворотній скид у спеціальні резервуари та їх використання для зворотного промислового водозабезпечення. Можливості дренажу розширюються при високій ступені розбавлення забрудненої прісної чистою водою у дренажному устаткуванні.

Обмеження на дренаж визначається наступними недоліками даного способу:

високими експлуатаційними затратами на тривалу відкачку води;

можливим різким збільшенням об'ємів відкачуваних забруднених вод за рахунок зростання градієнтів на ділянках між дренажем та джерелом забруднення підземних вод, а також додаткове використання у водо оброті незабруднених вод, які змішуються при відкачуванні з забрудненими водами: альтернатива – селекційне відкачування більш ніж на одному рівні.

Переваги:

висока мобільність;

невеликі затрати на спорудження систем;

висока технічна ефективність.

Тому основною метою є - адаптувати альтернативні технології осушення та збереження виробок при відпрацюванні родовищ на основі зарубіжних результатів їх використання для умов Криворізького залізрудного басейну. Розробити рекомендації при веденні робіт в блоках с підвищеним ризиком раптового викиду води.

Викладення матеріалу та результати. На основі зарубіжного досвіду було запропоновано варіант попереднього захисту панелі від раптового потрапляння води в робочий простір методом попереднього зміцнення масиву. Пропонований варіант зображено на рис.2.

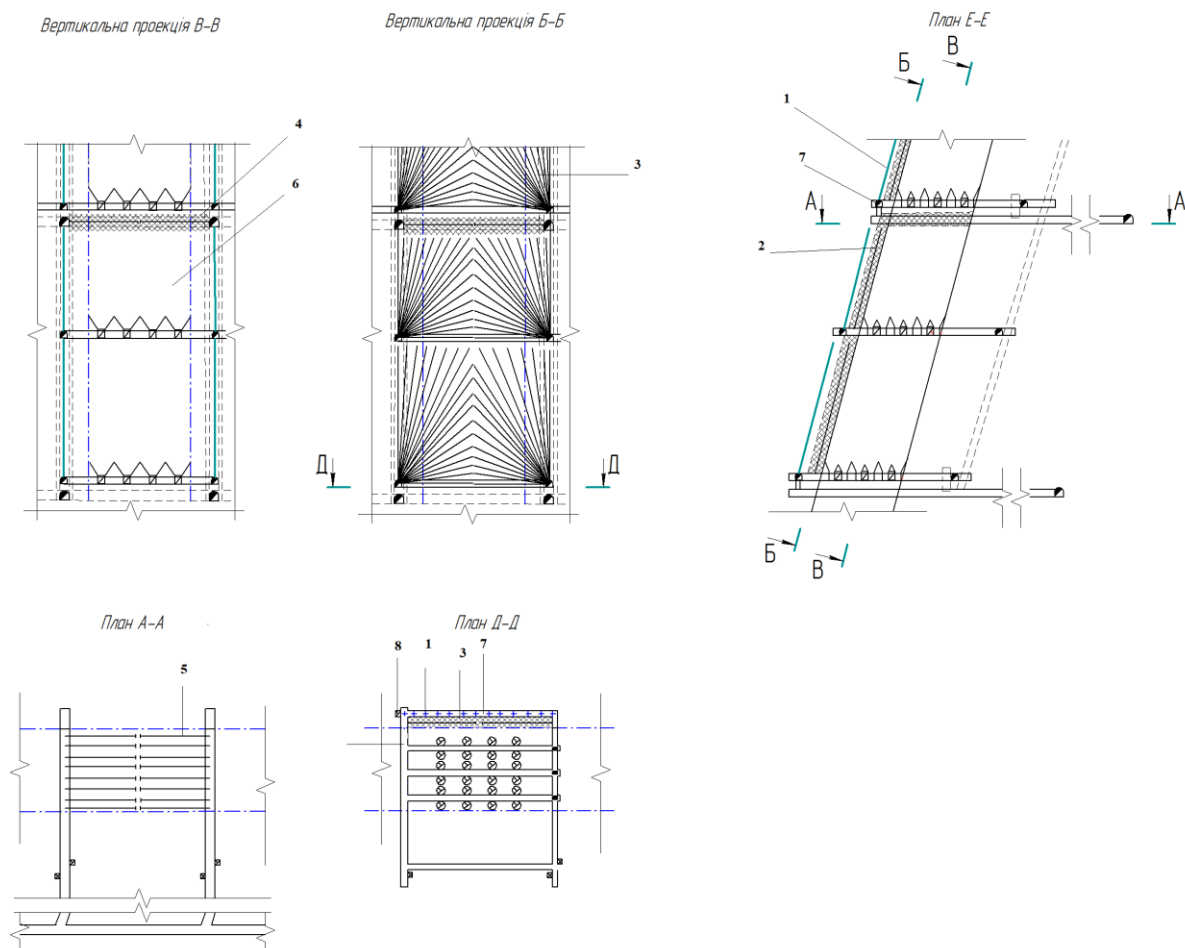


Рис. 2. Пропонований варіант захисту панелі від вторинного обводнення шляхом штучного зміцнення масиву висячого боку та стеліни при підповерхово-камерній системі: 1 - дренажна свердловина; 2 - зміцнений масив шляхом задування свердловин твердіючим розчином; 3 - свердловини для закачування розчину в висячий бік; 4 - посилена стеліна; 5 - свердловини для закачування розчину в стеліну; 6 – камера; 7 - водовідвідний-вентиляційний штрек

Даним способом пропонуємо зміцнити породи висячого-боку, а також стелини для запобігання потрапляння води в очисний простір. В теорії зміцнення допоможе зменшити кількість води яка безпосередньо просочується через породи висячого боку, та стелини. Вода, яку не захоплять дренажні свердловини 1, буде відбиватися від захисного екрану 2, та повертатися на дренаж 1, стікати у виробку 3 та перепускатися на інші горизонти для подальшого водовідведення.

Захисна стелина пройдена під кутом 3-5 градусів відносно висячого боку, що дає змогу воді з вище лежачих горизонтів «стікати» по стелині на висячий бік 2, а звідти на дренаж 1.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Для подальшого стабільного відпрацювання покладів залізних руди і не тільки умовах вторинного обводнення родовищ, необхідно удосконалювати системи водозахисту панелей при їх подальшому відпрацюванні. Тому це як одне з багатьох можливих рішень.

Даний спосіб дає змогу вести відробку родовища фактично не зважаючи на водоприток з фронту стелини та висячого боку, але не дозволяє в повній мірі захистити блок від потрапляння води з суміжних камер, а в деяких випадках лежачого боку. З недоліків слід зазначити що даний спосіб підвищить собівартість видобутку руди, але дозволить більш цілісно відпрацювати поклад.

Як подальший розвиток технології планується розробити альтернативу способу, без використання твердіючих матеріалів, за допомогою стискання порід висячого боку силою вибуху.

Список літератури

1. Електронний ресурс <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B0%D0%B6>
2. Straskraba V. and Effner S. 1998 Water control in underground mines – grouting or drainage imwa symposium Johannesburg, pp 195-212.
3. Carvalho, P., D.G. Richards, R. Fernandez-Rubio, and P.J. Norton, 1990. Prevention of Acid Mine Drainage at Neves-Corvo Mine, Portugal. International Journal of Mine Water, Vol. 9, Nos. 1,2,3, and 4.
4. K. F. Garshol, K. W. J. Tam, W. B. S. Mui, K. M. H. Chau, K. C. K. Lau, Grouting Techniques for Deep Subsea Tunnels in Hong Kong, In: Proceedings of World Tunnel Congress, 2012
5. K. Weaver, Dam foundation grouting, ASCE press, USA, 1991
6. Dingli Zhang, Qian Fang, Haicheng Lou, Grouting Eechniques for the unfavorable geological conditions of Xiang'an subsea tunnel in China; D. Zhang et al. / Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 6 (2014)
7. Kipko, E.Y., Y.A. Polozov, and O.Y. Lushinkova, 1993. Integrated Grouting and Hydrogeology of Fractured Rock in the Former USSR. Published by the U.S Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Denver, Colorado
8. Heinz, W.F., 1997. Cover Grouting : A Rational Approach. Proceedings of The 6th International Mine Water Congress, Bled, Slovenia.
9. Горная энциклопедия / Гл. ред. Е.А. Козловский; Ред.кол.: М.И. Агошков, Н.К. Байбаков, А.С. Болдырев и др. - М.: Сов. Энциклопедия. Т.3. Кенчан - ОПТ. 1987, 592с.
10. Nel, P.J.L., 1997. A Critical Overview of a Completed Shaft Project and the Disposal of Excessive Water inflows into the Upcast Ventilation Compartment. Proceedings of The 6th International Mine Water Congress, Bled, Slovenia.

Рукопис подано до редакції 10.04.2020

УДК 691.4:622.223.74

М.Л. ЗОЦЕНКО, д-р техн. наук, проф., О.В. МИХАЙЛОВСЬКА, канд. техн. наук, доц.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

О.Б. ОЛЕКСІЄНКО, канд. техн. наук

Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

ТЕХНОЛОГІЧНЕ РІШЕННЯ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ

Мета. Запропонувати ефективне технологічне рішення влаштування шламосховища для захоронення відходів, обґрунтувати параметри співвідношення ґрунту майданчика та бурового шламу при заповненні сховища відходів.

Методи. Використано експериментальне визначення значень оптимальної вологості для співвідношення суміші бурового шламу та суглинку 60:40 при заповненні шламосховища.

Наукова новизна. Авторами пропонується шламосховище влаштовувати із вертикальною протифільтраційною завісою із ґрунтоцементу за допомогою технології виготовлення ґрунтоцементних елементів за бурозмішувальною технологією без виймання ґрунту. Таким чином отримуємо циліндричні ґрунтоцементні елементи діаметром 0,3 – 0,8 м і довжиною до 30 м. Після твердіння ґрунтоцементних елементів по периметру шламосховища виконується

виймка до 60% масиву ґрунту та його укладання шарами, чергуючи з буровим шламом. Протифільтраційна завіса по типу «стіна в ґрунті» з ґрунтоцементних елементів заглиблюється у водотрив на глибину не менше 1 м з метою забезпечення відсутності фільтрації. Важливим фактором проектування сховища є вибір місця розташування сховища при умові наявності водотривкого шару на оптимальній глибині від поверхні (8-20 м). Розміри ґрунтоцементних елементів та розміри гідроізоляції днища визначаються на стадії робочого проектування стосовно до конкретної ділянки будівництва, з урахуванням категорії ґрунту, глибини залягання ґрунтових вод. Після заповнення шламосховища рекомендовано влаштувати покриття із ґрунтоцементу, яке вкладається на загущений до тугопластичної консистенції буровий шлам із додаванням ґрунту майданчика будівництва. Після тужавіння ґрунтоцементу покриття шламосховища засипають шаром родючого ґрунту.

Практична значимість виконаної роботи полягає в обґрунтуванні технологічного рішення шламосховища для захоронення відходів та співвідношенні бурового шламу до ґрунту

Результати. Розроблено та обґрунтовано доцільність застосування технологічного рішення влаштування шламосховища для захоронення відходів. Запропоновано наповнювати шламосховище сумішшю бурового шламу та ґрунту майданчика з чергуванням шарів ґрунту та бурового шламу. Визначено середнє значення оптимальної вологості суміші для влаштування перекриття із ґрунтоцементу при співвідношенні бурового шламу до ґрунту 60:40.

Ключові слова: шламосховище, ґрунтоцемент, бурозмішувальна технологія, масив ґрунту, ущільнення.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-190-194

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Проблема ліквідації відходів буріння є, безперечно, актуальною. На даний час частіше застосовують метод захоронення відходів. Захоронення відходів нафтогазової промисловості проводять у спеціально відведених місцях, глибоких підземних сховищах, у земляних шламосховищах на території проведення робіт. Для попередження попадання в ґрунт, поверхневі й підземні води токсичних відходів буріння й експлуатації нафтогазових свердловин обов'язковим запобіжним заходом вважається будівництво в межах ділянки буріння земляних шламових амбарів, у які збирають токсичні відходи. Розміри амбарів визначаються проектом і повинні відповідати обсягам відходів буріння свердловини. Умови будівництва шламових амбарів та їх конструкція залежать від інженерно-геологічних умов площі, виділеної під будівництво свердловини, та характеристик ґрунтів цієї площі [1,13].

Аналіз досліджень і публікацій. Важливим при влаштуванні шламосховищ є забезпечення гідроізоляції їхнього днища та стінок. Для цього застосовують профільтраційні екрани (бетонування, геомембрани [1,2], матеріали на основі синтетичного полотна тощо). Однак екрани з цих матеріалів не досить довговічні та їх пошкодження при контакті з хімічними речовинами призведе до негативних екологічних наслідків.

Качала Т.А. пропонує використати при будівництві стінок амбару композиційний матеріал на основі синтетичної тканини (полотна), модифікованої з обох сторін полімерно-бітумним в'язким з високими термопластичними та гідроізоляційними властивостями [4] (рис. 1).

Тимофеева К.А. пропонує влаштування шламового амбару із ґрунтоцементу за допомогою технології виготовлення ґрунтоцементних елементів за бурозмішувальною технологією без виймання ґрунту [1,2].



Рис. 1. Загальний вигляд шламових амбарів [8]

За запропонованою технологією по периметру шламового амбару буряться свердловини. Ці свердловини наповнюються ґрунтоцементом, що являє собою захисний екран від ґрунтових вод. Потім риється котлован, дно якого гідроізолюється за такою ж технологією [1]. Також відомий спосіб улаштування днища котловану із ґрунтоцементу, який змічують окремо в бетонозмішувачі та наливають суцільним шаром на дно амбару [2]. Такий шламовий амбар влаштовується відкритим. Він має по периметру обвалування з мінерального ґрунту висотою не менше 0,5 м і дротову огорожу. Цей спосіб є трудомістким, та головним недоліком такого рішення є те, що амбар є відкритим.

Також можливо влаштовувати шламовий амбар з протифільтраційною завісою по типу «стіна у ґрунті». Протифільтраційна завіса по типу «стіна у ґрунті» з ґрунтоцементних елементів заглиблюється у водотривкий шар ґрунту, що дає можливість не влаштовувати протифільтраційний екран дна шламового амбару, функцію якого буде виконувати водотривкий шар ґрунту [2,7]. Така конструкція дна буде більш економічною. Недоліком такої конструкції буде, те що амбар проектується відкритим. В такому випадку не виключена можливість випаровування шкідливих речовин та нещасних випадків. Таким чином, виникає необхідність у влаштуванні покриття шламосховища.

Постановка задачі. Таким чином постає завдання розроблення конструктивного рішення ефективного, економічного та безпечного шламосховища з протифільтраційним екраном із ґрунтоцементу та влаштування його покриття..

Викладення матеріалу та результати. Ґрунтоцемент є сумішшю глинистого ґрунту, цементу та води. Основним фактором у перетворенні властивостей ґрунту є цемент, який є полідисперсною і полімерною системою, яка після додавання води утворює камнеподібний матеріал. Відомі дослідження щодо впливу агресивних складових бурового шламу на ґрунтоцемент, що показали, що з часом міцність ґрунтоцементу з часом збільшується (з марки W4 до W6), що свідчить про стійкість ґрунтоцементу до агресивних компонентів бурового шламу [5].

Тому авторами пропонується стіни котловану шламосховища гідроізолювати вертикальною протифільтраційною завісою із ґрунтоцементу за допомогою технології виготовлення ґрунтоцементних елементів за бурозмішувальною технологією без виймання ґрунту по типу «стіна у ґрунті». Стінки шламосховища заглиблювати у водотривкий шар ґрунту. При цьому шламосховище влаштувати закритим.

Вибір технології влаштування ґрунтоцементних елементів проводиться згідно з техніко-економічним обґрунтуванням [6]. Розміри ґрунтоцементних елементів та розміри гідроізоляції дна визначаються на стадії робочого проектування стосовно до конкретної ділянки будівництва, з урахуванням категорії ґрунту, глибини залягання ґрунтових вод.

Будівництво довічного шламосховища виконується наступним чином. За периметр запланованого шламосховища споруджується монолітна вертикальна протифільтраційна завіса по типу «стіна в ґрунті» з ґрунтоцементних елементів (рис.2) [7,11].

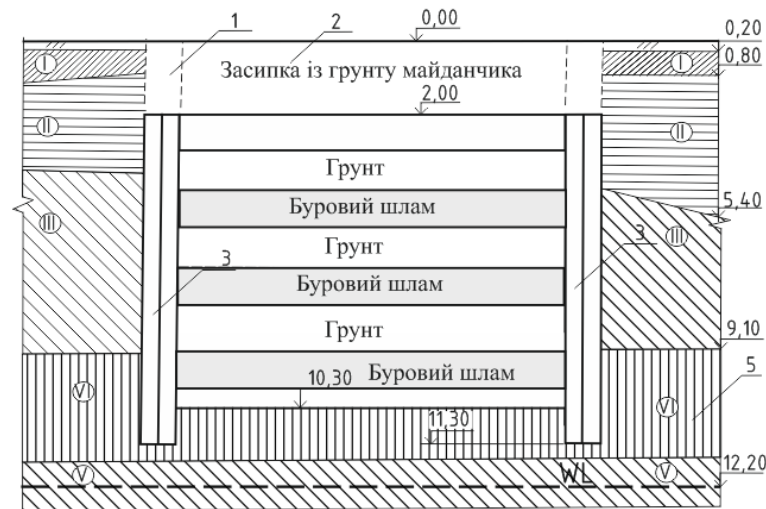


Рис. 2. Довічне шламосховище

Відстань між центрами сусідніх елементів повинна дорівнювати $0,8d$ (d – діаметр ґрунтоцементних елементів).

Ґрунтоцементні елементи виготовляються бурозмішувальним методом, який полягає в тому, що за допомогою спеціального обладнання виконується розпушування ґрунту без його виймання. Цей спосіб полягає у тому, що за допомогою обладнання ґрунт розпушують в границях свердловини без виймання ґрунту. Одночасно в цей ґрунт нагнітають водо-цементну суспензію, перемішують і ущільнюють ґрунтоцементну суміш. Елементи в складі екрану виконують через один, щоб через 1-3 діб виготовити ті, що пропустили. Таким чином отримують щільний суцільний екран. Рідка і важка ґрунтоцементна суміш з самого початку буріння заповнює сверд-

ловину і є надійною перешкодою руйнуванню її стінок. Після твердіння ґрунтоцементу маємо достатньо жорсткий екран.

Таким чином отримуємо циліндричні ґрунтоцементні елементи діаметром 0,3 – 0,8 м і довжиною до 30 м [2,7]. Протифільтраційна завіса по типу «стіна в ґрунті» з ґрунтоцементних елементів заглиблюється у водотрив на глибину не менше 1 м з метою забезпечення відсутності фільтрації. Важливим фактором проектування сховища є вибір місця розташування сховища при умові наявності водотривкого шару на оптимальній глибині від поверхні (8 – 20 м).

Після твердіння ґрунтоцементних елементів по периметру шламосховища виконується виїмка до 60% масиву ґрунту [2,3,7]. Заповнення довічного шламосховища відходами буріння здійснюють після тужавіння ґрунтоцементу. Термін тужавіння у зволоженому стані триває 28 діб. З часом міцність та водонепроникність ґрунтоцементу збільшуються. В міру наповнення шламосховища виконують пошарове пересипання ґрунту та відходів буріння у шламосховищі до тугопластичної консистенції. Пошарове додавання ґрунту до бурового шламу виконується з метою загушення відходів та влаштування покриття із ґрунтоцементу зверху шламосховища. Покриття із ґрунтоцементу укладають безпосередньо на загушені до тугопластичної консистенції відходи буріння. Ґрунтоцемент виготовляється на майданчику будівництва в горизонтальному бетонозмішувачі безперервної дії із ґрунту (суглинки, супісок), портландцементу марки 400 в кількості 20% від ваги сухого ґрунту та води і за допомогою розчинонасосу укладається на загушені відходи буріння рівномірним шаром товщиною не менше 0,8 м. Після тужавіння ґрунтоцементу покриття шламосховища засипають шаром родючого ґрунту товщиною не менше 1,5 м. Після виконання перелічених робіт територію над шламосховищем можливо використовувати у сільськогосподарських цілях [3,7].

Розмір довічного шламосховища і його об'єм, профіль і глибина визначаються на стадії робочого проектування стосовно конкретної ділянки з урахуванням категорії ґрунту, глибини залягання ґрунтових вод, глибини залягання водотриву та інших характеристик.

Дослідження характеристик ґрунту та визначення оптимальної вологості проводили з буровим шламом Яблунівського нафто-газоконденсатного родовища св. № 355. Буровий шлам мав густину $1,49 \text{ г/см}^3$, об'єм осаду 1,5 мл, вміст твердих частинок склав 3%, водневий показник $\text{pH } 6,71$. Для досліджень відбирали суглинок тугопластичний з глибини 2 м. Середня вологість зразків ґрунту склала близько $W = 0,2$.

За результатами лабораторних досліджень визначено, що буровий шлам мав середню вологість зразків ґрунту $W = 0,50$. Його вологість на межі текучості $W_L = 0,36$, вологість на межі розкочування $W_p = 0,21$.

Було визначено, що даний буровий шлам відноситься до суглинку текучого. Дослідження проведено за стандартними лабораторними методиками дослідження ґрунтів згідно ДСТУ Б В.2.1-17: 2009 [8].

Склад ґрунту при рівних умовах, здійснює вагомий вплив на інтенсивність процесу ущільнення та на його кінцеві результати. Збільшення кількості вільної води, що не має вязких властивостей, що дозволяє частинкам ґрунту переміщуватися відносно один одного, що призводить до зменшення опору переміщення частинок при дії зовнішнього навантаження. При однаковій вологості кількість вільної води залежить від складу ґрунту.

При постійних значеннях початкової вологості ґрунту та питомого об'єму скелету ґрунту більша інтенсивність ущільнення відповідає сумішам ґрунту, що мають більшу кількість вільної води тобто ґрунтам з меншою глинистістю [9].

Мінеральний склад глинистої фракції також визначає властивості скелету ґрунту при взаємодії з водою. Найбільшу поверхневу активність і гідрофільність мають глинисті мінерали з рухомою кристалічною решіткою, що здатні утримувати воду не тільки на поверхні, але і міжпакетному просторі кристалічної решітки. Тому при однаковому відсотковому вмісті глинистої фракції найбільш високі значення оптимальної вологості будуть мати ґрунти з монтморилонітової глинистої складової, наднизькі - каолінітові.

Дослідження В.І. Біруля, були направлені на встановлення взаємозв'язку між оптимальними за стандартним ущільненням вологостями й верхніми межами пластичності відповідних ґрунтів за допомогою перехідних коефіцієнтів. У результаті обробки даних за 572 зразками ґрунтів різного походження й гранулометричного складу була отримана формула В.І. Бірулі

$$W_{opt} = 1,5(0,5W_L - 0,25I_p - 0,01). \quad (1)$$

Значення оптимальної вологості визначали для співвідношення суміші бурового шламу та суглинку 60:40. Значення оптимальної вологості можливо отримати за розрахунками відповідно до методики В.І. Бірулі – 0,25. Характеристики суміші ґрунту визначали в лабораторних умовах.

Тому для суміші, що розглядається, були визначені значення оптимальної вологості і оптимальної щільності скелету, відповідно до методики стандартного ущільнення ґрунтів [10], за допомогою стаціонарного механізованого приладу для динамічного ущільнення ґрунтів МДУ-1 [11]. Середнє значення оптимальної вологості суміші для влаштування перекриття із ґрунтоцементу при співвідношенні бурового шламу до ґрунту 60:40 склало 0,26 – 0,27.

Висновки та напрямок подальших досліджень.

1. Наведений спосіб створення технологічного рішення влаштування шламосховища може використовуватись на будь-якій території, однак важливим фактором проектування сховища є вибір місця розташування сховища при умові наявності водотривкого шару на оптимальній глибині від поверхні (8-20 м).

2. Перевагами конструкції шламосховища з влаштуванням покриття із ґрунтоцементу, яке вкладається на загушений до тугопластичної консистенції буровий шлам із додаванням ґрунту майданчика будівництва є низька вартість виготовлення за рахунок використання водотривкого шару ґрунту в якості днища споруди [12-14]. Після тужавіння ґрунтоцементу покриття шламосховища засипають шаром родючого ґрунту. Таким чином можливе вирішення проблеми утилізації викинутого при будівництві шламосховища ґрунту.

3. Пропонується наповнювати шламосховище сумішшю бурового шламу та ґрунту майданчика (в умовах Полтавської області – суглинок тугопластичний) з чергуванням шарів ґрунту та бурового шламу. Середнє значення оптимальної вологості суміші для влаштування перекриття із ґрунтоцементу при співвідношенні бурового шламу до ґрунту 60:40 склало близько 0,27.

Список літератури

1. Тимофєєва К.А. Ґрунтоцементні сховища для токсичних відходів буріння та експлуатації нафтогазових свердловин [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.02 / Тимофєєва Катерина Анатоліївна ; Полтава, нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. - Полтава, 2016. - 22 с. : рис., табл
2. Шламований амбар для токсичних відходів буріння та експлуатації нафтогазових свердловин. №71256 МПК E02D 5/22 Україна / М.Л. Зоценко, К.А. Тимофєєва – № у 2011 14845; Заявл. 14.12.2011; Опубл. 10.07.2012. – Бюл. – 2012. – №13. – 4 с.
3. Шламований амбар із суцільним ґрунтоцементним протифільтраційним екраном для накопичування і захоронення токсичних відходів буріння та експлуатації нафтогазових свердловин. №87868 МПК E02D 31/00 Україна / К.А. Тимофєєва – № у 2013 09675; Заявл. 05.08.2013; Опубл. 25.02.2014. – Бюл. – 2014. – №4. – 4 с.
4. Спосіб створення екологічної модифікації нафтошламового амбара. №103876 МПК E02D 31/00, МПК B09C 1/10 Україна / Т.Б. Качала. – № у 2015 03770; Заявл. 21.04.2015; Опубл. 12.01.2016. – Бюл. – 2016. – №1. – 4 с.
5. Зоценко, Н.Л., Тимофєєва, К.А. Шламові амбари для відходів буріння й експлуатації нафтогазових свердловин з ґрунтоцементним протифільтраційним екраном. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування (2(66)). рр. 337-345
6. Бурові ґрунтоцементні палі, які виготовляються за бурозмішувальним методом: Монографія / М.Л. Зоценко, Ю.Л. Винников, В.М. Зоценко. – Харків: Друкарня Мадрид, 2016. – 94 с.
7. Шламований амбар з протифільтраційною завісою по типу "стіна у ґрунті". № 101183 МПК E02D 31/00 Україна / М.Л. Зоценко, К.А. Тимофєєва – № у 2015 02987; Заявл. 31.03.2015; Опубл. 25.08.2015. – Бюл. – 2015. – №16. – 4 с.
8. Строительство шламового амбара с применением СС Hydro, <https://uccr.su/news/articles/357/>
9. Аблєєва І.Ю., Пляцук Л.Д., Будьоний О.П. Дослідження складу та структури бурового шламу з метою обґрунтування вибору методу його подальшої утилізації// Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 2/2014 (85). С172-178.
10. ДСТУ Б В.2.1-17: 2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. Прийнятий: 22.09.2009 р. Дата введення: 01.10.2010 р. – 32 с.
11. Спосіб влаштування довічного шламосховища для токсичних відходів. №140153 МПК E02D 29/00, МПК E02D 31/00 Україна / М.Л. Зоценко, О.В. Михайловська – № у 2019 07230; Заявл. 01.07.2019; Опубл. 10.02.2020. – Бюл. – 2020. – №3. – 4 с.
12. Михайловська О.В. Влаштування довічного шламосховища відходів / О.В. Михайловська, М.Л. Зоценко // Безпека в сучасному світі: матеріали Міжнар. наук. конф., 27-28 вер. 2019 р. – Дніпро : Охотник, 2019. – С .139-140.
13. Застосування ґрунтоцементу як протифільтраційного екрана амбарів-шламонакопичувачів для відходів буріння та експлуатації нафтогазових свердловин. №74018 МПК E02D 29/09, МПК E02D 27/32 Україна / К.А. Тимофєєва. – № у 2012 04835; Заявл. 17.04.2012; Опубл. 10.10.2012. – Бюл. – 2012. – №19. – 4 с.
14. Михайловська О.В. Особливості будівництва довічного шламосховища токсичних відходів при бурінні свердловин / О.В. Михайловська, М.Л. Зоценко / Збірник наукових праць за матеріалами III Міжнародної українсько-азербайджанської конференції «Building innovations – 2020». – Полтава: Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2020. С 182-184.
15. Михайловська О.В. Влаштування шламосховища для токсичних відходів буріння свердловин/ Матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні».Перспективи інвестування. 7-11 жовтня 2019 р. Т2. С 144-146.http://conf.dkz.gov.ua/files/2019_materials_vol_2_net.pdf

Рукопис подано до редакції 15.04.2020

АНОТАЦІЇ

УДК 004.89:620.91

Моркун В.С., Котов І.А. Формування оцінки економічної ефективності інтелектуалізації оперативного управління нормальним режимом енергосистеми на основі інкорпорації професійних онтологій

Мета. Виклад практичних результатів оцінки економічної ефективності впровадження програмних засобів системи підтримки прийняття рішень (СППР) оперативно-диспетчерського персоналу (ОДП) електроенергетичної системи (ЕЕС). У статті розглянуті завдання комплексної оцінки середніх річних обсягів трудовитрат і фінансових витрат зміни ОДП для варіантів без використання і з використанням програмного комплексу СППР, проведений розрахунок економічної ефективності розробки і впровадження комп'ютерних засобів СППР в середу автоматизованої системи диспетчерського управління (АСДУ) ЕЕС, заснованих на використанні інкорпорації професійних онтологій. Проблема впровадження програмних засобів інтелектуалізації управління режимами ЕЕС є актуальною.

Методи дослідження полягають у використанні моделі впровадження і функціонування програмного комплексу СППР в середу діючої АСДУ ЕЕС. Розглянуто дві моделі оцінки економічної ефективності АСДУ – без використання СППР і з впровадженням інтелектуальних програмних засобів в апаратно-програмний оперативний інформаційно-управляючий комплекс (ОІУК) АСДУ.

Наукова новизна полягає в формалізації і використанні нових деталізованих критеріїв оцінки обсягів трудовитрат зміни ОДП, які дозволяють інтегрально оцінювати як часові, так і кількісні показники трудовитрат керуючого персоналу. Наочно показані зміни річних трудовитрат при впровадженні програмних засобів інтелектуалізації управління ЕЕС на основі інкорпорації професійних онтологій.

Практична значимість роботи полягає в формуванні комплексу кількісних показників трудових і фінансових витрат при реалізації інтелектуальних засобів підтримки керуючих рішень, що дає можливість практично оцінити економічну ефективність впровадження засобів СППР, заснованої на базі знань (БЗ) професійних онтологій диспетчерського управління.

Результати роботи полягають в оцінці витрат на впровадження СППР в середу АСДУ ЕС, розрахунку середніх річних обсягів трудовитрат зміни ОДП для варіантів без використання і з використанням програмного комплексу СППР, визначенні річних витрат автоматизованої обробки даних зміни ОДП для варіантів без використання і з використанням програмного комплексу СППР, розрахунку економічної ефективності розробки і впровадження комп'ютерних засобів СППР в середу діючої АСДУ ЕЕС, заснованих на використанні інкорпорації фахових онтологій.

Ключові слова: енергосистема, онтологія, база знань, інкорпорація, ефективність, управління, трудомісткість

Моркун В.С., Котов І.А. Формирование оценки экономической эффективности интеллектуализации оперативного управления нормальным режимом энергосистемы на основе инкорпорации профессиональных онтологий

Цель. Изложение практических результатов оценки экономической эффективности внедрения программных средств системы поддержки принятия решений (СППР) оперативно-диспетчерского персонала (ОДП) электроэнергетической системы (ЭЭС). В статье рассмотрены задачи комплексной оценки средних годовых объемов трудозатрат и финансовых затрат смены ОДП для вариантов без использования и с использованием программного комплекса СППР, произведен расчет экономической эффективности разработки и внедрения компьютерных средств СППР в среду автоматизированной системы диспетчерского управления (АСДУ) ЭЭС, основанных на использовании инкорпорации профессиональных онтологий. Проблема внедрения программных средств интеллектуализации управления режимами ЭЭС является актуальной.

Методы исследования заключаются в использовании модели внедрения и функционирования программного комплекса СППР в среду действующей АСДУ ЭЭС. Рассмотрены две модели оценки экономической эффективности АСДУ – без использования СППР и с использованием интеллектуальных программных средств в апаратно-программном оперативном информационно-управляющем комплексе (ОИУК) АСДУ.

Научная новизна заключается в формализации и использовании новых детализированных критериев оценки объемов трудозатрат смены ОДП, которые позволяют интегрально оценивать как временные, так и количественные показатели трудозатрат управляющего персонала. Наглядно показаны изменения годовых трудозатрат при внедрении программных средств интеллектуализации управления ЭЭС на основе инкорпорации профессиональных онтологий.

Практическая значимость работы заключается в формировании комплекса количественных показателей трудовых и финансовых затрат при реализации интеллектуальных средств поддержки управляющих решений, что дает возможность практически оценить экономическую эффективность внедрения средств СППР, основанной на базе знаний (БЗ) профессиональных онтологий диспетчерского управления.

Результаты работы заключаются в оценке затрат на внедрение СППР в среду АСДУ ЭЭС, расчета средних годовых объемов трудозатрат смены ОДП для вариантов без использования и с использованием программного комплекса СППР, определении годовых расходов автоматизированной обработки данных смены ОДП для вариантов без использования и с использованием программного комплекса СППР, расчета экономической эффективности разработки и внедрения компьютерных средств СППР в среду действующей АСДУ ЭЭС, основанных на использовании инкорпорации профессиональных онтологий.

Ключевые слова: энергосистема, онтология, база знаний, инкорпорация, эффективность, управление, трудоемкость

Morkun V.S., Kotor I.A. Forming evaluation of economic efficiency intelligent operational management of the normal mode of the energy system based on the incorporation of professional ontologies

Purpose. To present the practical results of evaluating the economic efficiency of the implementation of software of the decision support system (DSS) of the operational dispatching personnel (ODP) of the electric energy system (EES). The article considers the tasks of a comprehensive assessment of the average annual labor and financial costs of brigade the ODP for options without using and using the DSS software package, calculates the economic efficiency of the development and implementation of DSS computer tools in the environment of an automated dispatch control system (ADCS) of electric power plants based on the use of incorporation of professional ontologies. The problem of introducing software for the intellectu-

alization of EES mode control is relevant.

Research methods consist in using the model of implementation and functioning of the DSS software complex in the environment of the existing ADCS EES. Two models for assessing the economic efficiency of ADCS are considered - without the use of DSS and with the use of intelligent software in the hardware-software operational information management complex (OIMC) ADCS.

Scientific novelty. The formalization and use of new detailed criteria for assessing the volume of labor costs for brigade the ODP, which allow us to integrally evaluate both temporal and quantitative indicators of the labor costs of managing personnel. Changes in annual labor costs during the implementation of software for intellectualization of EES management based on the incorporation of professional ontologies are clearly shown.

Practical value. The formation of a complex of quantitative indicators of labor and financial costs in the implementation of intelligent means of supporting management decisions, which makes it possible to practically evaluate the economic efficiency of implementing DSS tools based on the knowledge (KB) of professional ontologies of supervisory control.

Results. Estimating the costs of implementing the DSS on environment of the ADCS EES, calculating the average annual volume of labor costs for brigade the ODP for options without using and using the DSS software complex, determining the annual costs of the automated processing of data for brigade ODP for options without using and using the DSS software complex, calculation of the economic efficiency of the development and implementation of DSS computer tools in the environment of the current ADCS EES based on the use of the incorporation of a profession ontologies.

Key words: energy system, ontology, knowledge base, incorporation, efficiency, management, labor input

УДК 004.77

Чубаров В.А., Костенко В.В. Проблема некоректної комутації Ethernet кадрів у мережевих комутаторах рівня доступу

Метою роботи є мінімізація впливу помилкової комутації Ethernet кадрів мережевих комутаторів на якість обслуговування абонентів та автоматизація процесу виявлення моментів, коли в Ethernet комутаторі виникає hash conflict.

Методи дослідження. В представленій роботі виконано детальний технічний аналіз факторів і умов, які впливають на ефективність комутації Ethernet кадру в комутаційній матриці. На основі експерименту доведено, що у результаті помилкової комутації відбуваються втрати Ethernet кадрів, інформація потрапляє в інший порт абонента, що викликає спрацювання комерційного обмеження, яке накладається на порт, з урахуванням обраного абонентом тарифного плану, а також зниження якості обслуговування сервісу, який надається абоненту.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає в тому, що даний метод дозволить мінімізувати вплив помилкової комутації без фізичної перебудови топології діючої комп'ютерної мережі і заміни частини, або усього мережевого обладнання як рівня доступу, також і рівня агрегації. Додаткові фінансові витрати на придбання обладнання при цьому не передбачені.

Практична значимість. Виключення ймовірності втрати пакетів в комутаторі через помилкове потрапляння не запитаної інформації в порт абонента, в результаті чого могла відбуватись деградація якості обслуговування абонентів.

Результати. На підставі виконаних досліджень та встановлених залежностей запропонована організація поділу, сегментування і логічної ізоляції абонентського трафіку, який може потрапляти в абонентські порти в разі помилкової комутації Ethernet кадрів. Одночасно з моніторингом бази даних завантаження портів, було ухвалено рішення включення команди show flood_fdb у базу даних подій. Таким чином, щоразу, коли комутатор сам у себе своїми засобами виявляє конфлікт hash, у базу даних потрапляє й фіксується ця подія. Це дозволяє автоматизувати процес виявлення моментів, коли в комутаторі виникає hash conflict.

Ключові слова. Ethernet кадр, MAC-адреси, hash конфлікт, комутаційна матриця.

Чубаров В.А., Костенко В.В. Проблема некорректной коммутации Ethernet кадров в сетевых коммутаторах уровня доступа

Целью работы является минимизировать влияние ошибочной коммутации Ethernet кадров сетевых коммутаторов на качество обслуживания абонентов и автоматизировать процесс выявления моментов, когда в Ethernet коммутаторе возникает hash conflict.

Методы исследования. В представленной работе выполнен детальный технический анализ факторов и условий, влияющих на эффективность коммутации Ethernet кадра в коммутационной матрицы. На основе эксперимента доказано, что в результате ошибочной коммутации происходят потери Ethernet кадров, попадание информации в другой порт абонента, это вызывает срабатывание коммерческого ограничения, которое накладывается на порт, с учетом выбранного абонентом тарифного плана, а также снижение качества обслуживания сервиса предоставляемого абоненту.

Научная новизна. Научная новизна заключается в том, что данный метод позволит минимизировать влияние ошибочной коммутации без физической перестройки топологии действующей компьютерной сети и замены части или всего сетевого оборудования как уровня доступа, также и уровня агрегации. Никаких дополнительных финансовых затрат на приобретение оборудования при этом не требуется.

Практическая значимость. Исключение вероятности потери пакетов в коммутаторе через ложного попадания не востребованы информации в порт абонента, в результате чего могла происходить деградация качества обслуживания абонентов.

Результаты. На основании выполненных исследований и установленных зависимостей предложена организация разделения, сегментирования и логической изоляции абонентского трафика, который может попадать в абонентские порты в случае ошибочной коммутации Ethernet кадров. Одновременно с мониторингом базы данных загрузки портов, было принято решение включения команды show flood_fdb в базу данных событий. Таким образом, каждый раз когда коммутатор сам в себя своими средствами обнаруживает конфликт hash, в базу данных попадает и фиксируется это событие. Это позволит автоматизировать процесс выявления моментов, когда в коммутаторе возникает hash conflict.

Ключевые слова. Ethernet кадр, MAC-адреса, hash конфликт, коммутационная матрица.

Chubarov V.A., Kostenko V.V. The problem of incorrect switching of Ethernet frame in network access levels

Purpose. To minimize the impact of erroneous switching of Ethernet frames of network switches on the quality of service of subscribers and to automate the process of detecting the moments when a hash conflict occurs in an Ethernet switch.

Research methods. In the presented work, a detailed technical analysis of the factors and conditions that have been made affect the Ethernet frame switching efficiency in the switching matrix. On the basis of the experiment it is proved that as a result of erroneous switching, Ethernet frames are lost, information gets to another port of the subscriber;

Scientific novelty. The scientific novelty is that this method will minimize the impact of false switching without physically restructuring the topology of the existing computer network, and without replacing the equipment. No additional financial costs are required.

Practical value. The exception of the possibility of packet loss in the switch due to the erroneous entry of unrequested information into the subscriber port, which could result in degradation of the quality of customer service.

Results. On the basis of the performed researches and established dependencies, the organization of division, segmentation, and logical isolation of subscriber traffic, which can get into the subscriber ports in case of erroneous switching of Ethernet frames, is proposed. At the same time as monitoring the port loading database, the decision was made to include the show flood_fdb command in the event database. That way, every time a switch detects a hash conflict on its own, the database hits and records this event. This will automate the process of detecting when a hash conflict occurs in the switch.

Key words. Ethernet frame, MAC addresses, hash conflict, switching matrix.

УДК 622.235

Фролов О.О., Пикало В.М. Удосконалення методики визначення раціонального діаметру свердловин для буропідричних робіт

Мета. Метою роботи є встановлення найбільш раціонального діаметра свердловинного заряду вибухової речовини для конкретних гірничо-геологічних умов відпрацювання родовища.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети в представлених дослідженнях використано: метод комплексного аналізу – для аналізу та узагальнення попередніх наукових досліджень щодо вибору та встановлення найбільш раціональних діаметрів свердловинних зарядів на кар'єрах; аналітичний та графоаналітичний методи – для удосконалення методики визначення діаметра свердловинного заряду при проведенні буропідричних робіт на кар'єрах в гірських масивах з різним ступенем тріщинуватості.

Наукова новизна. Наукова новизна результатів досліджень полягає в тому, що, на підставі представленої аналітичної залежності, отримано графіки зміни вартості буропідричних робіт для різних діаметрів свердловинного заряду вибухової речовини. Вони дозволяють встановити найбільш раціональні діаметри свердловин в кар'єрі при заданих умовах з урахуванням різного ступеня тріщинуватості гірського масиву.

Практична значимість. Результати досліджень дозволяють для встановлених гірничо-геологічних та технологічних умов розробки родовища корисних копалин визначити раціональний діаметр вибухових свердловин на основі врахування техніко-економічних показників роботи підприємства.

Результати. За результатами виконаних досліджень встановлено, що діаметр свердловинного заряду є одним з найбільш важливих параметрів регулювання ступеня дроблення, а його вибір залежить від міцності та тріщинуватості порід. Запропоновано удосконалену методику визначення раціонального діаметру свердловин для буропідричних робіт на кар'єрах. Отримано вираз, який пов'язує вартісні показники буріння і підривання з основними технологічними показниками буропідричних робіт, в тому числі з діаметром свердловинного заряду. Для гірничо-геологічних умов кар'єру побудовані залежності між діаметром свердловинного заряду вибухової речовини та вартістю буропідричних робіт для різних гірських порід з різним ступенем тріщинуватості. Встановлені раціональні діаметри свердловинного заряду при виконанні бурових робіт станками СБШ-250 для порід різної категорії тріщинуватості

Ключові слова: буропідричні роботи, діаметр свердловини, питомі витрати, гірський масив, вибухова речовина, тріщинуватість, кар'єр.

Фролов А.А., Пикало В.М. Совершенствование методики определения рационального диаметра скважин для буровзрывных работ

Цель. Целью работы является определение наиболее рационального диаметра скважинного заряда взрывчатого вещества для конкретных горно-геологических условий отработки месторождения.

Методы исследования. Для достижения поставленной цели в представленных исследованиях использованы: метод комплексного анализа – для анализа и обобщения предыдущих научных исследований по выбору и установлению наиболее рациональных диаметров скважинных зарядов на карьерах; аналитический и графоаналитический методы – для совершенствования методики определения диаметра скважинного заряда при проведении буровзрывных работ на карьерах в горных массивах с разной степенью трещиноватости.

Научная новизна. Научная новизна исследований заключается в том, что на основании представленной аналитической зависимости, получены графики изменения стоимости буровзрывных работ для различных диаметров скважинного заряда взрывчатого вещества. Они позволяют установить наиболее рациональные диаметры скважин в карьере при заданных условиях с учетом разной степени трещиноватости горного массива.

Практическая значимость. Результаты исследований позволяют для установленных горно-геологических и технологических условий разработки месторождения полезных ископаемых определить рациональный диаметр взрывных скважин на основе учета технико-экономических показателей работы предприятия.

Результаты. По результатам выполненных исследований установлено, что диаметр скважинного заряда является одним из наиболее важных параметров регулирования степени дробления, а его выбор зависит от прочности и трещиноватости пород. Предложена усовершенствованная методика определения рационального диаметра скважин для буровзрывных работ на карьерах. Получено выражение, связывающее стоимостные показатели бурения и взрывания с основными технологическими показателями буровзрывных работ, в том числе с диаметром скважинного заряда.

Для горно-геологических условий карьера построены зависимости между диаметром скважинного заряда взрывчатого вещества и стоимостью буровзрывных работ для различных горных пород с разной степенью трещиноватости. Установлены рациональные диаметры скважинного заряда при выполнении буровых работ станками СБШ-250 для пород различной категории трещиноватости

Ключевые слова: буровзрывные работы, диаметр скважины, удельные расходы, горный массив, взрывчатое вещество, трещиноватость, карьер.

Frolov O.O., Pykalo V.M. Improving the methodology for determining the rational diameter of wells for drilling and blasting

Purpose. The aim of the work is to determine the most rational diameter of the downhole charge of an explosive for specific mining and geological conditions of field development.

Research methods. To achieve this goal, the presented studies used: a method of complex analysis - for analyzing and summarizing previous scientific studies on the selection and determination of the most rational diameters of borehole charges in open pits; analytical and graphoanalytical methods - to improve the method of determining the diameter of the borehole charge during drilling and blasting operations in quarries in mountain ranges with varying degrees of fracturing.

Scientific novelty. The scientific novelty of the research lies in the fact that, based on the presented analytical dependencies, graphs of changes in the cost of drilling and blasting operations for different diameters of the explosive well charge were obtained. They make it possible to establish the most rational diameters of wells in a quarry under given conditions, taking into account the varying degrees of fracturing of the rock mass.

Practical value. The research results allow for the established mining and geological and technological conditions for the development of a mineral deposit to determine the rational diameter of blast holes based on the account of technical and economic indicators of the enterprise.

Results. According to the results of the research, it was established that the diameter of the borehole charge is one of the most important parameters for controlling the degree of fragmentation, and its choice depends on the strength and fracture of the rocks. An improved method for determining the rational diameter of wells for drilling and blasting in quarries has been proposed. An expression has been obtained linking the cost parameters of drilling and blasting with the main technological parameters of drilling and blasting operations, including the diameter of the borehole charge. For the mining and geological conditions of the quarry, dependencies have been constructed between the diameter of the downhole charge of an explosive and the cost of drilling and blasting for various rocks with varying degrees of fracture. Established rational diameters of the borehole charge when performing drilling operations with SBSh-250 machines for rocks of various fracture categories

Key words: drilling and blasting operations, borehole diameter, specific expenses, rock mass, explosive, fracturing, open pit.

УДК 69.06:658.012.2:711.001.2

Банах А. В., Полтавець М. О. Пріоритетний підхід до управління розвитком містобудівних систем

Мета. Розробка моделі перспективного управління розвитком містобудівних систем і розміщенням містобудівних об'єктів на основі загальних законів і принципів системології та пріоритетного підходу до управління задля забезпечення надійності містобудівних систем.

Методи. У дослідженні використано методи системології, методи системного аналізу, методи системотехнічного обґрунтування, методи теорії систем, методи теорії моделювання, методи теорії управління.

Наукова новизна. Запропоновано пріоритетний підхід до управління розвитком містобудівних систем на основі загальних законів і принципів системології. Розроблено відповідну комплексну структурно-логічну модель управління складними системами, до яких відноситься і містобудівні, виходячи з умов забезпечення надійності складних систем.

Практична значимість. Результати дослідження можуть використовуватися при розробці оптимізаційних заходів з підвищення перспективної надійності складних систем у контексті системологічного розуміння, в тому числі при управлінні розвитком містобудівних систем. Розроблена структурно-логічна комплексна модель допоможе відповідним фахівцям реалізовувати стратегію управлінської діяльності та прийняття управлінських рішень щодо розвитку містобудівних систем і розміщення містобудівних об'єктів.

Результати. Визначено, що проблеми містобудування вимагають урахування нетрадиційних підходів до моделювання процесів і зв'язків управління для визначення «єдиного знаменника», який містив би сумісність, наскрізну інформаційну підтримку, єдину моделюючу основу. Запропоновано пріоритетний підхід до моделювання процесів управління розвитком містобудівних систем і розміщенням об'єктів містобудування, що має доступну форму, структурну і функціональну цілісність, інтегрує рішення в комплексну модель з єдиною логікою та особливостями. Складові частини моделі сполучено, узгоджено та складають єдину управлінську систему. Ув'язка різнохарактерних завдань інтеграції процесів управління розвитком здійснюється шляхом узгодження міжсистемних зв'язків за усіма блоками моделі. Сформовано модель управління розвитком містобудівних систем, виходячи з умов раціонально обґрунтування і нагальних завдань галузі, яка може застосовуватися також для прийняття рішень щодо розміщення об'єктів містобудування.

Ключові слова: містобудування, системологія, складна система, інформаційні модулі, функції управління, стан системи, надійність системи, моделювання

Банах А. В., Полтавець М. А. Приоритетный подход к управлению развитием градостроительных систем

Цель. Разработка модели перспективного управления развитием градостроительных систем и размещением градостроительных объектов на основе общих законов и принципов системологии и приоритетного подхода к управлению для обеспечения надежности градостроительных систем.

Методы. В исследовании использованы методы системологии, методы системного анализа, методы системотехнического обоснования, методы теории систем, методы теории моделирования, методы теории управления.

Научная новизна. Предложен приоритетный подход к управлению развитием градостроительных систем на основе общих законов и принципов системологии. Разработана соответствующая комплексная структурно-логическая модель управления сложными системами, к которым относятся и градостроительные, исходя из условий обеспечения

надежности сложных систем.

Практическая значимость. Результаты исследования могут использоваться при разработке оптимизационных мероприятий по повышению перспективной надежности сложных систем в контексте системологического понимания, в том числе при управлении развитием градостроительных систем. Разработанная структурно-логическая комплексная модель поможет соответствующим специалистам реализовывать стратегию управленческой деятельности и принятия управленческих решений по развитию градостроительных систем и размещению градостроительных объектов.

Результаты. Определено, что проблемы градостроительства требуют учета нетрадиционных подходов к моделированию процессов и связей управления для определения «общего знаменателя», который содержал бы совместимость, сквозную информационную поддержку, единую моделирующую основу. Предложенный приоритетный подход к моделированию процессов управления развитием градостроительных систем и размещению объектов градостроительства, имеет доступную форму, структурную и функциональную целостность, интегрирует решения в комплексную модель с единой логикой и особенностями. Составные части модели сопряжены, согласованы и составляют единую управленческую систему. Увязка разнохарактерных задач интеграции процессов управления развитием осуществляется путем согласования межсистемных связей по всем блоками модели. Сформированная модель управления развитием градостроительных систем, исходя из условий рационального обоснования и первоочередных задач отрасли, может применяться также для принятия решений по размещению объектов градостроительства.

Ключевые слова: градостроительство, системология, сложная система, информационные модули, функции управления, состояние системы, надежность системы, моделирование

Banakh A.V., Poltavets M.O. Priority approach to the management of urban development systems

Purpose. Formation of a model for perspective management of the urban systems development and the placement of urban units based on general laws and principles of systemology and a priority management approach to ensure the reliability of urban systems.

Research methods. The research uses the methods of systemology, methods of system analysis, methods of systemic justification, methods of theory of systems, methods of theory of modeling, methods of theory of management.

Scientific novelty. A priority approach to manage the urban systems development based on general laws and principles of systemology is proposed. The corresponding complex structural and logical model for managing complex systems, which includes urban systems, based on the ensuring the reliability of complex systems is developed.

Practical value. The results of the research can be used in the development of optimization measures to increase the perspective reliability of complex systems in the context of a systemological understanding, including the management of the urban systems development. The formed structural and logical integral model will help relevant specialists implement the strategy of managerial activity and managerial decision-making on the urban systems development and the placement of urban units.

Results. It is determined that the problems of urban engineering require non-traditional approaches to modeling of processes and management relationships in order to reach the «common denominator» that would contain compatibility, end-to-end information support, a unified modeling basis. The proposed priority approach to modeling of the processes of managing the urban systems development and the placement of urban units has an accessible form, structural and functional integrity, that unite solutions into a complex model with a single logic and features. The constituent parts of the model are conjugated, coordinated and constitute a single management system. The coordination of diverse tasks of integration of management processes is carried out by coordinating intersystem relationships across all blocks of the model. Formed model for managing the urban systems development based on the conditions of rational justification and the priority tasks of the branch can also be used to make decisions on the placement of urban units.

Key words: urban engineering, systemology, complex system, information modules, management functions, system status, system reliability, modeling

UDC 004.942

Marusenкова Т. A new gating algorithm with reduced computational complexity for linear Kalman filters in embedded systems

Purpose. The Kalman-based filters are the most commonly used algorithms of processing noisy signals from real sensors in different application areas. However, they have no intrinsic means of fighting off outliers, which can deteriorate filter accuracy drastically. Existing outlier rejection and accommodation techniques are computationally expensive for embedded systems. Our goal is to develop a multiple-step gating procedure suitable for implementation in firmware.

Research methods. Primarily the work is based upon statistical and probabilistic methods. For deduction, representation and corroboration of principal ideas it utilizes also linear algebra and analytic geometry. Verification of the developed algorithm has been performed using simulation techniques including the Monte-Carlo method.

Scientific novelty. A new gating algorithm has been developed, verified and presented in detail. In contrast to the well-known combination of the rectangular and elliptic gates, the proposed algorithm assumes an additional step which allows rejection of points not lying between the tangents of tilted confidence ellipses parallel to their major axes. The step helps avoid computing inverse covariance matrices required by the Mahalanobis distance due to the fact that it recognizes most outliers that are able to pass the rectangular gate, which makes invocation of the elliptic gate redundant.

Practical value. The proposed algorithm has been implemented and verified both theoretically and practically upon a variety of the multivariate linear Kalman filters and normally distributed random numbers for simulating outliers. Implementation has been done using the stm32f407vg microcontroller by STMicroelectronics. Simulation results have corroborated that the proposed interim step between application of the rectangular and elliptic gates reduces computational complexity of the whole gating procedure without any losses in accuracy.

Results. The developed algorithm is integrated into a complex hardware-software tool intended for verification, estimation and investigation into micro-electromechanical inertial sensors.

Key words: gating, outlier, outlier rejection, Kalman filter, Gaussian distribution, confidence ellipse, tangent

Марусенкова Т. А. Алгоритм відхилення викидів зі зменшеною обчислювальною складністю для лінійних фільтрів Калмана у вбудованих системах

Мета. Фільтри Калмана та їхні модифікації є найбільш широко застосовуваними алгоритмами фільтрації зашумлених показів сенсорів у різних прикладних задачах. Однак, ці фільтри є чутливими до викидів (промахів), оскільки не містять вбудованих засобів для ідентифікації викидів. Таким чином, викиди істотно знижують точність фільтрування. Наявні техніки відхилення або пристосування викидів малоприсадибні для вбудованих систем, враховуючи урізані обчислювальні можливості останніх. Метою роботи є розроблення багатетапної процедури ідентифікації та відхилення викидів, присадибної для застосування у вбудованих системах.

Методи. Передусім, в роботі застосовано методи статистики та теорії ймовірностей. Для виведення, візуалізації та обґрунтування основних ідей використано лінійну алгебру та Евклідову геометрію. Верифікацію розробленого алгоритму проведено з допомогою імітаційного моделювання, зокрема, методу Монте-Карло.

Наукова новизна. Розроблено, верифіковано та детально описано новий алгоритм відхилення викидів. На відміну від добре відомої комбінації прямокутного та еліптичного затвору, запропонований алгоритм припускає проміжний крок для відсіювання точок, що не лежать між дотичними до довірчого еліпса, паралельними його основній осі. Цей крок дозволяє уникнути обчислення оберненої коваріаційної матриці, необхідної для розрахунку відстані Махаланобіса, оскільки відхиляє викиди, що пройшли прямокутний затвір, і тим самим усуває необхідність застосування еліптичного затвору.

Практичне значення. Запропонований алгоритм реалізований і верифікований теоретично і на практиці на множині багатоваріантних лінійних фільтрів Калмана і нормально розподілених випадкових чисел для імітування викидів. Реалізація виконана для мікроконтролера stm32f407vg компанії STMicroelectronics. Результати моделювання підтвердили, що запропонований проміжний крок зменшує обчислювальну складність процедури відхилення викидів без втрати точності.

Результати. Розроблений алгоритм інтегрований у складний апаратно-програмний засіб, призначений для верифікації, оцінки та дослідження мікроелектромеханічних інерційних сенсорів.

Ключові слова: відхилення викидів, викид, фільтр Калмана, нормальний розподіл, довірчий еліпс, дотична

Марусенкова Т. А. Алгоритм отклонения выбросов с пониженной вычислительной сложностью для линейных фильтров Калмана во встроенных системах

Цель. Фильтры Калмана и их модификации являются наиболее широко используемыми алгоритмами фильтрации зашумленных показаний датчиков в разнообразных прикладных задачах. Однако, эти фильтры чувствительны к выбросам, поскольку не содержат встроенных средств идентификации выбросов. Таким образом, выбросы существенно снижают точность фильтрования. Существующие техники отклонения и приспособления выбросов мало пригодны для встроенных систем, учитывая урезанные вычислительные возможности последних. Целью работы является разработка процедуры идентификации и отклонения выбросов, пригодной для использования во встроенных системах.

Методы. Работа основана на методах статистики и теории вероятностей. Для вывода, визуализации и обоснования основных идей используется линейная алгебра и аналитическая геометрия. Верификация разработанного алгоритма осуществлена с помощью имитационного моделирования, в том числе, метода Монте-Карло.

Научная новизна. Разработан, верифицирован и подробно описан новый алгоритм отклонения выбросов. В отличие от хорошо известной комбинации прямоугольного и эллиптического затворов, предложенный алгоритм предполагает промежуточный шаг для отсеивания точек, не лежащих между касательными к доверительному эллипсу, параллельными его основной оси. Этот шаг позволяет избежать вычисления обратной ковариационной матрицы, необходимой для расчета расстояния Махаланобиса, поскольку отклоняет выбросы, которые прошли прямоугольный затвор, и тем самым устраняет необходимость применения эллиптического затвора.

Практическое значение. Предложенный алгоритм реализован и верифицирован теоретически и практически на множестве мультивариантных линейных фильтров Калмана и нормально распределенных случайных чисел для имитации выбросов. Реализация выполнена для микроконтроллера stm32f407vg компании STMicroelectronics. Результаты моделирования подтвердили, что предложенный промежуточный шаг уменьшает вычислительную сложность процедуры отклонения выбросов без потери точности.

Результаты. Разработанный алгоритм интегрирован в сложный программно-аппаратный комплекс, предназначенный для верификации, оценки и исследования микро-электромеханических инерциальных сенсоров.

Ключевые слова: отклонение выбросов, выброс, фильтр Калмана, нормальное распределение, доверительный эллипс, касательная

УДК 62-836:629

Хворост М.В., Воронов Р.В. Спостерігач стану тягової електромеханічної системи з двома асинхронними двигунами, що живляться від одного інвертора

Мета роботи. Виконати аналіз тягової електромеханічної системи, у якій живлення декількох асинхронних двигунів здійснюється від одного інвертора, при оцінці змінних стану кожного двигуна за допомогою адаптивного спостерігача.

Методи дослідження. Аналіз рівнянь стану асинхронного двигуна здійснювався з використанням математичних методів диференційного числення, аналіз процесів у тяговій електромеханічній системі здійснювався шляхом математичного моделювання, робота напівпровідникового перетворювача (інвертора) моделювалася з використанням методу перемикаючих функцій.

Наукова новизна. У роботі запропоновано структуру та порядок розрахунку коефіцієнтів адаптивного спостерігача стану асинхронного двигуна у складі електромеханічної системи з живленням декількох двигунів від одного інвертора.

Практична значимість полягає у розробці практичних рішень, які можуть стати основою синтезу алгоритмів керування тяговими електромеханічними системами, у яких здійснюється керування декількома двигунами змінного стру-

му від одного інвертора. Така ситуація є типовою для залізничного транспорту, а тому використання розроблених підходів може слугувати для подальшого покращення показників енергоефективності та точності керуванні.

Результати. У роботі розглянуто рівняння стану асинхронного двигуна та на їх основі розроблено адаптивний спостерігач стану та запропоновано підхід до розрахунку коефіцієнтів спостерігача задля забезпечення його стійкості. Оскільки важливою умовою функціонування системи векторного керування є коректна орієнтація системи координат, що обертається, то у випадку живлення декількох двигунів від одного інвертора орієнтація даної системи координат повинна здійснюватися за усередненим потокозчепленням ротора двигунів. Представлено аналітичні залежності, що описують зміну усереднених величин при наявності відхилень у параметрах двигунів, що відповідає реальним умовам функціонування. Розглянуто метод розрахунку сигналів завдання контурів керування струму з урахуванням наявності відхилень у параметрах двигунів, що дозволяє підвищити точність керування та інші показники якості. Розроблену систему досліджено шляхом математичного моделювання, результати якого свідчать про те, що використання адаптивного спостерігача стану дозволяє забезпечити функціонування багатодвигунної системи без використання датчиків магнітного потоку та кутової швидкості.

Ключові слова: асинхронний двигун, інвертор, векторне керування, потокозчеплення ротора, кутова швидкість, спостерігач стану

Хворост Н.В., Воронов Р.В. Наблюдатель состояния тяговой электромеханической системы с двумя асинхронными двигателями, которые питаются от одного инвертора

Цель работы. Выполнить анализ тяговой электромеханической системы, в которой питания нескольких асинхронных двигателей осуществляется от одного инвертора, при оценке переменных состояния каждого двигателя с помощью адаптивного наблюдателя.

Методы исследования. Анализ уравнений состояния асинхронного двигателя осуществлялся с использованием математических методов дифференциального исчисления, анализ процессов в тяговой электромеханической системе осуществлялся путем математического моделирования, работа полупроводникового преобразователя (инвертора) моделировалась с использованием метода переключающих функций.

Научная новизна. В работе предложена структура и порядок расчета коэффициентов адаптивного наблюдателя состояния асинхронного двигателя в составе электромеханической системы с питанием нескольких двигателей от одного инвертора.

Практическая значимость заключается в разработке практических решений, которые могут стать основой синтеза алгоритмов управления тяговыми электромеханическими системами, в которых осуществляется управление несколькими двигателями переменного тока от одного инвертора. Такая ситуация типична для железнодорожного транспорта, а потому использование разработанных подходов может служить для дальнейшего улучшения показателей энергоэффективности и точности управления.

Результаты. В работе рассмотрены уравнения состояния асинхронного двигателя и на их основе разработан адаптивный наблюдатель состояния и предложен подход к расчету коэффициентов наблюдателя для обеспечения его устойчивости. Поскольку важным условием функционирования системы векторного управления является корректная ориентация вращающейся системы координат, то в случае питания нескольких двигателей от одного инвертора ориентация данной системы координат должна осуществляться по усредненным потокозчеплениям ротора двигателей. Представлены аналитические зависимости, описывающие изменение усредненных величин при наличии отклонений в параметрах двигателей, что соответствует реальным условиям функционирования. Рассмотрен метод расчета сигналов задания контуров управления тока с учетом наличия отклонений в параметрах двигателей, что позволяет повысить точность управления и другие показатели качества. Разработанную систему исследовано путем математического моделирования, результаты которого свидетельствуют о том, что использование адаптивного наблюдателя состояния позволяет обеспечить функционирование многодвигательной системы без использования датчиков магнитного потока и угловой скорости.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, инвертор, векторное управление, потокозчепление ротора, угловая скорость, наблюдатель состояния

Hvorost M.V., Voronov R. V. Observer of the traction electromechanical system condition with two asynchronous motors powering by from one inverter

Purpose. Make an analysis of a traction electromechanical system which the powering of several asynchronous motors by from a one inverter, when evaluating the state variables of each motor using an adaptive observer.

Research methods. The analysis of the asynchronous motor state equations was carried out using mathematical methods of differential calculus, the analysis of processes in the traction electromechanical system was carried out by mathematical modeling, the work of the semiconductor converter (inverter) was simulated using the method of switching functions.

Scientific novelty. The structure and the procedure for calculating the coefficients of the adaptive observer of the state of asynchronous motor in the electromechanical system with the powering of several motors by from one inverter are proposed.

Practical value lies in the development of practical solutions which can become the basis of a synthesis of control algorithms for traction electromechanical systems that control multiple asynchronous motors from a one inverter. This situation is typical for rail transport, and therefore the use of developed approaches can further improve energy efficiency and control accuracy.

Results. The equation of state of an asynchronous motor is considered in the work and on the basis of it the adaptive observer of the state is developed and the approach to the calculation of the coefficients of the observer is offered in order to ensure its stability. As an important condition for the operation of the vector control system is the correct orientation of the rotating coordinate system, in the case of powering several motors by from one inverter, the orientation of this coordinate system must be carried out by the averaged flow of the motor rotor. Analytical dependencies are described, describing the change of averaged values in the presence of deviations in the parameters of the engines, which corresponds to the real conditions of operation. The method of calculation of signals of the task of control circuits of a current is considered with accounting the presence of deviations in the parameters of the motors, which allows to improve the accuracy of control and other indicators of quality. The developed system is investigated by mathematical modeling, the results of which indicate that the use of an

adaptive state observer allows the functioning of a multi-engine system without the use of magnetic flux sensors and angular velocity.

Key words: asynchronous motor, inverter, vector control, rotor clutch flow, angular velocity, observer of the state

УДК 669.15-198:538.953

Воденнікова О.С., Матяшева О.Б., Воденнікова Л.В., Бобошко Д.Ю. Дослідження теплофізичних властивостей компонентів шихти для виплавки малофосфористого шлаку

Мета. Метою роботи є дослідження теплофізичних властивостей компонентів шихти для виплавки малофосфористого шлаку для пошуку складів шихт з мінімальним теплоспоживанням.

Поставлена мета в роботі вирішується наступними завданнями: експериментально визначити теплофізичні властивості (тепловміщення, питому теплоємність, коефіцієнт теплопровідності) компонентів шихти для виплавки МФШ; проаналізувати аналітичні залежності теплофізичних характеристик шихтових матеріалів від температури та визначити оптимальний склад шихти з мінімальним теплоспоживанням.

Методи досліджень. При узагальненні та аналізі науково-технічної літератури з напрямку удосконалення технології виробництва передельного малофосфористого шлаку використовувався комплексний підхід. Дослідження хімічного складу шихти для виплавки МФШ проводили за допомогою хімічного аналізу, а гранулометричний склад шихти визначали за допомогою ситового аналізу. Виконано обробку та аналіз експериментальних даних залежності теплофізичних характеристик компонентів шихти від температури.

Наукова новизна. Запропоновано підхід к оптимізації складу компонентів шихти при виплавці МФШ за рахунок вибору шихтових матеріалів, які володіють низькою питомою теплоємністю, що дозволяє удосконалювати технологічний режим виплавки МФШ, знизити витрати електроенергії на 15-20% та знизити собівартість готового продукту.

Практичне значення. Використання МФШ, отриманого з застосування низькотеплоємних шихт (з використанням у шихті замість кварциту та частини дефіцитного коксу відходів вуглезабагачення коксохімічного виробництва та відходів виробництва вторинного алюмінію), на стадії виплавки металевого марганцю дасть змогу знизити кратність шлаку, що в свою чергу призводить до підвищення витягу марганцю в шлак на 2%.

Результати. Дослідженнями теплофізичних властивостей компонентів шихти для виплавки МФШ встановлено вплив питомої теплоємності шихти на енергозбереження та запропоновано низькотеплоємний склад шихти, використання якого дозволить знизити витрату коксу на відновлення в 1,3-1,9 рази, зекономити до 20% електроенергії та відповідно знизити собівартості МФШ.

Ключові слова: малофосфористий шлак, склад шихти, теплофізичні властивості, питома теплоємність, теплопровідність, теплоспоживання.

Воденнікова О.С., Матяшева О.Б., Воденнікова Л.В., Бобошко Д.Ю. Исследование теплофизических свойств компонентов шихты для выплавки малофосфористого шлака

Цель. Целью работы является исследование теплофизических свойств компонентов шихты для выплавки малофосфористого шлака для поиска составов шихт с минимальным теплоспоживанием.

Поставленная цель в работе решается следующими задачами: экспериментально определить теплофизические свойства (тепловмещение, удельную теплоёмкость, коэффициент теплопроводности) компонентов шихты для выплавки МФШ; проанализировать аналитические зависимости теплофизических характеристик шихтовых материалов от температуры и определить оптимальный состав шихты с минимальным теплоспоживанием.

Методы исследований. При обобщении и анализе научно-технической литературы по направлению усовершенствования технологии производства передельного малофосфористого шлака использовался комплексный подход. Исследования химического состава шихты для выплавки МФШ проводили с помощью химического анализа, а гранулометрический состав шихты определяли с помощью ситового анализа. Выполнены обработка и анализ экспериментальных данных зависимости теплофизических характеристик компонентов шихты от температуры.

Научная новизна. Предложен подход к оптимизации состава компонентов шихты при выплавке МФШ за счет выбора шихтовых материалов, обладающих низкой удельной теплоёмкостью, что позволяет усовершенствовать технологический режим выплавки МФШ, снизить затраты электроэнергии на 15-20% и снизить себестоимость готового продукта.

Практическое значение. Использование МФШ, полученного с применением низкотеплоёмких шихт (с использованием в шихте вместо кварцита и части дефицитного кокса отходов углеобогащения коксохимического производства и отходов производства вторичного алюминия), на стадии выплавки металлического марганца даст возможность снизить кратность шлака, что в свою очередь приводит к повышению извлечения марганца в шлак на 2%.

Результаты. Исследованиями теплофизических свойств компонентов шихты для выплавки МФШ установлено влияние удельной теплоёмкости шихты на энергосбережение и предложено низкотеплоёмкий состав шихты, использование которого позволит снизить расход кокса на восстановление в 1,3-1,9 раза, сэкономить до 20% электроэнергии и соответственно снизить себестоимость МФШ.

Ключевые слова: малофосфористый шлак, состав шихты, теплофизические свойства, удельная теплоёмкость, теплопроводность, теплоспоживание.

Vodennikova O.S., Matyasheva O.B., Vodennikova L.V., Baboshko D.Yu. Investigation of the thermophysical properties of charge components for smelting low-phosphorous slag

Purpose. To study the thermophysical properties of the components of the charge for smelting low-phosphorous slag to find charge compositions with minimal heat consumption. The goal in the work is solved by the following tasks: to determine experimentally the thermophysical properties (heat transfer, specific heat capacity, thermal conductivity) of the charge components for smelting LPS; to analyze the analytical dependences of the thermophysical characteristics of the charge materials on temperature and to determine the optimal charge composition with minimal heat consumption.

Research methods. When summarizing and analyzing the scientific and technical literature in the direction of improving the technology for production of low-phosphorus slag, an integrated approach was used. Studies of the chemical composition of

the charge for the production of LPS were carried out using chemical analysis, and the charge particle size distribution was determined using sieve analysis. The processing and analysis of experimental data on the dependence of the thermophysical characteristics of the charge components on temperature were performed.

Scientific novelty. An approach to optimizing the composition of the charge components at the smelting of LPS due to the choice of charge materials with low specific heat capacity, which allows improving the technological mode of smelting of LPS, reducing energy costs by 15-20% and reducing the cost of the finished product, is proposed.

Practical value. The use of LPS obtained using low-heat charge (using instead of quartzite and part of the scarce coke coal waste of coke production and secondary aluminum production waste) at the stage of smelting metallic manganese will make it possible to reduce the slag ratio, which in turn leads to an increase in manganese extraction to slag by 2%.

Results. Investigations of the thermophysical properties of the components of the charge for smelting LPS have established the influence of the specific heat capacity of the mixture on energy saving and have proposed a low-heat composition of the charge, the use of which will reduce the coke consumption for reduction by 1,3-1,9 times, save up to 20% of electricity and, accordingly, reduce the cost of the LPS.

Key words: low-phosphorous slag, charge composition, thermophysical properties, specific heat capacity, heat conductivity, heat consumption.

УДК 621.314

Сінчук О.М., Краснопольський Р.І., Бойко С.М. Аспекти формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації гірничорудних підприємств

Мета. Розроблення теоретичних засад впровадження джерел розосередженої генерації в структуру комплексу електропостачання-електроспоживання гірничорудних підприємств.

Методи дослідження. Тактика проведення досліджень базується на комплексі аналітичних методів, котрі дозволяють синтезувати структури енергоефективних електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації електричної енергії для умов гірничорудних підприємств.

Наукова новизна. Розроблена структура електроенергетичного комплексу гірничорудних підприємств, що враховує особливості реконфігурації системи електропостачання-електроспоживання гірничорудних підприємств, у тому числі залізрудних. Для досягнення поставленої мети на кожному рівні управління необхідно застосовувати свій клас моделей управління та свою стратегію їх використання з урахуванням наявності інформаційних зв'язків між функціями управління та зовнішніми факторами.

Практична значимість. Підвищення енергоефективності гірничорудних підприємств за рахунок впровадження джерел розосередженої генерації в структури розподільних мереж цих підприємств.

Результати. В умовах гірничорудних підприємств проводяться заходи щодо підвищення їх електроенергоефективності, але ці заходи все ж таки мають свою межу, яка на даний час вже близька до насичення на гірничих підприємствах України. Безумовно, що в комплексі напрямків підвищення енергоефективності ключова роль відводиться саме підприємствам. При цьому, в свою чергу, важливим постає рівень врахування в цій методології специфіки гірничорудних підприємств. Як доведено, однією з ключових сучасних тенденцій розвитку світової електроенергетики є перехід до інноваційного перетворення структури галузі на основі нової концепції Smart Grid, яка включає в себе впровадження розосередженої генерації. Відповідно до концепції Енергетичної Стратегії України, ЕС та концепції сучасної енергетики Smart grid, запропонована, структура електроенергетичного комплексу гірничорудних підприємств розглядається як повністю інтегрована, саморегулююча і самовідновлювана система, що має мережеву топологію та включає в себе всі генеруючі джерела, магістральні та розподільні мережі і всі види споживачів електричної енергії (у тому числі й активних споживачів), керовані єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем у режимі реального часу.

Ключові слова: розосереджена генерація, енергетичне обладнання, електропостачання залізрудних підприємств, оптимізація режимів роботи.

Синчук О.Н., Краснопольский Р.И., Бойко С.Н. Аспекты формирования электроэнергетических систем с источниками рассредоточенной генерации горнорудных предприятий

Цель. Разработка теоретических основ внедрения источников рассредоточенной генерации в структуру комплекса электроснабжения электропотребления горнорудных предприятий.

Методы исследования. Тактика проведения исследований базируется на комплексе аналитических методов, которые позволяют синтезировать структуры энергоэффективных электроэнергетических систем с источниками рассредоточенной генерации электрической энергии для условий горнорудных предприятий.

Научная новизна. Разработана структура электроэнергетического комплекса горнорудных предприятий, учитывающий особенности реконфигурации системы электроснабжения-электропотребления горнорудных предприятий, в том числе железорудных. Для достижения поставленной цели на каждом уровне управления необходимо применять свой класс моделей управления и свою стратегию их использования с учетом наличия информационных связей между функциями управления и внешними факторами.

Практическая значимость. Повышение энергоэффективности горнорудных предприятий за счет внедрения источников рассредоточенной генерации в структуре распределительных сетей этих предприятий.

Результаты. В условиях горнорудных предприятий проводятся мероприятия по повышению их электроенергоефективности, но эти меры все же имеют свой предел, которая в настоящее время уже близка к насыщению на горных предприятиях Украины. Безусловно, что в комплексе направлений повышения энергоэффективности ключевая роль отводится именно предпри-вам. При этом, в свою очередь, важным возникает уровень учета в этой методологии специфики горнорудных пред-приятий. Как доказано, одной из ключевых современных тенденций развития мировой электроэнергетики является переход к инновациям ного преобразования структуры отрасли на основе новой концепции Smart Grid, которая включает в себя внедрение рассредоточенной генерации. Согласно концепции Энергетической Стратегии Украины, ЕС и концепции современной энергетики Smart grid, предложенная структура элек-

троэнергетического комплекса горнорудных предприятий рассматривается как полностью интегрированная, саморегулирующая и самовозобновляемая система, имеющая сетевую топологию и включает в себя все генерирующие источники, магистральные и распределительные сети и все виды потребителей электрической энергии (в том числе и активных потребителей), управляемые единственной мере-пищей информационно-управляющих устройств и систем в режиме реального времени.

Ключевые слова: рассредоточенная генерация, энергетическое оборудование, электроснабжение железорудных предприятий, оптимальные режимы работы.

Sinchuk O.M., Krasnopol'ski R.I., Boiko S.M. Aspects of formation of electric power systems with sources of distributed generation of mining enterprises

Purpose. Development of theoretical bases for the introduction of sources of dispersed generation in the structure of the complex of power supply and electricity consumption of mining enterprises.

Research methods. Research tactics are based on a set of analytical methods that allow you to synthesize the structure of energy-efficient electric power systems with sources of dispersed generation of electric energy for mining enterprises.

Scientific novelty. The structure of the electric power complex of mining enterprises has been developed, which takes into account the peculiarities of reconfiguration of the system of electricity supply and electricity consumption of mining enterprises, including iron ore. In order to achieve this goal at each level of management, you must apply your class of management models and your strategy to use them, taking into account the existence of information links between management functions and external factors

Practical value. Improvement of energy efficiency of mining enterprises due to introduction of sources of dispersed generation in the structures of distribution networks of these enterprises.

Results. In the conditions of mining enterprises, measures are being taken to increase their electricity efficiency, but these measures still have their limit, which is currently close to saturation at the mining enterprises of Ukraine.

Of course, in a set of areas to improve energy efficiency, the key role is given to enterprises. At the same time, in turn, the level of taking into account in this methodology the specifics of mining enterprises is important. As proven, one of the key current trends in the development of global electricity is the transition to an innovative transformation of the structure of the industry based on the new concept of Smart Grid, which includes the introduction of distributed generation.

In accordance with the concept of the Energy Strategy of Ukraine, the ES and the concept of modern energy Smart grid, the proposed structure of the electric power complex of mining enterprises is considered as a fully integrated, self-regulating and self-renewing system that has a network topology and includes all generating sources, mains and networks and all kinds of electricity consumers (including active consumers), managed by a single network of real-time controllers and systems.

Key words: dispersed generation, power equipment, power supply of iron ore enterprises, optimal robot modes.

УДК 621.929.6:622.781

Засельський В. Й., Швед С.В., Засельський І. В., Шепеленко М. І. Функціонування робочого органу змішувача при горизонтальному русі шару матеріалу на конвеєрі

Мета. Обсяги вантажних перевезень шихтових матеріалів в гірничо-металургійному комплексі визначаються в мільйони тон щороку. Це обумовлено використанням даних матеріалів в гірничо-рудній агломераційній і коксохімічній промисловості. При довгих перевезеннях компоненти таких матеріалів (вугілля, руди, рудні концентрати, флюси), що мають певну природну вологу, в зимовий період змерзаються та окрім цього передрібнюються та сегрегують, це призводить: до погіршення розвантажувальних робіт, що знижує якість підготовки металургійної шихти та як наслідок зростає собівартість готової металургійної продукції та виникають додаткові витрат на їх підготовку. Таким чином для використання шихтових матеріалів передуює додаткове розпушення та їх перемішування, переважно для цього використовують змішувачі безперервної дії, які встановлюються над конвеєрною стрічкою. Саме вдосконалення змішувачів, як базисного обладнання для підготовки компонентів шихти, є перспективним шляхом в питаннях підвищення ефективності агломераційного і коксохімічного виробництва. Метою даної роботи стало визначення раціональних кінематичних параметрів і геометричних параметрів робочого органу змішувача встановленого над конвеєрною стрічкою, що сприяє підвищенню якості підготовки шихтових матеріалів в гірничо-металургійній галузі.

Методи дослідження. У науковій праці розглянуті: методи аналітичного дослідження функціонування робочого органу змішувача при горизонтальному русі шару матеріалу на конвеєрі; методи руху частини матеріалу на лопатці змішувача горизонтально-направленого дії.

Наукова новизна полягає у встановленні нових закономірностей, що описують вплив конструктивних і режимних параметрів робочого органу змішувача на шар (та відповідно на частину) матеріалу, яка рухається на конвеєрній стрічці.

Практична значимість. Результати цієї роботи мають практичне значення, так як одержані в ній залежності дають змогу обрати раціональні кінематичні параметри робочого органу змішувача безперервної дії та підвищити якість підготовки шихтових матеріалів перед їх подальшим використанням.

Результати. Робота супроводжується математичними рівняннями, з допомогою якої є можливість встановлення раціональних параметрів основних елементів роторного змішувача безперервної дії, що встановлюється безпосередньо над конвеєрною стрічкою, що стануть основою для проектування прототипу лопатки роторного змішувача, що в свою чергу є перспективним засобом збільшення ефективності існуючої конструктивної схеми.

Ключові слова: змішувач, матеріал, лопатка, технічний об'єкт, шихта.

Засельский В. Й., Швед С.В., Засельский И. В., Шепеленко М. И. Функционирование рабочего органа смесителя при горизонтальном движении слоя материала на конвейере

Цель. Объемы грузовых перевозок шихтовых материалов в горно-металлургическом комплексе определяются в миллионы тонн ежегодно. Это обусловлено использованием данных материалов в горнорудной агломерационной и коксохимической промышленности. При длинных перевозках компоненты таких материалов (угли, руды, рудные концентраты, флюсы), имеющие определенную естественную влагу, в зимний период смерзаются и кроме этого

переизмельчаются и сегрегируют, это приводит: к ухудшению разгрузочных работ, снижает качество подготовки металлургической шихты и как следствие растет себестоимость готовой металлургической продукции и возникают дополнительные расходы на их подготовку. Таким образом для использования шихтовых материалов предшествует дополнительное разрыхление и их перемешивания, преимущественно для этого используют смесители непрерывного действия, которые устанавливаются над конвейерной лентой. Именно совершенствования смесителей, как базисного оборудования для подготовки компонентов шихты, является перспективным путем в вопросах повышения эффективности агломерационного и коксохимического производства. Целью данной работы стало определение рациональных кинематических параметров и геометрических параметров рабочего органа смесителя установленного над конвейерной лентой, что способствует повышению качества подготовки шихтовых материалов в горно-металлургической отрасли.

Методы исследования. В научной работе рассмотрены: методы аналитического исследования функционирования рабочего органа смесителя при горизонтальном движении слоя материала на конвейере; методы движения части материала на лопатке смесителя горизонтально-направленного действия.

Научная новизна заключается в установлении новых закономерностей, описывающих влияние конструктивных и режимных параметров рабочего органа смесителя на слой (и соответственно на часть) материала, которая движется на конвейерной ленте.

Практическая значимость. Результаты этой работы имеют практическое значение, так как полученные в ней зависимости дают возможность выбрать оптимальные кинематические параметры рабочего органа смесителя непрерывного действия и повысить качество подготовки шихтовых материалов перед их использованием.

Результаты. Работа сопровождается математическими уравнениями, с помощью которой является возможность установки рациональных параметров основных элементов роторного смесителя непрерывного действия, который устанавливается непосредственно над конвейерной лентой, эти уравнения станут основой для проектирования прототипа лопатки роторного смесителя, что в свою очередь является перспективным средством повышения эффективности существующей конструктивной схемы.

Ключевые слова: смеситель, материал, лопатка, технический объект, шихта.

Zaselskiy V. I., Shvedi S. V., Zaselski I.V., Shepelenko M. I. Functioning of the mixer working authority at the horizontal movement of the layer material on the conveyor

Purpose. Freight volumes of charge materials in the mining and metallurgical complex are determined in millions of tons every year. This is due to the use of these materials in the mining and coking industry. At long transportation the components of such materials (coal, ores, ore concentrates, fluxes), which have a certain natural moisture, freeze in winter and in addition they are crushed and segregated, which leads to: deterioration of unloading operations, which reduces the quality of metallurgical preparation and as a consequence, the cost of finished metallurgical products increases and there is an additional cost to prepare them. Thus, the use of charge materials is preceded by additional loosening and mixing, preferably using continuous mixers mounted above the conveyor belt. Improvement of mixers, as a basic equipment for the preparation of charge components, is a promising way in improving the efficiency of sintering and coke production. The purpose of this work was to determine the rational kinematic parameters and geometric parameters of the working body of the mixer mounted above the conveyor belt, which helps to improve the quality of the preparation of charge materials in the mining and metallurgical industry.

Research methods. In the scientific work are considered: methods of analytical study of the functioning of the working body of the mixer when the horizontal movement of a layer of material on the conveyor; methods of movement of part of the material on the blade of the mixer mountain-directional action.

Scientific novelty. The established new patterns that describe the influence of the design and mode parameters of the mixer working body on the layer (and accordingly part) of the material moving on the conveyor belt.

Practical value. The results of this work are of practical importance, since the dependences obtained in it make it possible to select rational kinematic parameters of the working body of a continuous mixer and to improve the quality of preparation of charge materials before their further use.

Results. The work is accompanied by mathematical equations, with which it is possible to establish rational parameters of the main elements of continuous rotary mixer, mounted directly above the conveyor belt, which will be the basis for the design of the prototype of the rotor blade, which in turn is a promising tool for increasing.

Key words: mixer, material, scapula, technical object, charge.

УДК 621.926.9

Кравцова Д.Ю., Реброва С.В., Дубровський С.С. Методика та устаткування для дослідження полімерного композиційного матеріалу на стійкість абразивному зношуванню

Мета. Метою дослідження є розробка ефективної методики та експериментального обладнання для випробовування нових матеріалів, у тому числі полімерних композиційних, на стійкість абразивному зношуванню.

Методи дослідження. Розглянуто кілька відомих методів дослідження абразивного зношування і розроблено на їх основі експериментальне обладнання для вивчення нових матеріалів, змодельоване необхідне абразивне середовище, яке максимально наближене до умов експлуатації. Описано принцип роботи обладнання, що розроблене авторами за стандартом ASTM. Обладнання засноване на моделюванні процесу зносу поверхні випробовуваного зразка матеріалу, що контактує під навантаженням із поверхнею фрикційного колеса, яке обертається, із додаванням частинок абразивної маси в зону контакту.

Наукова новизна. Конструкція обладнання дозволяє досліднику регулювати величину навантаження, швидкість обертання колеса, подачу кількості частинок абразивної маси, змінювати хімічний склад абразивних часток. Є можливість встановлення додаткових датчиків. Все це робить його універсальним для випробувань будь-яких матеріалів та імітації будь-яких умов експлуатації на різних виробництвах. Конструкція обладнання включає у себе прозорий захисний корпус, витяжку продуктів зношування та пилу.

Практична значимість. Таким чином, обладнання відповідає нормам наукового експерименту та безпечно для дослідника. Наведено переваги використання такого методу дослідження матеріалів на стійкість абразивному зношуванню і методику розрахунку продукту зношування.

Результати. У статті показано актуальність дослідження фізико-механічних та експлуатаційних властивостей нових матеріалів для деталей машин, які працюють у екстремальних умовах гірничо-збагачувального виробництва. Розроблене експериментальне обладнання з метою подальших досліджень нових полімерних композиційних матеріалів. У зв'язку з масовою пропозицією нових матеріалів їх лабораторне дослідження необхідне для скорочення фінансових витрат та робочого часу підприємств. Налаштування розробленого експериментального обладнання може імітувати будь-які експлуатаційні умови.

Ключові слова: нові матеріали, полімерні композиційні матеріали, абразивне зношування, зношування деталей машин, експериментальне обладнання, експлуатаційні умови.

Кравцова Д.Ю., Реброва С.В., Дубровский С.С. Методика и оборудование для исследования полимерного композиционного материала на устойчивость абразивному износу

Цель. Целью исследования является разработка эффективного метода и экспериментального оборудования для испытания новых материалов, в том числе полимерных композиционных, на устойчивость абразивному износу.

Методы исследования. Рассмотрены несколько известных методов исследования абразивного износа и разработана на их основе экспериментальное оборудование для изучения новых материалов, смоделирована необходимая абразивная среда, максимально приближенная к условиям эксплуатации. Описан принцип работы оборудования, разработанного авторами по стандарту ASTM. Оборудование основано на моделировании процесса износа поверхности испытываемого образца материала, контактирующего под нагрузкой с поверхностью фрикционного колеса, которое вращается, с добавлением частиц абразивной массы в зону контакта.

Научная новизна. Конструкция оборудования позволяет исследователю регулировать величину нагрузки, скорость вращения колеса, подачу количества частиц абразивной массы, изменять химический состав абразивных частиц. Есть возможность установки дополнительных датчиков. Все это делает его универсальным для испытаний любых материалов и имитации любых условий эксплуатации на различных производствах. Конструкция оборудования включает в себя прозрачный защитный корпус, вытяжку продуктов износа и пыли.

Практическое значение. Таким образом, оборудование соответствует нормам научного эксперимента и безопасно для исследователя. Показаны преимущества использования такого метода исследования материалов на устойчивость абразивному износу и методику расчета продукта износа.

Результаты. В статье показана актуальность исследования физико-механических и эксплуатационных свойств новых материалов для деталей машин, работающих в экстремальных условиях горно-обогатительного производства. Разработано экспериментальное оборудование с целью дальнейших исследований новых полимерных композиционных материалов. В связи с массовым предложением новых материалов их лабораторное исследование необходимо для сокращения финансовых затрат и рабочего времени предприятий. Настройка разработанного экспериментального оборудования может имитировать любые эксплуатационные условия.

Ключевые слова: новые материалы, полимерные композиционные материалы, абразивный износ, износ деталей машин, экспериментальное оборудование, эксплуатационные условия.

Kravtsova D.Yu., Rebrova S.V., Dubrovski S.S. Methodology and equipment for research of polymeric composite material on abrasive wear resistance

Purpose. The purpose of the study is to develop an effective method and experimental equipment for testing new materials, including polymer composites, for resistance to abrasive wear.

Research methods. Several well-known methods of abrasive wear research have been considered and the experimental equipment for the study of new materials has been developed based on them. The necessary abrasive environment is simulated. The principle of operation of the experimental equipment, developed by the authors according to ASTM standard, is described. The equipment is based on a simulation of the rolling friction process of the experimental material surface with the surface of the rotating friction wheel with load and the addition of particles of abrasive mass into the contact area.

Scientific novelty. The design of the equipment allows the researcher to adjust the amount of load, the speed of rotation of the wheel, the supply of particles of abrasive mass, to change the chemical composition of the abrasive particles. It is possible to install additional sensors. This makes it universal for testing any materials and simulating any operating conditions in various industries. The design of the equipment includes a transparent protective housing, an extractor hood of wear products and dust.

Practical value. Thus, the installation meets the standards of a scientific experiment and is safe for the researcher. The advantages of using this method of materials research for abrasion wear resistance and the methodology of calculating the wear product are shown.

Results. The article shows the relevance of the study of the physical, mechanical and operational properties of new materials for machine parts, which work in extreme conditions of mining and processing industry.

The equipment was created with the aim of further research of new polymer composite materials. Due to the mass supply of new materials, their laboratory testing is necessary to reduce the financial costs and working hours of enterprises. Setting up the developed experimental equipment can simulate any operating conditions.

Key words: new materials, polymer composite materials, abrasive wear, machine parts wear, experimental equipment, operating conditions.

УДК 528.4

Куліковська О. Є., Атаманенко Ю. Ю., Копайгора О. К. Результати аналізу базових функціональних характеристик мобільних додатків для землевпорядкування і кадастру

Мета. Дослідження базових функціональних характеристик мобільних геодезичних і картографічних додатків для забезпечення виконання кадастрових і землевпорядних робіт.

Методи дослідження. Теоретичну й методичну основу роботи становить сукупність загальнонаукових підходів, логічних законів побудови висновків, спеціальних методів пізнання, що безпосередньо зумовлено поставленою метою та завданнями дослідження. В якості методологічної основи дослідження використано сполучення «мобільні додатки». При виконанні завдань дослідження використано компоненти прикладних платформ Play Market компанії Google, ANDERBOT, APKGK, мобільних додатків «Геодезичне обладнання», CREDO_DAT Mobile, NextGIS Mobile, Trimble RTX. Інформаційною базою дослідження слугували монографії, підручники, збірники наукових праць, періодичні фахові видання, Інтернет-ресурси, матеріали науково-технічних конференцій.

Наукова новизна. Сформульовано критерії ефективності використання мобільних додатків для землевпорядних і кадастрових робіт, представлено можливості їх застосування у виробництві.

Практична значимість. Визначається цільовим спрямуванням даного дослідження для потреб фахівців землевпорядкування та кадастру країни. Відображено результати моніторингу базових функціональних характеристик мобільних геодезичних і картографічних сервісів та додатків, а саме сервісів Play Market компанії Google, ANDERBOT, APKGK, мобільних додатків «Геодезичне обладнання», CREDO_DAT Mobile, NextGIS Mobile, Trimble RTX, сформульовано критерії їх виробничої продуктивності, описано використання смартфонів для планування супутникових спостережень.

Результати. Виконано аналітичний огляд стану проблеми використання мобільних додатків геодезичного і картографічного спрямування для забезпечення проведення землевпорядних і кадастрових робіт, обґрунтовано їх роль у сучасному світі, проаналізовано вплив технологічного і технічного прогресу на діяльність геодезистів, землевпорядників в нових умовах, розроблена класифікація мобільних пристроїв і додатків, сформульовано проблеми безпеки застосування мобільних пристроїв, систем і додатків. Розглянуто перспективи удосконалення технології використання мобільних додатків для забезпечення геодезичних, землевпорядних і кадастрових робіт.

Ключові слова. Мобільний додаток, Trimble RTX CREDO_DAT Mobile, NextGIS Mobile, APKGK, ANDERBOT, кадастр, землевпорядкування.

Куликовская О. Е., Атаманенко Ю. Ю., Копайгора О. К. Результаты анализа базовых функциональных характеристик мобильных приложений для землеустройства и кадастра

Цель. Исследование базовых функциональных характеристик мобильных геодезических и картографических приложений для обеспечения выполнения кадастровых и землеустроительных работ.

Методы исследования. Теоретическую и методическую основу работы составляют совокупность общенаучных подходов, логических законов построения заключений, специальных методов познания, что непосредственно обусловлено поставленной целью и задачами исследования. В качестве методологической основы исследования использованы сообщения «мобильные приложения». При выполнении задач исследования использованы компоненты прикладных платформ Play Market компании Google, ANDERBOT, APKGK, мобильных приложений «Геодезическое оборудование», CREDO_DAT Mobile, NextGIS Mobile, Trimble RTX. Информационной базой исследования служили монографии, сборники научных трудов, периодические специализированные издания, Интернет-ресурсы, материалы научно-технических конференций.

Научная новизна. Сформулированы критерии эффективности использования мобильных приложений для землеустроительных и кадастровых работ, представлены возможности их применения в производстве.

Практическая значимость. Определяется целевым направлением данного исследования для нужд специалистов землеустройства и кадастра страны. Отражены результаты мониторинга базовых функциональных характеристик мобильных геодезических и картографических сервисов и приложений, а именно сервисов Play Market компании Google, ANDERBOT, APKGK, мобильных приложений «Геодезическое оборудование», CREDO_DAT Mobile, NextGIS Mobile, Trimble RTX, сформулированы критерии их производственной производительности, описано использование смартфонов для планирования спутниковых наблюдений.

Результаты. Выполнен аналитический обзор состояния проблемы использования мобильных приложений геодезического и картографического направления для обеспечения проведения землеустроительных и кадастровых работ, обоснована их роль в современном мире, проанализировано влияние технологического и технического прогресса на деятельность геодезистов, землеустроителей в новых условиях, разработана классификация мобильных устройств и приложений, сформулированы проблемы безопасности применения мобильных устройств, систем и приложений. Рассмотрены перспективы совершенствования технологии использования мобильных приложений для обеспечения геодезических, землеустроительных и кадастровых работ.

Ключевые слова. Мобильное геодезическое приложение, Trimble RTX CREDO_DAT Mobile, NextGIS Mobile, APKGK, ANDERBOT, кадастр, землеустройство.

Kulikowska O.Ye., Atamanenko Yu.Yu., Kopaihora O.K. Analysis results of basic functional characteristics of land management and cadastre mobile applications

Purpose. Research of basic functional characteristics of mobile geodesic and cartographic applications for ensuring the implementation of cadastral and land management works.

Research methods. The theoretical and methodological basis of the work is a set of General scientific approaches, logical laws for constructing conclusions, and special methods of cognition, which is directly determined by the goal and objectives of the study. The «mobile apps» messages were used as the methodological basis of the study. Components of Google's Play Market application platforms, ANDERBOT, APKGK, Geodesic equipment mobile applications, CREDO_DAT Mobile, NextGIS Mobile, and Trimble RTX were used to perform research tasks. The information base of the research was monographs, collections of scientific works, periodical specialized publications, and Internet resources, materials of scientific and technical conferences.

Scientific novelty. Criteria for the efficiency of using mobile applications for land management and cadastral works are formulated, and opportunities for their use in production are presented.

Practical value. It is determined by the target direction of this study for the needs of specialists in land management and cadastre of the country. The results of monitoring the basic functional characteristics of mobile geodetic and cartographic

services and applications, namely Google Play Market services, ANDERBOT, APKGK, mobile applications «Geodetic equipment», CREDO_DAT Mobile, NextGIS Mobile, Trimble RTX, are presented. the criteria for their production performance are formulated, and the use of smartphones for planning satellite observations is described.

Results. Performed an analytical review of the problem of the use of mobile applications, surveying areas to accommodate land survey and cadastral works, justified by their role in the modern world, analyzes the impact of technological and technical progress on the activities of surveyors, land surveyors in new conditions, developed a classification of mobile devices and applications, defines the problems of the safe use of mobile devices, systems and applications. The prospects for improving the technology of using mobile applications for geodetic, land management and cadastral works are considered.

Key words. Mobile geodesic app, Trimble RTX CREDO_DAT Mobile, NextGIS Mobile, APKGK, ANDERBOT, cadastre, land management.

УДК 621.7.022.6

Моркун В.С., Кравченко О.М. Моделирование процесса очищения виробів складної конфігурації високоенергетичним ультразвуком

Мета. Визначення найбільш ефективних програмних продуктів для моделювання розповсюдження ультразвукових хвиль в процесі очищення виробничого устаткування за допомогою високоінтенсивного акустичного опромінення та побудова тривимірної моделі для дослідження просторової розподіленості процесу очищення.

Методи дослідження. Аналіз наявних програмних продуктів для моделювання розповсюдження ультразвукових хвиль, їхніх особливостей та методів, на яких вони базуються. Моделювання процесу ультразвукового очищення на основі обраного програмного засобу.

Наукова новизна. На основі проведеного аналізу наявних систем моделювання обрано підхід, що забезпечує максимально точно та швидко моделювання поля акустичного тиску в процесі ультразвукового очищення, побудовано тривимірну модель процесу ультразвукового очищення виробу складної конфігурації. Визначено закономірності віддзеркалень ультразвукових хвиль під час очищення.

Практична значимість. Визначено оптимальний з точки зору точності та тривалості процедури вирішення сформульованої задачі програмний засіб для моделювання процесу ультразвукового очищення та побудовано тривимірну модель, аналіз якої надає змогу зробити висновки щодо формування цілеспрямованого керуючого впливу ультразвуковим джерелом в залежності від даних, що отримані датчиками тиску.

Результати. На основі аналізу програмних засобів для моделювання розповсюдження ультразвукових хвиль та принципів і методів, які є їхньою основою, обрано найбільш оптимальний варіант для моделювання процесу ультразвукового очищення за критеріями точності та тривалості цієї процедури. За допомогою обраного програмного засобу побудовано тривимірну модель процесу очищення та зроблено аналіз результатів вимірювань ультразвукових датчиків. Виявлено, що у процесі очищення найменшу дисперсію тиску має найближчий до забруднення датчик. Під час очищення (при моделюванні відбувається зменшення товщини забруднення) відхилення акустичного тиску найближчого до забруднення датчика починають збільшуватись в обох напрямках, набуваючи максимального значення, коли тіло очищене. Отже, для визначення результатів очищення доцільно формувати цілеспрямований керуючий вплив інтенсивним ультразвуком з урахування відносних змін та дисперсії акустичного тиску в обраних точках контролю.

Ключові слова: ультразвукове очищення, моделювання, програмний засіб, ультразвуковий тиск.

Моркун В.С., Кравченко О.М. Моделирование процесса очистки изделий сложной конфигурации высокоэнергетическим ультразвуком

Цель. Определение наиболее эффективных программных продуктов для моделирования распространения ультразвуковых волн в процессе очистки производственного оборудования с помощью высокоинтенсивного акустического облучения и построение трехмерной модели для исследования пространственной распределенности процесса очистки.

Методы исследования. Анализ имеющихся программных продуктов для моделирования распространения ультразвуковых волн, их особенностей и методов, на которых они базируются. Моделирование процесса ультразвукового очистки на основе избранного программного средства.

Научная новизна. На основе проведенного анализа имеющихся систем моделирования избран подход, который обеспечивает максимально точное и быстрое моделирование поля акустического давления в процессе ультразвуковой очистки, разработана трехмерная модель процесса ультразвуковой очистки изделия сложной конфигурации. Определены закономерности отражений ультразвуковых волн во время очистки.

Практическая значимость. Определено программное средство, являющееся оптимальным с точки зрения точности и продолжительности процедуры решения сформулированной задачи и позволяющее моделировать процесс ультразвуковой очистки. Разработана трехмерная модель, анализ которой позволяет разработать алгоритм целенаправленного управляющего влияния ультразвуковым источником в зависимости от данных, полученных датчиками давления.

Результаты. На основе анализа программных средств для моделирования распространения ультразвуковых волн, принципов и методов, являющихся их основой, избран наиболее оптимальный вариант для моделирования процесса ультразвукового очистки согласно критериям точности и продолжительности этой процедуры. С помощью избранного программного средства построено трехмерную модель процесса очистки и сделано анализ результатов измерений ультразвуковых датчиков. Виявлено, что в процессе очистки наименьшую дисперсию давления имеет ближайший к загрязнению датчик. Во время очистки (при моделировании происходит уменьшение толщины загрязнения) отклонение акустического давления ближайшего к загрязнению датчика начинают увеличиваться в обоих направлениях, приобретая максимального значение, когда тело очищено. Таким образом, для определения результатов очистки целесообразно формировать целенаправленное управляющее влияние интенсивным ультразвуком с учетом относительных изменений и дисперсии акустического давления в избранных точках контроля.

Ключевые слова: ультразвуковая очистка, моделирование, программное средство, ультразвуковое давление.

Morkun V.S., Kravchenko O.M. Modeling the process of cleaning products of a complex configuration by high-energy ultrasound

Purpose. The identification of the most effective software for simulation the propagation of ultrasonic waves in the cleaning process of production equipment using high-intensity acoustic irradiation and construction of a three-dimensional model for the research of the spatial distribution of the cleaning process.

Research methods consist in the analysis of existing software for simulation the propagation of ultrasonic waves, their features and the methods on which they are based. Modeling of the ultrasonic cleaning process based on the selected software.

Scientific novelty is to identify the approach was chosen that provides the most accurate and fast simulation of the acoustic pressure field in the process of ultrasonic cleaning. The patterns of reflection of ultrasonic waves during cleaning are determined.

Practical value is in defining the software for simulation the ultrasonic cleaning process, which is optimal in terms of accuracy and duration of the solution of the formulated problem. The three-dimensional model is designed. It allows drawing conclusions about the purposeful control of the ultrasonic source depending on the obtained pressure.

Results. Based on the analysis of the software for simulation the propagation of ultrasonic waves and their principles and methods, the most optimal variant for simulation the process of ultrasonic cleaning according to the criteria of accuracy and duration of this procedure is selected. Using the selected software, a three-dimensional model of the purification process is designed and the results of ultrasonic sensor measurements are analyzed. It has been found that the closest to the contamination sensor has the smallest dispersion of pressure in the cleaning process. During the cleaning process (simulation decreases in contamination thickness), the deviations of the acoustic pressure of the sensor closest to the contamination begin to increase in both directions, reaching a maximum value when the body is cleaned. Therefore, in order to determine the results of cleaning, it is advisable to form a purposeful control action by intensive ultrasound, taking into account the relative changes and dispersion of acoustic pressure at the selected control points.

Key words: ultrasonic cleaning, modeling, software, ultrasonic pressure.

UDK 331.101.38:622.012

Kutova N.G., Shakhno A.Y., Demianenko K.O. Influence of factors on the personnel incentives of the industrial enterprises

Purpose. To conduct diagnostics of personnel incentives, by which it is necessary to establish the influence of certain factors on the productivity of personnel at enterprises.

Research methods. The methods of statistical analysis, regression analysis, modelling of economic indicators using MS Excel are used.

Scientific novelty lies in the identification of significant factors for the stimulation of personnel in the formation of a system of its evaluation in improving the economic mechanism of incentives for the personnel at enterprises.

Practical value is that the results of the study revealed the most problematic aspects of the employee incentive system, and suggested a systematic approach to improve the process of forming an economic incentive mechanism for enterprise personnel.

Results. The efficiency of industrial enterprises personnel use was analyzed on the basis of comparing the level of labour productivity and the average monthly salary of the personnel, the indicators of productivity of labour and payment of management and industrial-production personnel were calculated. The study of the dynamics of the basic and additional pay growth rates, incentives and compensation in the payroll of the management staff of enterprises showed that accrued bonuses in the payroll fund have a negative tendency. The interdependence between business performance and personnel incentives has been identified. This analysis has revealed the negative impact of certain factors on labour productivity, the main ones being the imperfection of the current labour legislation, the lack of proper control over its observance, the spread of opacity in labour relations and the reduction of social protection of workers.

Key words: personnel, personnel incentives, diagnostics, personnel use evaluation, labour productivity, payroll, labour incentive issues.

Кутова Н.Г., Шахно А. Ю., Дем'яненко К.О. Визначення впливу чинників на стан стимулювання персоналу промислових підприємств

Мета. Метою даної роботи є проведення діагностики стимулювання персоналу, за допомогою якого необхідно встановити вплив певних чинників на результативність праці персоналу підприємств.

Методи дослідження. У роботі використано методи статистичного аналізу, регресійного аналізу, моделювання економічних показників за допомогою MS Excel.

Наукова цінність полягає в виявленні значимих чинників на стимулювання персоналу при формування системи його оцінювання при вдосконаленні економічного механізму стимулювання персоналу підприємств.

Практична значимість полягає у тому, що результати дослідження дозволили виявити найбільш проблемні сторони системи стимулювання працівників, запропонувати системний підхід в основу вдосконалення процесів формування економічного механізму стимулювання персоналу підприємств.

Результати. Проведено аналіз ефективності використання персоналу промислових підприємств на основі порівняння рівня продуктивності праці та середньомісячної заробітної плати персоналу, розраховано показники продуктивності праці та заробітної плати управлінського та промислово-виробничого персоналу. Дослідження динаміки темпів зростання основної та додаткової оплати, заохочень і компенсаційних виплат у фонді заробітної плати управлінського персоналу підприємств показало, що нараховані премії у фонді додаткової оплати праці мають негативну тенденцію. Визначено взаємозв'язок між результативним показником діяльності підприємств та стимулюванням персоналу. За допомогою даного аналізу встановлено негативний вплив певних чинників на продуктивність праці, основними з яких є недосконалість чинного трудового законодавства, відсутність належного контролю за його дотриманням, поширення непрозорості в трудових відносинах та зниження соціальної захищеності працівників.

Ключові слова: персонал, стимулювання персоналу, діагностика, оцінювання використання персоналу, продуктивність праці, фонд оплати праці, проблеми стимулювання праці.

Кутовая Н.Г., Шахно А. Ю., Демьяненко К.А. Определение влияния факторов на состояние стимулирования персонала промышленных предприятий

Цель. Целью данной работы является проведение диагностики стимулирования персонала, с помощью которой необходимо установить влияние определенных факторов на результативность труда персонала предприятий.

Методы исследования. В работе использованы методы статистического анализа, регрессионного анализа, моделирования экономических показателей с помощью MS Excel.

Научная ценность заключается в выявлении значимых факторов на стимулирование персонала при формировании системы его оценки при совершенствовании экономического механизма стимулирования персонала предприятий.

Практическая значимость заключается в том, что результаты исследования позволили выявить наиболее проблемные стороны системы стимулирования работников, предложить системный подход в основу совершенствования процессов формирования экономического механизма стимулирования персонала предприятий.

Результаты. Проведен анализ эффективности использования персонала промышленных предприятий на основе сравнения уровня производительности труда и среднемесячной заработной платы персонала, рассчитаны показатели производительности труда и заработной платы управленческого и промышленно-производственного персонала. Исследование динамики темпов роста основной и дополнительной оплаты, поощрений и компенсационных выплат в фонде заработной платы управленческого персонала предприятий показало, что начисленные премии в фонде дополнительной оплаты труда имеют отрицательную тенденцию. Определена взаимосвязь между результативным показателем деятельности предприятий и стимулированием персонала. С помощью данного анализа установлено негативное влияние определенных факторов на производительность труда, основными из которых являются несовершенство действующего трудового законодательства, отсутствие надлежащего контроля за его соблюдением, распространение непрозрачности в трудовых отношениях и снижение социальной защищенности работников ..

Ключевые слова: персонал, стимулирования персонала, диагностика, оценка использования персонала, производительность труда, фонд оплаты труда, проблемы стимулирования труда.

УДК 622.684

Пахомов В.І., Гірін І.В., Гірін В.С. Дослідження та розробка заходів, спрямованих на зниження токсичності викидів промислового автотранспорту

Мета. Основною метою роботи є кількісна оцінка забруднення атмосфери викидами автотранспорту підприємств в умовах Кривбасу і розробка аналітичної методики комплексного підвищення екологічної безпеки шляхом зниження рівня шкідливих викидів від промислової автотехніки в навколишнє середовище.

Методи дослідження. В роботі використовувалися як теоретичні (математичне моделювання, використання теорії планування експерименту), так і експериментальні методи дослідження. Також застосовується ряд приватних методів: аксіоматичний і гіпотетичний методи, аналіз та синтез, метод інтерпретації. Вихідні дані були отримані шляхом обстеження міських транспортних магістралей і аналізу автотранспортних потоків гірничодобувних підприємств м.Кривого Рогу.

Наукова новизна. В роботі отримані наступні наукові результати: розроблено метод прогнозу забруднення повітря автотранспортом для окремих ділянок автодоріг; розроблені статистичні схеми прогнозу шкідливих викидів автотранспорту за матеріалами спостережень в Кривбасі; розроблені методичні підходи прогнозування забруднення повітря автотранспортом на перспективу з урахуванням запланованих заходів щодо зниження промислового транспортного навантаження на атмосферне повітря; розроблена методика обстеження складу і інтенсивності викидів потоку промислового автотранспорту.

Практична значимість роботи. Розроблені модель, методика і програма розрахунку показників режиму руху і питомої витрати палива на 1т км виконаної транспортної роботи дозволяють для конкретних умов експлуатації обґрунтовано визначити оптимальний режим руху транспортних засобів, який поряд з максимальною умовною питомою продуктивністю забезпечуватимуть зниження концентрації шкідливих викидів рухомого складу під час експлуатації.

Результати. Розроблено методику щодо ефективної експлуатації промислового автотранспорту, яка дозволяє істотно підвищити екологічний ККД рухомого складу. Запропоновано рекомендації щодо зниження автотранспортного забруднення повітряного середовища міста, які ґрунтуються на організаційних, технологічних і конструктивних рішеннях. На підставі проведених розрахунків полів концентрацій шкідливих викидів розроблений комплекс заходів щодо зниження рівня забруднення від промислового автотранспорту, який може бути використаний в виробничих програмах,

Ключові слова: промисловий автотранспорт, експлуатаційні властивості, електромагнітний паливний фільтр.

Пахомов В.И., Гирин И.В., Гирин В.С. Исследование и разработка мероприятий, направленных на снижение токсичности выбросов промышленного автотранспорта

Цель. Основной целью работы является количественная оценка загрязнения атмосферы выбросами автотранспорта предприятий в условиях Кривбасса и разработка аналитической методики комплексного повышения экологической безопасности путем снижения уровня вредных выбросов от промышленной автотехники в окружающую среду.

Методы исследования. В работе использовались как теоретические (математическое моделирование, использование теории планирования эксперимента), так и экспериментальные методы исследования. Также применяется ряд частных методов: аксиоматический и гипотетический методы, анализ и синтез, метод интерпретации. Исходные данные были получены путем обследования городских транспортных магистралей и анализа автотранспортных потоков горнодобывающих предприятий г.Кривого Рога.

Научная новизна. В работе получены следующие научные результаты: разработан метод прогноза загрязнения воздуха автотранспортом для отдельных участков автодорог; разработаны статистические схемы прогноза вредных

выбросов автотранспорта по материалам наблюдений в Кривбассе; разработаны методические подходы прогнозирования загрязнения воздуха автотранспортом на перспективу с учетом планируемых мероприятий по снижению промышленной транспортной нагрузки на атмосферный воздух; разработана методика обследования состава и интенсивности выбросов потока промышленного автотранспорта.

Практическая значимость. Разработанные модель, методика и программа расчета показателей режима движения и удельного расхода топлива на 1 т км выполненной транспортной работы позволяют для конкретных условий эксплуатации обоснованно определить оптимальный режим движения транспортных средств, который наряду с максимальной условной удельной производительностью будут обеспечивать снижение концентрации вредных выбросов подвижного состава во время эксплуатации.

Результаты. Разработана методика по эффективной эксплуатации промышленного автотранспорта, которая позволяет существенно повысить экологический КПД подвижного состава. Предложены рекомендации по снижению автотранспортного загрязнения воздушной среды города, которые основываются на организационных, технологических и конструктивных решениях. На основании проведенных расчетов полей концентраций вредных выбросов разработан комплекс мероприятий по снижению уровня загрязнения от промышленного автотранспорта, который может быть использован в производственных программах.

Ключевые слова: промышленный автотранспорт, эксплуатационные свойства, электромагнитный топливный фильтр.

Pakhomov V.I., Hirin I.V., Hirin V.S. Research and development of measures aimed at reducing the emission toxicity of industrial vehicles

Purpose. To quantify atmospheric pollution by automobile emissions from enterprises in Kryvbas and develop the analytical methodology for comprehensive improvement of environmental safety by reducing the harmful emissions from industrial vehicles.

Research methods. Theoretical (mathematical modeling, the theory of experimental design) and experimental research methods are used. A number of particular methods are as follows: axiomatic and hypothetical methods, analysis and synthesis, interpretation methods. Initial data were obtained by examining urban transport routes and analyzing the traffic flows of mining enterprises in Kryvyi Rih.

Scientific novelty. The method for predicting air pollution by vehicles for certain sections of roads, statistical schemes for forecasting harmful emissions of vehicles based on observational data in Kryvbas, methodological approaches for predicting air pollution by vehicles for the future are based on the planned measures to reduce the industrial transport load on atmospheric air; a technique for examining the composition and intensity of emissions from industrial vehicles has been developed.

Practical value. The developed model, methodology and program for calculating the indicators of the mode of movement and specific fuel consumption per 1 t km of transport work performed allow to reasonably determine the optimal mode of movement of vehicles for specific operating conditions, which along with the maximum conventional specific productivity ensure a decrease in the concentration of harmful emissions of rolling stock during operating time.

Results. The methodology for the efficient operation of industrial vehicles has been developed. The later can significantly increase the environmental efficiency of rolling stock. Recommendations on reducing road pollution of the environment based on organizational, technological and structural solutions are proposed. The calculations of the harmful emissions concentration and a set of measures to reduce the pollution from industrial vehicles have been developed and can be used in production programs.

Key words: industrial vehicles, operational properties, electromagnetic fuel filter.

УДК 622.271.4:622.271.32-027.235

Луценко С.А. Определение объемов ликвидации вскрышного отставания при изменении производительности карьера по руде

Цель. Для увеличения производительности карьера по руде необходимо произвести расширение рабочих площадок с целью ликвидации вскрышного отставания. В таких условиях составление производственных программ предприятий, а в последующем и их выполнение, становится все более проблематичным, что подтверждается практикой производства, поэтому в первую очередь необходимо определить годовые объемы ликвидации вскрышного отставания. Целью данной работы является усовершенствование научно-методической базы в области проектирования и планирования открытых горных работ путем разработки критериев и методов определения годовых объемов ликвидации вскрышного отставания, обеспечивающих в карьере нормальные условия добычи полезного ископаемого при изменении его производительности, которые должны учитывать взаимосвязь параметров системы разработки, исходя из условия обеспечения нормативного объема готовых к выемке запасов.

Методы исследования. При определении годовых объемов ликвидации вскрышного отставания необходимо исходить из граничных объемов ликвидации вскрышного отставания, а также количества горного оборудования, которое предусмотрено для обеспечения производственной мощности по горной массе. При этом необходимо учитывать взаимосвязь параметров системы разработки, которые обеспечивают в карьере необходимый объем готовых к выемке запасов.

Научная новизна. Предложенная методика определения годовых объемов ликвидации вскрышного отставания при изменении производительности карьера по руде позволяет учитывать взаимосвязь режима горных работ и производительности карьера по руде при условии обеспечения в карьере норматива готовых к выемке запасов.

Практическая значимость. Результаты выполненных исследований могут быть использованы проектными организациями и горнодобывающими предприятиями при определении производительности карьера по руде.

Результаты. Разработана методика определения оптимальных годовых объемов ликвидации вскрышного отставания при изменении производительности карьера по руде, а также критерий оценки вариантов работы карьера в условиях

ликвідації вскрішного отставання. Определена область возможных вариантов производительности по руде в переходные периоды работы карьера.

Ключевые слова: железорудные карьеры; вскрішные работы; коэффициент вскріши; отставание вскрішных работ.

Луценко С.О. Визначення обсягів ліквідації розкривного відставання при зміні продуктивності кар'єру за рудою

Мета. Для збільшення продуктивності кар'єру за рудою необхідно зробити розширення робочих майданчиків з метою ліквідації розкривного відставання. В таких умовах складання виробничих програм підприємств, а в подальшому і їх виконання, стає все більш проблематичним, що підтверджується практикою виробництва, тому в першу чергу необхідно визначити річні обсяги ліквідації розкривного відставання. Метою даної роботи є удосконалення науково-методичної бази в області проектування і планування відкритих гірничих робіт шляхом розробки критеріїв і методів визначення річних обсягів ліквідації розкривного відставання, що забезпечують в кар'єрі нормальні умови видобутку корисних копалин при зміні його продуктивності, які повинні враховувати взаємозв'язок параметрів системи розробки, виходячи з умови забезпечення нормативного обсягу готових до виймання запасів.

Методи дослідження. При визначенні річних обсягів ліквідації розкривного відставання необхідно виходити з граничних обсягів ліквідації розкривного відставання, а також кількості гірничого устаткування, яке передбачено для забезпечення виробничої потужності за гірничою масою. При цьому необхідно враховувати взаємозв'язок параметрів системи розробки, які забезпечують в кар'єрі необхідний обсяг готових до виймання запасів.

Наукова новизна. Запропонована методика визначення річних обсягів ліквідації розкривного відставання при зміні продуктивності кар'єру за рудою, що дозволяє враховувати взаємозв'язок режиму гірничих робіт і продуктивності кар'єру за рудою за умови забезпечення в кар'єрі нормативу готових до виймки запасів.

Практична значимість. Результати виконаних досліджень можуть бути використані проектними організаціями і гірничодобувними підприємствами при визначенні продуктивності кар'єру за рудою.

Результати. Розроблено методику визначення оптимальних річних обсягів ліквідації розкривного відставання при зміні продуктивності кар'єру за рудою, а також критерій оцінки варіантів роботи кар'єру в умовах ліквідації розкривного відставання. Визначено область можливих варіантів продуктивності за рудою в перехідні періоди роботи кар'єру.

Ключові слова: залізрудні кар'єри; розкривні роботи; коефіцієнт розкриву; відставання розкривних робіт.

Lutsenko S .A. Determination of volumes of the overburden works gap elimination during changing an open-pit ore productivity

Purpose. In order to increase the productivity of the ore open pit, it is necessary to make widening of the work sites in order to eliminate the gap of overburden works. In such conditions, the preparation of production programs of enterprises, and subsequently their implementation, becomes more problematic, which is confirmed by the practice of production, so first of all it is necessary to determine the annual amount of elimination of the overburden works gap. The purpose of this work is to improve the scientific and methodological base in the field of designing and planning of open-pit mining works by developing criteria and methods for determining the annual volume of elimination of the overburden works gap, which provides in the open-pit normal conditions for mining while changing its productivity, which should take into account the interrelation of parameters of the development system, based on the condition of ensuring a standard volume of ready-to-extract rocks.

Research methods. In determining the annual volumes of liquidation of the backlog, it is necessary to proceed from the maximum volumes of liquidation of the backlog, as well as the amount of mining equipment, which is provided to ensure production capacity by mining weight. It is necessary to take into account the relationship of the parameters of the development system, which provide the required amount of quarries ready for extraction in the quarry.

Scientific novelty. The proposed methodology for determining the annual volume of liquidation of the overburden gap when changing the ore productivity of the open pit allows you to take into account the relationship between the mining regime and the productivity of the open pit, providing the standard of ready-to-remove minerals.

Practical value. The results of the performed research can be used by design organizations and mining enterprises in determining the productivity of the open pit on ore.

Results. The method of determination of optimal annual volumes of liquidation of the overburden lag in the course of changing the ore productivity of the open pit, as well as the criterion of evaluation of open pit options in the conditions of the elimination of the overburden lag is developed. The range of possible ore productivity variants in the transition periods of the open pit mine is determined.

Key words: iron ore open pits, overburden works, overburden ratio, gap of overburden works.

УДК 622.2

Римарчук Б.І., Шепель О.І., Худик М.В. Про питання зниження гірничого тиску при випуску руди з обвалених блоків

Мета. Метою даної роботи є аналіз досліджень ефективності випуску руди, як основного процесу підземних гірничих робіт при системах розробки підповерхового обвалення руди й вміщувальних порід, які забезпечують покращення параметрів випуску руди.

Методи дослідження. У роботі використано такі методи: детальний аналіз та дослідження вітчизняного досвіду випуску обваленої руди з панелей та блоків, що актуальний на теперішній час; аналітичні дослідження процесу випуску руди по всій площині блоку при горизонтальному контакті між рудою й налягаючими породами й відсутності сильного гірського тиску на підготовчі виробки; експериментальні дослідження випуску руди в лабораторних умовах на моделях максимально приближених до реальних умов; програмні методи для оброблення результатів експериментів.

Наукова новизна. В процесі аналізу випуску руди по всій площині панелі або блоку припущено, що випуск обваленої руди із блоку або панелі викликає перерозподіл тиску в зоні очисних робіт. Встановлено закономірності зміни тиску обвалених порід на днищі блоку при розробці потужних крутоспадних покладів великого простягання. Наве-

дено певні співвідношення між вихідними параметрами, за якими можна регулювати величину тиску обвалених порід у широких межах. Обґрунтовано залежність змінення абсолютної величини тиску зі збільшенням розміру блоку за простяганням (вхрест простягання).

Практична значимість. Пропонується ефективний спосіб і порядок підготовки, розташування й перетин виробок. Для практичного застосування на шахтах рекомендовано застосовувати безціликовий спосіб підготовки блоків. Запропоновано оптимальні параметри блоку при системі підповерхового обвалення руди та вміщувальних порід.

Результати. На підставі виконаних лабораторних досліджень випуску руди в окремому блоці, розташованому довгою стороною вхрест простягання покладу, величина й характер розподілу тиску обвалених порід на дніщі в основному залежить від розмірів блоку за простяганням. Зі збільшенням розміру блоку за простяганням зростає не тільки абсолютна величина тиску, але й нерівномірність його розподілу. Приведено напрям подальших досліджень та основні пункти його змісту.

Ключові слова: руда, технологія, випуск, відбійка, гірський тиск, дослідження.

Римарчук Б.И., Шепель А.Л., Худик Н.В. О вопросе снижения горного давления при выпуске руды из обрушенных блоков

Цель. Целью данной работы есть анализ исследований эффективности выпуска руды, как основного процесса подземных горных работ при системах разработки подэтажного обрушения руды и вмещающих пород, которые обеспечивают улучшение параметров выпуска руды.

Методы исследования. В работе использованы такие методы: детальный анализ и исследования отечественного опыта выпуска обрушенной руды из панелей и блоков, который актуален на настоящее время; аналитические исследования процесса выпуска руды по всей плоскости блока при горизонтальном контакте между рудой и налегающими породами и отсутствии сильного горного давления на подготовительные выработки; экспериментальные исследования выпуска руды в лабораторных условиях на моделях максимально приближенных к реальным условиям; программные методы для обработки результатов экспериментов.

Научная новизна. В процессе анализа выпуска руды по всей плоскости панели или блока предположено, что выпуск обрушенной руды из блока или панели вызывает перераспределение давления в зоне очистных работ. Установлено закономерности изменения давления обрушенных пород на дніще блока при разработке мощных крутопадающих залежей большого простирания. Приведены определенные соотношения между исходными параметрами, по которым можно регулировать величину давления обрушенных пород в широких пределах. Обосновано зависимость изменения абсолютной величины давления с увеличением размера блока по простиранию (вкрест простирания).

Практическая значимость. Предлагается эффективный способ и порядок подготовки, расположение и сечение выработок. Для практического применения на шахтах рекомендовано применять бесцеликовый способ подготовки блоков. Предложены оптимальные параметры блока при системе подэтажного обрушения руды и вмещающих пород.

Результаты. На основании выполненных лабораторных исследований выпуска руды в отдельном блоке, расположенного длинной стороной вкрест простирания залежи, величина и характер распределения давления обрушенных пород на дніще в основном зависит от размеров блока по простиранию. С увеличением размера блока по простиранию возрастает не только абсолютная величина давления, но и неравномерность его распределения. Приведено направление дальнейших исследований и основные пункты его содержания.

Ключевые слова: руда, технология, выпуск, отбойка, горное давление, исследование.

Rymarchuk B.I., Shepel O.L., Khudyk M.V. On the decrease of the rock pressure at the ore drawing from the brought down blocks

Purpose. To analyze the efficiency of an ore drawing as a basic process of underground mining operations at sublevel caving of ore and adjacent strata which improve parameters of an ore drawing.

Research methods. The detailed analysis and researches of domestic experience in releasing the brought down ore from panels and blocks; analytical researches of an ore drawing on the block at horizontal contact between ore and leaning soils and absence of a strong rock pressure on development workings; ore drawing experimental researches in laboratory conditions on models as much as possible approached to real conditions; program methods for processing of results of experiments.

Scientific novelty. In the course of the ore drawing analysis on all plane of the panel or the block it is assumed, that release of the brought down ore from the block or the panel causes pressure redistribution in a zone of coal-face works. It is established laws of change of pressure of broken-down rocks on the block bottom at mining of thick steeply dipping deposits of the big prodeleting. Certain parities between initial parameters on which it is possible to regulate size of pressure of broken-down rocks over a wide range are resulted. It is proved dependence of change of absolute size of pressure with increase in the size of the block along the strike (across the strike).

Practical value. The effective way and a preparation order, a location and section of developments are offered. Practically it is recommended to apply this way without a whole preparation of blocks. Optimum parameters of the block are offered at system of a sublevel caving of ore and adjacent strata.

Results. On the basis of the research of an ore drawing in the separate block, located the long party the deposit across the strike, size and character of distribution of pressure of broken-down rocks on the bottom basically depends on the sizes of the block along the strike. With increase in the size of the block along the strike increases not only absolute size of pressure, but also non-uniformity of its distribution. The direction of the further researches and the basic points of its maintenance are resulted.

Key words: ore, technology, release, breaking, a rock pressure, research.

УДК 622.274.3:622.22

Письменний С.В. Підвищення вмісту заліза в видобутий рудній масі при відпрацюванні багатих залізних руд у умовах розвитку гірського тиску

Мета. Метою виконаних досліджень є підвищення показників вилучення рудної маси при розробці багатих залізних

руд за рахунок зміни форми очисної камери та обґрунтування її стійких параметрів в умовах прояву гірського тиску. **Методи дослідження.** Впровадження на комбінатах ресурсозберігаючих технологій на окремих технологічних процесах дозволяє підвищити вміст заліза в видобутій рудній масі на 0,5–1,5% без збільшення собівартості видобутку. Підвищити вміст заліза в видобутій рудній масі можливо за рахунок застосування очисних камер зі збільшенням об'ємом. Існуючі методики, що застосовуються на шахтах для визначення конструктивних елементів системи розробки ґрунтуються на розрахункових еквівалентних прольотах оголення очисних камер прямокутної або шатрової форм. Також вони не враховують гірський тиск, який діє в межах виймального блоку та зміну напружень в залежності від геометричних параметрів покладу.

Наукова новизна. Вперше за допомогою програмного комплексу ANSYS встановлено, що при формуванні компенсаційної камери квазіпараболічної форми дозволяє суттєво зменшити концентрацію напружень навколо очисного блоку. Так, формування очисної камери квазіпараболічної форми дозволяє знизити вертикальні напруження у порівнянні з горизонтальними, при цьому без зростання горизонтального тиску.

Практична значимість. При відпрацюванні виймального блоку запропоновано очисну камеру формувати квазіпараболічної форми з геометричними параметрами які безпосередньо залежать від параметрів покладу, глибини розробки та напрямку дії головних напружень.

Результати. Встановлені залежності величини напружень від глибини розробки та фізичних властивостей порід та довжини за простяганням рудного покладу. Так в залежності від дії влибини розробки та довжини за простяганням гірський тиск на очисну камеру квазіпараболічної форми зменшується при нерівномірному навантаженні. Формування очисної камери квазіпараболічної форми дозволить збільшити об'єм чистої руди, що вилучається з блоку в 1,2–1,5 рази.

Ключові слова: підземна розробка, квазіпараболічна камерна, якість, головні напруження, склепіння

Письменный С.В. Повышение содержание железа в добываемой рудной массе при отработке богатых железных руд в условиях развития горного давления

Цель. Целью выполненных исследований является повышение показателей извлечения рудной массы при разработке богатых железных руд, за счет изменения формы очистной камеры и обоснование ее устойчивых параметров в условиях проявления горного давления.

Методы исследования. Внедрение на комбинатах ресурсосберегающих технологий на отдельных технологических процессах позволяет повысить содержание железа в добытой рудной массе на 0,5-1,5% без увеличения себестоимости добычи. Повысить содержание железа в добытой рудной массе возможно за счет применения очистных камер с увеличенным объемом. Существующие методики, применяемые на шахтах для определения конструктивных элементов системы разработки, основываются на расчетных эквивалентных пролетах обнажения очистных камер прямоугольной или шатровой формы. Также они не учитывают горное давление, действующее в пределах выемочного блока и изменение напряжений в зависимости от геометрических параметров залежи.

Научная новизна. Впервые с помощью программного комплекса ANSYS установлено, что при формировании компенсационной камеры квазіпараболіческой формы позволяет существенно уменьшить концентрацию напряжений вокруг очистного блока. Так, формирование очистной камеры квазіпараболіческой формы позволяет снизить вертикальные напряжения по сравнению с горизонтальными, при этом без роста горизонтального давления.

Практическая значимость. При отработке выемочного блока предложено очистительную камеру формировать квазіпараболіческой формы с геометрическими параметрами, которые непосредственно зависят от параметров залежи, глубины разработки и направления действия главных напряжений.

Результаты. Установлены зависимости величины напряжений от глубины разработки и физических свойств пород и длины по простиранию рудной залежи. Так в зависимости от действия влибины разработки и длины по простиранию горное давление на очистительную камеру квазіпараболіческой формы уменьшается при неравномерном навантаженні. Формування очисної камери квазіпараболіческой формы позволит увеличить объем чистой руды, изымается из блока в 1,2-1,5 раза.

Ключевые слова: подземная разработка, квазіпараболіческая камера, качество, главные напряжения, свод

Pysmennyi S.V. Increase of iron content in extracted ore when mining rich iron ore in terms of mining pressure development
Purpose. To increase the indices of ore extraction during the development of rich iron ores by changing the shape of the treatment chamber and substantiation of its stable parameters under conditions of the manifestation of rock pressure.

Research methods. The introduction of resource-saving technologies at individual combines allows to increase the iron content in the extracted ore by 0.5-1.5% without increasing the cost of production. It is possible to increase the iron content of the extracted ore by the use of high volume cleaning chambers. Existing techniques used in the mines to determine the structural elements of the development system are based on the calculated equivalent spans of exposing the cleaning chambers of rectangular or tent forms. Also, they do not take into account the rock pressure acting within the extraction block and the change of stresses depending on the geometrical parameters of the deposit.

Scientific novelty. For the first time, using the ANSYS software package, it was found that quasi-parabolic shape compensation chamber makes it possible to significantly reduce the stress concentration around the treatment unit. Thus, the formation of a quasi-parabolic mold cleaning chamber allows to reduce the vertical stresses compared to the horizontal ones, without increasing the horizontal pressure.

Practical value. When working out the extraction block, the treatment chamber is proposed to form a quasi-parabolic shape with geometric parameters that directly depend on the parameters of the deposit, the depth of development and the direction of action of the principal stresses.

Results. Dependences of the magnitude of stresses on the depth of development and physical properties of rocks and the length of the ore deposit are established. Thus, depending on the action of the depth of development and the length of the stretching, the mountain pressure on the quasi-parabolic form cleaning chamber decreases with uneven loading.

Key words: underground development, quasiparabolic chamber, quality, principal stresses, arches

УДК 622.1:528.02

Федоренко П.Й., Долгих О.В., Долгих Л.В. Системы программ для опрацювання матеріалів зйомок кар'єру з БПЛА
Метою є дослідження актуального питання вибору ефективних програмних засобів для опрацювання знімків, отриманих камерою, встановленою на безпілотному літальному апараті.

Методи. Безпілотні літальні апарати широко впроваджуються на гірничодобувних підприємствах для вирішення різних задач за результатами цифрових повітряних зйомок. Доведено, що такий спосіб знімання дозволяє суттєво зменшити витрати на отримання необхідної маркшейдерської графічної документації, яка використовується різними службами підприємства для планування та контролю гірничих робіт, для визначення об'ємів гірських мас тощо. Останнім часом безпілотні літальні апарати використовують і для дослідження небезпечних зон, виконуючи дистанційні спостереження за ними.

Наукова новизна. Для вирішення цих та інших задач важливо вірно вибрати камеру та програмне забезпечення до неї, так як саме від цього залежить точність вирішення тієї чи іншої задачі. Як цифрова камера, так і програмне забезпечення до неї, має певні характеристики, які впливають не тільки на якість отриманої цифрової моделі чи плану, а й на час вирішення задачі, зручність використання тощо. Саме з цією метою виконані дослідження різних програмних засобів до цифрових камер, що встановлюються на безпілотних літальних апаратах. Досліджено таке програмне забезпечення, як: RealityCapture BETA 1.0, 3DF Zephyr Aerial, Pix4d, Agisoft Metashape Professional, Autodesk ReCap. Досліджено роботу по опрацюванню знімків в різних програмних засобах з метою вибору найбільш ефективного.

Практична значимість. Встановлено, що кожна з програм має як переваги так і недоліки. Зроблений аналіз дозволив визначити час, необхідний на опрацювання знімків з опорними точками та без них. Досліджено можливості двопроцесорної графічної станції Lenovo P700 та різні налаштування програмних засобів з метою вибору оптимального режиму роботи програм.

Результати виконаних робіт необхідні для подальшого дослідження процесу аерознімання об'єктів гірничодобувних підприємств за допомогою безпілотних літальних апаратів з метою підвищення точності та оперативності цих робіт.

Ключові слова: цифрова камера, знімки, програмні засоби, процесор

Федоренко П.И., Долгих А.В., Долгих Л.В. Системы программ для обработки материалов съомок карьера с БПЛА

Целью является исследование актуального вопроса выбора эффективных программных средств для обработки снимков, полученных камерой, установленной на беспилотном летательном аппарате.

Методы. Беспилотные летательные аппараты широко внедряются на горнодобывающих предприятиях для решения разных задач по результатам цифровых воздушных съемок. Доказано, что такой способ съемки позволяет существенно уменьшить затраты на получение необходимой маркшейдерской графической документации, которая используется различными службами предприятия для планирования и контроля горных работ, для определения объемов горных масс и пр. В последнее время беспилотные летательные аппараты используют для исследования опасных зон, выполняя дистанционные наблюдения за ними.

Научная новизна. Для решения этих и других задач важно верно выбрать камеру и программное обеспечение к ней, так как именно от этого зависит точность решения той или иной задачи. Как цифровая камера, так и программное обеспечение к ней, имеет определенные характеристики, которые влияют не только на качество полученной цифровой модели или плана, а и на время решения задачи, удобство использования и т.п. Именно с этой целью выполнены исследования различных программных средств к цифровым камерам, которые устанавливаются на беспилотных летательных аппаратах. Исследовано такое программное обеспечение, как: Realitycapture BETA 1.0, 3DF Zephyr Aerial, Pix4d, Agisoft Metashape Professional, Autodesk Recap. Исследована работа по обработке снимков в разных программных средствах с целью выбора наиболее эффективного.

Практическая значимость. Установлено, что каждая из программ имеет как преимущества так и недостатки. Сделанный анализ позволил определить время, необходимое на обработку снимков с опорными точками и без них. Исследованы возможности двухпроцессорной графической станции Lenovo P700 и различные настройки программных средств с целью выбора оптимального режима работы программ.

Результаты выполненных работ необходимые для дальнейшего исследования процесса аэросъемки объектов горнодобывающих предприятий с помощью беспилотных летательных аппаратов для повышения точности и оперативности этих работ.

Ключевые слова: цифровая камера, снимки, программные средства, процессор

Fedorenko P.I., Dolgikh O.V., Dolgikh L.V. Program systems for processing materials of quarry surveys with UAV.

Purpose. Selection of effective software for processing images obtained by a camera mounted on an unmanned aerial vehicle.

Research methods. Unmanned aerial vehicles are widely deployed in mining enterprises to solve various problems based on the results of digital aerial surveys. It is proved that this method of surveying can significantly reduce the cost of obtaining the necessary surveying graphic documentation, which is used by various services of the enterprise to plan and control mining operations, to determine the volume of rock masses, etc. Recently, unmanned aerial vehicles have been used to study dangerous areas by performing remote monitoring of them.

Scientific novelty. To solve these and other problems, it is important to choose the right camera and software for it, since the accuracy of solving one or another problem depends on this. Both the digital camera and the software for it have certain characteristics that affect not only the quality of the resulting digital model or plan, but also the time it takes to solve the problem, ease of use, etc. It is for this purpose that research has been carried out on various software tools for digital cameras that are installed on unmanned aerial vehicles. Investigated software such as: Realitycapture BETA 1.0, 3DF Zephyr Aerial, Pix4d, Agisoft Metashape Professional and Autodesk Recap. The work on the processing of images in various software tools was studied in order to select the most effective.

Practical value. It has been established that each of the programs has both advantages and disadvantages. The analysis made it possible to determine the time required to process images with and without reference points. The capabilities of the Lenovo P700 dual-processor graphic station and various software settings with the aim of choosing the optimal mode of operation of the programs are investigated.

Results are necessary for further study of the aerial survey of mining enterprises using unmanned aerial vehicles to improve the accuracy and efficiency of these operations.

Key words: digital camera, images, software, processor

УДК 550.832.9

Моркун В. С., Моркун Н. В., Тронь В. В., Гапоненко А. А., Гапоненко І. А., Паранюк Д. І. Аналіз процесу поширення ультразвукових хвиль в гірській породі для обґрунтування акустичного каротажу бурових свердловин

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

Методи дослідження. У роботі використано такі методи: аналіз вітчизняного і закордонного досвіду; методи математичної статистики і теорії імовірності для оброблення результатів експериментів; методи аналітичного конструювання і комп'ютерного моделювання; методи чисельного моделювання для синтезу і аналізу математичної моделі.

Наукова новизна полягає у розробленні методу визначення фізико-механічних і хіміко-мінералогічних характеристик гірської породи на основі значень швидкості поширення поздовжніх і поперечних хвиль, коефіцієнту загасання ультразвуку на основній частоті та першій гармоніці, а також співвідношення цих параметрів.

Практичне значення полягає у розробленні ультразвукового вимірювального каналу, що складається з генератора та приймача ультразвукового сигналу, підсилювачів у вхідному та вихідному каналах, осцилографа та комп'ютера. Для збудження і прийому ультразвукових коливань у стінці пробуреної свердловини пропонується використовувати електромагнітний акустичний перетворювач. Сигнал, що генерується за допомогою цифрового осцилографа, посилюється з використанням підсилювача перед подачею до генератора. Приймач також підключений до цифрового осцилографа через спеціально розроблений підсилювач.

Результати. Для визначення фізико-механічних та хіміко-мінералогічних характеристик гірських порід як оціночні параметри було використано такі параметри: швидкість поширення поздовжніх і поперечних ультразвукових хвиль на частоті 2,5 МГц, коефіцієнт загасання ультразвуку на частоті 100 кГц та 2,5 МГц на основній частоті та першій гармоніці, а також співвідношення цих параметрів. Запропонований спосіб ідентифікації основних різновидів гірських порід характеризується точністю 87 %. Для досягнення більш високої якості ідентифікації геолого-мінералогічної структури досліджуваного середовища доцільно застосувати додатково магнітометричні та ядерно-фізичні вимірювання.

Ключові слова: ультразвукові хвилі, акустичний каротаж, мінералого-технологічні різновиди руди, електромагнітний акустичний канал

Моркун В. С., Моркун Н. В., Тронь В. В., Гапоненко А. А., Гапоненко І. А., Паранюк Д. І. Анализ процесса распространения ультразвуковых волн в горной породе для обоснования акустического каротажа буровых скважин

Целью исследования является повышение точности ультразвукового каротажа для определения физико-механических и химико-минералогических характеристик горной породы на основе значений: скорости распространения продольных и поперечных волн, коэффициента затухания ультразвука на основной частоте и высших гармониках, а также соотношение этих параметров.

Методы исследования. В работе использованы следующие методы: анализ отечественного и зарубежного опыта; методы математической статистики и теории вероятности для обработки результатов экспериментов; методы аналитического конструирования и компьютерного моделирования; методы численного моделирования для синтеза и анализа математической модели.

Научная новизна заключается в разработке метода определения физико-механических и химико-минералогических характеристик горной породы на основе значений скорости распространения продольных и поперечных волн, коэффициента затухания ультразвука на основной частоте и первой гармонике, а также соотношение этих параметров.

Практическое значение состоит в разработке ультразвукового измерительного канала, состоящего из генератора и приемника ультразвукового сигнала, усилителей во входном и выходном каналах, осциллографа и компьютера. Для возбуждения и приема ультразвуковых колебаний в стенке пробуренной скважины предлагается использовать электромагнитный акустический преобразователь. Сигнал, генерируемый с помощью цифрового осциллографа, усиливается с использованием усилителя перед подачей к генератору. Приемник также подключен к цифровому осциллографу через специально разработанный усилитель.

Результаты. Для определения физико-механических и химико-минералогических характеристик горных пород как оценочные параметры были использованы следующие параметры: скорость распространения продольных и поперечных ультразвуковых волн на частоте 2,5 МГц, коэффициент затухания ультразвука на частоте 100 кГц и 2,5 МГц на основной частоте и первой гармонике, а также соотношение этих параметров. Предложенный способ идентификации основных разновидностей горных пород характеризуется точностью 87%. Для достижения более высокого качества идентификации геолого-минералогической структуры исследуемой среды целесообразно применить дополнительно магнитометрические и ядерно-физические измерения.

Ключевые слова: ультразвуковые волны, акустический каротаж, минералого-технологические разновидности руды, электромагнитный акустический канал

Morkun V.S., Morkun N.V., Tron V.V., Haponenko A.A., Haponenko I.A., Paranyuk D. I. Analysis of the process of propagation of ultrasonic waves in rock to substantiate the acoustic logging of boreholes

Purpose of the study is to increase the accuracy of ultrasonic logging to determine the physical-mechanical and chemical-mineralogical characteristics of rock based on values: velocity of longitudinal and transverse waves, ultrasonic attenuation at high frequency and higher harmonics, and the ratio of these parameters.

Research methods. The following methods are used in the work: analysis of domestic and foreign experience; methods of mathematical statistics and probability theory for processing the results of experiments; methods of analytical design and computer modeling; methods of numerical modeling for synthesis and analysis of mathematical model.

Scientific novelty. The method for determining the physical-mechanical and chemical-mineralogical characteristics of rock based on the values of the velocity of longitudinal and transverse waves, the attenuation coefficient of ultrasound at fundamental frequency and first harmonic, and the ratio of these parameters.

Practical value is the development of an ultrasonic measuring channel, consisting of an ultrasonic signal generator and receiver, amplifiers in the input and output channels, an oscilloscope and a computer. To excite and receive ultrasonic vibrations in the wall of the drilled well, it is proposed to use an electromagnetic acoustic measuring channel. The signal generated by the digital oscilloscope is amplified using an amplifier before being fed to the generator. The receiver is also connected to a digital oscilloscope via a specially designed amplifier.

Results. To determine the physico-mechanical and chemical-mineralogical characteristics of rocks as estimation parameters were used the following parameters: velocity of longitudinal and transverse ultrasonic waves at a frequency of 2.5 MHz, the attenuation coefficient of ultrasound at a frequency of 100 kHz and 2.5 MHz at the fundamental frequency and the first harmonic, as well as the ratio of these parameters. The proposed method of identification of the main types of rocks is characterized by an accuracy of 87%. To achieve a higher quality of identification of the geological and mineralogical structure of the studied environment, it is advisable to use additional magnetometric and nuclear-physical measurements.

Key words: ultrasonic waves, acoustic logging, mineralogical and technological types of ore, electromagnetic acoustic channel

УДК 004.056.5:004.032.26

Шаповалова Н. Н., Рыбальченко О. Г., Білашенко С. В., Світгарєєв Н. Х. Нейромережевий метод раннього виявлення DDoS-атак

Мета . Теоретично обґрунтувати вибір методу реалізації раннього виявлення аномального трафіка та класифікації мережевих аномалій на основі використання методів машинного навчання, розробити математичну модель штучної нейронної мережі, визначити топологію сформованої моделі і метод її навчання, розробити і протестувати відповідне програмне забезпечення, експериментально перевірити систему.

Методи дослідження. У роботі використано наступні методи дослідження: аналіз джерел з досліджуваної теми, методи теорії штучного інтелекту для проектування топології нейронної мережі, моделювання процесу навчання алгоритмів класифікації, формалізація побудованих моделей, методи проектування програмного забезпечення для розробки програмної моделі, емпіричні методи обґрунтування оптимальної архітектури моделі.

Наукова новизна полягає в тому, що розроблена модель має оптимальну топологію, яка дозволяє ефективно вирішувати поставлене завдання класифікації типів мережевого трафіка, і має достатньо високу здатність до узагальнення. Створене програмне забезпечення з використанням цієї моделі дає можливість проаналізувати мережеві аномалії та виявити DDoS-атаки на ранньому етапі.

Практична значимість виконаної роботи полягає в можливості точно фіксувати початок атаки, а також отримувати навчальні вибірки, які можуть бути використані для навчання нейронних мереж та інших класифікаторів, в тому числі для фільтрації небажаного трафіка. Аналіз мережевого трафіка дозволяє виявити мережеві аномалії та розрізнити аномальну або нормальну його поведінку, внаслідок чого стає можливим не обмежувати обсяг трафіка для клієнтів. Завдяки ранньому виявленню DDoS-атак та швидкому реагуванню, компанії будуть захищені від значних збитків.

Результати. Запропоновано алгоритм протидії DDoS-атакам на основі нейронної мережі, обґрунтовано вибір навчальної множини, що відповідає критерію достатньої репрезентативності. Розроблена математична і програмна модель нейронної мережі для виявлення мережевих аномалій. Визначена архітектура нейронної мережі та функція активації, проведено тестування роботи розробленої програмної моделі.

Ключові слова: DDoS-атака, датасет, нейронна мережа, мережева аномалія, функція активації.

Шаповалова Н. Н., Рыбальченко О. Г., Білашенко С. В., Світгарєєв Н. Х. Нейросетевой метод раннего выявления DDoS-атак

Цель работы. Теоретически обосновать выбор метода реализации раннего выявления аномального трафика и классификации сетевых аномалий на основе использования методов машинного обучения, разработать математическую модель искусственной нейронной сети, определить топологию сложившейся модели и метод ее обучения, разработать и протестировать соответствующее программное обеспечение, экспериментально проверить систему.

Методы исследования. В работе использованы следующие методы исследования: анализ источников по исследуемой теме, методы теории искусственного интеллекта для проектирования топологии нейронной сети, моделирование процесса обучения алгоритмов классификации, формализация построенных моделей, методы проектирования программного обеспечения для разработки программной модели, эмпирические методы обоснования оптимальной архитектуры модели.

Научная новизна заключается в том, чтобы разработанная модель имела оптимальную топологию, которая позволяет эффективно решать поставленную задачу классификации типов сетевого трафика, а также имела достаточно высокую способность к обобщению. Созданное программное обеспечение с использованием этой модели дает возможность проанализировать сетевые аномалии и выявить DDoS-атаки на раннем этапе.

Практическая значимость выполненной работы заключается в возможности точно фиксировать начало атаки, а также получать учебные выборки, которые могут быть использованы для обучения нейронных сетей и других классификаторов, в том числе для фильтрации нежелательного трафика. Анализ сетевого трафика позволяет выявить

сетевые аномалии и различать аномальное или нормальное его поведение, в результате чего становится возможным не ограничивать объем трафика для клиентов. Благодаря раннему выявлению DDoS-атак и быстрому реагированию, компании будут защищены от значительных убытков.

Результаты. Предложен алгоритм противодействия DDoS-атакам на основе нейронной сети, обоснован выбор обучающего множества, что соответствует критерию достаточной репрезентативности. Разработана математическая и программная модель нейронной сети для обнаружения сетевых аномалий. Определена архитектура нейронной сети и функция активации, а также проведено тестирование работы разработанной программной модели.

Ключевые слова: DDoS-атака, датасет, нейронная сеть, сетевая аномалия, функция активации.

Shapovalova N.N., Rybalchenko O.G., Bilashenko S.V., Saitgareev N.H. Neural network method for early detection of DDoS-attack

Purpose. To substantiate theoretically the method of implementation of early detection of anomalous traffic and classification of network anomalies based on the use of machine learning methods, to develop a mathematical model of an artificial neural network, to determine the topology of the formed model and method of its training, to develop and test appropriate software testing.

Research methods. The following research methods are used in the work: analysis of sources on the investigated topic, methods of artificial intelligence theory for the design of neural network topology, modeling of the classification algorithm learning process, formalization of built models, software design methods for program model development, empirical methods for substantiating the optimal model architecture.

Scientific novelty. The developed model has an optimal topology, which allows solving effectively the task of classification of types of network traffic, and has a sufficiently high ability to generalize. Built-in software using this model makes it possible to analyze network anomalies and detect DDoS attacks at an early stage.

Practical value is to capture accurately the onset of the attack, as well as receive training samples that can be used to train neural networks and other classifiers, including filtration of unwanted traffic. Network traffic analysis allows you to identify network anomalies and distinguish between abnormal or normal behavior, which makes it possible not to limit the amount of traffic for customers. Due the early detection of DDoS attacks and rapid response, companies will be protected from significant losses.

Results. The algorithm of counteracting DDoS-attacks based on neural network is proposed, the choice of the training set, which meets the criterion of sufficient representativeness, is substantiated. A mathematical and software model of the neural network for the detection of network anomalies is developed. The neural network architecture and the activation function were determined, testing of the developed software model was carried out.

Key words: DDoS-attack, dataset, neural network, network anomaly, activation function.

УДК 622.026.01:669

Савельев С.Г., Плотников В.В., Бабаевська О.В. Застосування електровпливу для ефективного дроблення матеріалів в умовах металургійної переробки

Метою виконуваної роботи є дослідження механізму руйнування матеріалу під дією електрогідравлічного удару й встановлення технологічних можливостей застосування даного явища в металургійній переробці.

Для вирішення поставлених завдань у роботі використовувалися такі **методи** дослідження, як узагальнення наукової інформації; рН-метрія й потенціометрія рідкої фази; вимірювання електрокінетичного потенціалу поверхні мінералів; лабораторні дослідження; технологічні випробування; гранулометричний і мінералогічний аналізи; методи статистичної обробки результатів досліджень; мікроскопічний аналіз; магнітний аналіз мономінеральних фракцій.

Наукова новизна даного дослідження полягає у встановленні механізму прояву електрогідравлічного ефекту і його руйнівного впливу на провідні матеріали при їх дробленні.

Практична значимість роботи полягає в дослідженні електрогідравлічного дроблення шлакових систем, а також розробці способів дроблення крихких провідних матеріалів з використанням електровпливу, що може слугувати основою для нових технологій дроблення металургійних шлаків з метою їх подальшого використання в металургійній переробці.

Результати роботи. У роботі розглянуті процеси, що відбуваються при здійсненні методу спільного електрогідравлічного дроблення в'язкого не провідного струм і крихкого провідного матеріалів. Встановлений механізм руйнівного впливу електрогідравлічного ефекту. З'ясовано, що сутність методу «зовнішнього удару» зводиться до того, що електрогідравлічний удар здійснюється в рідині, але не всередині об'єму, заповненого провідним матеріалом, а поза ним й на такій відстані від матеріалу, щоб іскровий розряд, маючи достатню довжину для повного використання енергії даного імпульсу, був розташований можливо ближче до поверхні шару матеріалу, що руйнується.

Представлені конструкції й принцип роботи дробарок, призначених для дроблення крихких провідних матеріалів до будь-якої крупності – від 20 мм і дрібніше. Представлена технологія може бути застосована для дроблення металургійних шлаків, що становить значний промисловий інтерес. Знайдене ефективне технологічне рішення, що дозволяє виділяти метал з металургійних шлаків в установках надтонкого дроблення з використанням електровпливу.

Ключові слова: дроблення, електровплив, металургійний шлак, електрогідравлічний ефект, розряд

Савельев С.Г., Плотников В.В., Бабаевская О.В. Применение электровоздействия для эффективного дробления материалов в условиях металлургического передела

Целью выполняемой работы является исследование механизма разрушения материала под действием электрогидравлического удара и установление технологических возможностей применения данного явления в металлургическом переделе.

Для решения поставленных задач в работе использовались такие **методы**, как обобщение научной информации; рН-метрия и потенциометрия жидкой фазы; измерение электрокинетического потенциала поверхности минералов; лабораторные исследования; технологические испытания; гранулометрический и минералогический анализы; методы

статистической обработки результатов исследований; микроскопический анализ; агнитный анализ мономинеральных фракций.

Научная новизна данного исследования заключается в установлении механизма проявления электрогидравлического эффекта и его разрушающего воздействия на проводящие материалы при их дроблении.

Практическая значимость работы заключается в исследовании электрогидравлического дробления шлаковых систем, а также разработке способов дробления хрупких проводящих материалов с применением электровоздействий, что может служить основой для новых технологий дробления металлургических шлаков с целью их дальнейшего использования в металлургическом переделе.

Результаты работы. В работе рассмотрены процессы, которые происходят при осуществлении метода совместного электрогидравлического дробления вязкого непроводящего и хрупкого проводящего материалов. Установлен механизм разрушающего воздействия электрогидравлического эффекта. Выяснено, что суть метода «внешнего удара» сводится к тому, что электрогидравлический удар осуществляется в жидкости, но не внутри объема, заполненного проводящим материалом, а вне его и на таком расстоянии от материала, чтобы искровой разряд, имея достаточную длину для полного использования энергии данного импульса, был расположен возможно ближе к поверхности слоя разрушаемого материала.

Представлены конструкции и принцип работы дробилок, предназначенных для дробления хрупких проводящих материалов до любой крупности – от 20 мм и мельче. Представленная технология может быть применена для дробления металлургических шлаков, что представляет значительный промышленный интерес. Найдено эффективное технологическое решение, которое позволяет выделять металл из металлургических шлаков в установках сверхтонкого дробления с использованием электровоздействий.

Ключевые слова: дробление, электровоздействие, металлургический шлак, электрогидравлический эффект, разряд
Saveliev S.H., Plotnikov V.V., Babaievska O.V. Application of electric influence for efficient crushing of materials in conditions of metallurgical processing

Purpose. To study the mechanism of destruction of the material under the influence of electro-hydraulic shock and the establishment of technological possibilities for using this phenomenon in the metallurgical process.

Research methods such as the synthesis of scientific information were used; pH measurement and potentiometry of the liquid phase; measurement of the electrokinetic potential of the surface of minerals; laboratory research; technological tests; granulometric and mineralogical analyzes; methods of statistical processing of research results; microscopic analysis; magnetic analysis of monomineral fractions.

Scientific novelty. Established mechanism for the manifestation of the electro-hydraulic effect and its destructive effect on conductive materials when crushed.

Practical value. Development of methods for crushing brittle conductive materials, including metallurgical slag, using electric effects for their further processing.

Results. The paper considers the processes that occur when implementing the method of joint electro-hydraulic crushing of viscous non-conductive current and brittle conductive materials. The mechanism of the destructive effect of the electro-hydraulic effect is established.

The design and operation principle of crushers intended for crushing fragile conductive materials to any size - from 20 mm and smaller are presented. An effective technological solution was found for the separation of metal from metallurgical slag in ultrafine crushing plants using electrical effects.

Key words: crushing, electric impact, metallurgical slag, electro-hydraulic effect, discharge

UDK 621.92

Zhosan A.A. The method of synthesizing a nonparametric discrete model of a blackbox-type dynamic object with the scalar input and output

Purpose. To present the results of elaborating an efficient method of synthesizing an equation of a dual discrete model and a regulator for a dynamic non-linear non-stationary blackbox-type object directly from the data of the real object state matrix measurements without conducting special experiments, calculating model coefficients or disrupting the normal technological process and with the training sequence of minimum length.

Research methods used are based on the matrix theory, difference equations, Cramer's rule for the solution of systems of linear algebraic equations.

Scientific novelty. The work presents a novel demonstration that an expanded matrix of the controlled object state enables incorporating both the object model and the regulator and accomplishes principal concepts of dual control. Besides, Cramer's rule-based equations of a model enable assessing Lyapunov exponent signatures and therefore determining the current state of the controlled object pertaining to the attraction area or the repeller.

Practical value. During standard operation, parameters of technological objects often vary within a wide range as the objects are non-linear and/or non-stationary. Common present-day regulator methods are based on the assumption that controlled objects are linear and stationary. The assumption often leads to disturbances in the technological process control. The work develops and substantiates the approach based on the dual control concept enabling synthesis of regulators for linear, non-linear, non-stationary objects of control. There is no necessity of studying their physical nature, conducting special experiments to receive transient characteristics or transfer functions. The object is treated as a blackbox providing small sensitivity to external impacts and adaptation during normal performance.

Results. The work suggests the methods of synthesizing a regulator which can be presented both numerically and analytically. The regulator enables implementing the set output value applying modern controllers.

Key words: blackbox, Cramer's rule, dual control, expanded matrix, Lagrange equations, Lyapunov exponent signature.

Жосан А.А. Метод синтезу дуальної непараметричної дискретної моделі динамічного об'єкта типу "чорний ящик" зі скалярними входом і виходом

Мета. Виклад результатів розробки ефективного методу синтезу рівняння дуальної дискретної моделі і регулятора для нелінійного динамічного, нестационарного об'єкта типу "чорний ящик" безпосередньо з даних вимірювань матриці стану реального об'єкта без необхідності виконання спеціальних експериментів, обчислення коефіцієнтів моделі і переривання нормального ходу технологічного процесу, з навчальною послідовністю мінімальної довжини.

Методи дослідження засновані на теорії матриць, різницевих рівняннях, методі Крамера розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь.

Наукова новизна. Вперше доведено, що розширена матриця стану об'єкта управління дозволяє об'єднати в собі як модель об'єкта, так і регулятор і реалізує основні концепції дуального управління. Крім того, рівняння моделі на основі методу Крамера дозволяють дати оцінку сигнатури Ляпуновських показників, а значить, приналежність поточного стану об'єкта управління до басейну тяжіння або репелеру.

Практична значимість. У процесі нормальної експлуатації технологічних об'єктів їх параметри змінюються часто в широких межах, об'єкти є нелінійними, нестационарними. Методика поширених в даний час регуляторів базується на припущенні про лінійність і стаціонарність об'єктів управління, що призводить часто до розладу управління технологічним процесом. У цій роботі розроблений і доведений підхід, заснований на концепції дуального управління, що дозволяє синтезувати регулятори для лінійних, нелінійних, нестационарних об'єктів управління. Немає необхідності вивчення їх фізичної природи, виконання спеціальних експериментів з отримання перехідних характеристик, передавальних функцій. Об'єкт розглядається як "чорний ящик", що забезпечує малу чутливість до зовнішніх впливів і адаптацію в процесі нормальної експлуатації.

Результати роботи. Методику синтезу регулятора, який можна представити як в чисельному, так і в аналітичному вигляді, що дозволяє реалізувати задане значення вихідної величини за допомогою сучасних контролерів.

Ключові слова: "чорний ящик", метод Крамера, дуальне управління, розширена матриця, рівняння Лагранжу, сигнатура Ляпунівських показників.

Жосан А.А. Метод синтеза дуальной непараметрической дискретной модели динамического объекта типа "черный ящик" со скалярными входом и выходом

Цель. Изложение результатов разработки эффективного метода синтеза уравнения дуальной дискретной модели и регулятора для динамического нелинейного, нестационарного объекта типа "черный ящик" непосредственно из данных измерений матрицы состояния реального объекта без необходимости выполнения специальных экспериментов, вычисления коэффициентов модели и прерывания нормального хода технологического процесса, с обучающей последовательностью минимальной длины.

Методы исследования использованные в работе, основаны на теории матриц, разностных уравнениях, методе Крамера решения систем линейных алгебраических уравнений.

Научная новизна. Впервые доказано, что расширенная матрица состояния объекта управления позволяет объединить в себе как модель объекта, так и регулятор и реализует основные концепции дуального управления. Кроме того, уравнения модели на основе метода Крамера позволяют дать оценку сигнатуры Ляпуновских показателей, а значит, принадлежность текущего состояния объекта управления к бассейну притяжения или репеллеру.

Практическая значимость. В процессе нормальной эксплуатации технологических объектов их параметры изменяются часто в широких пределах, объекты являются нелинейными, нестационарными. Методика распространенных в настоящее время регуляторов базируется на предположении о линейности и стационарности объектов управления, что приводит часто к расстройству управления технологическим процессом. В настоящей работе разработан и доказан подход, основанный на концепции дуального управления, позволяющий синтезировать регуляторы для линейных, нелинейных, нестационарных объектов управления. Нет необходимости изучения их физической природы, выполнения специальных экспериментов по получению переходных характеристик, передаточных функций. Объект рассматривается как "черный ящик", что обеспечивает малую чувствительность к внешним воздействиям и адаптацию в процессе нормальной эксплуатации.

Результаты работы методики синтеза регулятора, который можно представить как в численном, так и в аналитическом виде, позволяющего реализовать заданное значение выходной величины с помощью современных контроллеров.

Ключевые слова: "черный ящик", метод Крамера, дуальное управление, расширенная матрица, уравнения Лагранжа, сигнатура Ляпуновских показателей.

УДК 622.647.21

Єфіменко Л.І., Тиханський М.П., Тиханська А.М. Автоматичне керування конвеєрними установками з адаптацією за технічним станом його обладнання

Мета. Метою цієї роботи є підвищення ефективності роботи виробництва за рахунок розробки адаптивної системи керування, яка враховує при формуванні керуючої дії технічний стан основного обладнання автоматизованого конвеєра.

Методи дослідження. Для вирішення цього завдання використано: методи розроблені в теорії автоматичного керування, механіці, теорії пружності; методи обробки випадкових процесів і математичної статистики, а також, аналіз літературних і патентних джерел, наукове узагальнення раніше виконаних досліджень.

Наукова новизна. Пропонується адаптивне керування стрічковим конвеєром за рахунок врахування параметрів, які постійно змінюються, що проявляється у вигляді контрольованих і неконтрольованих збурень і перешкод різного походження, а саме технічного стану основного обладнання конвеєра.

При цьому керування відбувається за рахунок налаштування сучасних мікропроцесорних приладів, які автоматично розраховують коефіцієнти настройки регуляторів використовуючи вихідні сигнали з підсистеми технічної діагностики конвеєра. Таким чином, з'явилася можливість раціонального управління режимом роботи стрічкового конвеєра в залежності від технічного стану його вузлів і механізмів.

Практична значимість. Адаптивне керування стрічковим конвеєром за рахунок врахування параметрів, які постійно змінюються, що проявляється у вигляді контрольованих і неконтрольованих збурень і перешкод різного

походження, а саме технічного стану основного обладнання конвеєра дозволяє підвищити ефективність роботи виробництва.

Авторами запропоновані принципи побудови автоматизованої системи та алгоритми управління приводом конвеєра, що відрізняються тим, що враховуються як поточний, так і прогнозований стан основних складових елементів конвеєра.

Своєчасне виявлення дефектного обладнання дозволяє швидко реагувати на нову збурюючу інформацію та корегувати управляючі впливи шляхом впровадження адаптивного регулятора.

Результати. Автоматичне управління конвеєрними установками з адаптацією за технічним станом його обладнання дозволяє враховувати збурюючі впливи зумовлені технічним станом обладнання та підтримувати показники якості управління в заданих межах.

Ключові слова: адаптивне керування, стрічковий конвеєр, діагностика, адаптивний регулятор, автоматична система керування.

Ефименко Л.И., Тиханський М.П., Тиханська А.Н. Автоматическое управление конвейерными установками с адаптацией за техническим состоянием его оборудования

Цель. Целью этой работы является повышение эффективности работы производства за счет разработки адаптивной системы управления, которая учитывает при формировании управляющего воздействия техническое состояние основного оборудования автоматизированного конвейера.

Методы исследования. Для решения этой задачи использованы: методы разработаны в теории автоматического управления, механике, теории упругости; методы обработки случайных процессов и математической статистики, а также анализ литературных и патентных источников, научное обобщение ранее выполненных исследований.

Научная новизна. Предлагается адаптивное управление ленточным конвейером за счет учета параметров постоянно меняются, что проявляется в виде контролируемых и неконтролируемых возмущений и помех различного происхождения, а именно технического состояния основного оборудования конвейера.

При этом управление происходит за счет настройки современных микропроцессорных приборов, автоматически рассчитывают коэффициенты настройки регуляторов используя выходные сигналы из подсистемы диагностики конвейера. Таким образом, появилась возможность рационального управления режимом работы ленточного конвейера в зависимости от технического состояния его узлов и механизмов.

Практическая значимость. Адаптивное управление ленточным конвейером за счет учета параметров постоянно меняются, что проявляется в виде контролируемых и неконтролируемых возмущений и помех различного происхождения, а именно технического состояния основного оборудования конвейера позволяет повысить эффективность работы производства.

Авторами предложены принципы построения автоматизированной системы и алгоритмы управления приводом конвейера, отличаются тем, что учитываются как текущий, так и прогнозируемое состояние основных составляющих элементов конвейера.

Своевременное выявление дефектного оборудования позволяет быстро реагировать на новую возмущающих информацию и корректировать управляющие воздействия путем внедрения адаптивного регулятора.

Результаты. Автоматическое управление конвейерными установками с адаптацией за техническим состоянием его оборудование позволяет учитывать возмущающие воздействия обусловлены техническим состоянием оборудования и поддерживать показатели качества управления в заданных пределах.

Ключевые слова: адаптивное управление, ленточный конвейер, диагностика, адаптивный регулятор, автоматическая система управления.

Yefymenko L.I., Tykhanskyi M. P., Tykhanskyi A. M. Automatic control of conveyor units with adaptation according to the technical condition of its equipment

Purpose. To increase the efficiency of production by developing an adaptive control system that takes into account the technical condition of the basic equipment of the automated conveyor when forming the control action.

Research methods. To solve this problem, we used: methods developed in the theory of automatic control, mechanics, theory of elasticity; methods of processing random processes and mathematical statistics, as well as analysis of literature and patent sources, scientific generalization of previously performed research.

Scientific novelty. Adaptive control of the belt conveyor is offered by taking into account the constantly changing parameters, which is manifested in the form of controlled and uncontrolled perturbations and obstacles of different origin, namely the technical condition of the main equipment of the conveyor.

This control is due to the tuning of modern microprocessor devices that automatically calculate the tuning coefficients of the regulators using the output signals from the pipeline diagnostic subsystem. Thus, it became possible to rationally control the mode of operation of the belt conveyor, depending on the technical condition of its units and mechanisms.

Practical value. Adaptive control of the belt conveyor by taking into account the constantly changing parameters, which manifests itself in the form of controlled and uncontrolled disturbances and obstacles of different origin, namely the technical condition of the main equipment of the conveyor allows to increase the efficiency of production.

The authors propose the principles of building an automated system and algorithms for managing the conveyor drive, characterized in that they take into account both the current and predicted state of the main components of the conveyor.

Timely detection of defective equipment allows you to quickly respond to new disturbing information and to correct management influences by implementing an adaptive controller.

Results. Automatic control of conveyor units with adaptation to the technical condition of its equipment allows to take into account the disturbing effects caused by the technical condition of the equipment and to maintain the quality of control within the specified limits.

Key words: adaptive control, conveyor belt, diagnostics, adaptive controller, automatic control system.

УДК 338.20

Турило А. А., Турило А. М. Процеси капіталізації, зростання ринкової вартості та інноватизації корпорації в аспекті значимості і впливу на них соціально-психологічного чинника (капіталу)

Мета. Удосконалити і розширити зміст категорії «соціально-психологічний капітал» взагалі і безпосередньо на рівні окремого суб'єкта господарювання, зокрема на рівні підприємства. Розкрито значимість і зміст соціально-психологічного капіталу підприємства. Показано вплив соціально-психологічного капіталу на процеси капіталізації та інноватизації підприємства.

Виділено роль психологічного чинника в діяльності суб'єктів підприємницької діяльності. Показано, що в умовах формування нової інноваційно-інтелектуальної економіки існує актуальна потреба у викресленні, дослідженні і комплексному оцінюванні такої категорії як психологічний капітал підприємства.

Представлено в узагальненому виді теоретико-методичні підходи, щодо визначення основних напрямків впливу соціально-психологічного капіталу на економіку підприємства, а саме на рівень його капіталізації, ринкової вартості та економічної ефективності діяльності суб'єкта господарювання.

Методи дослідження: системний, логічний, аналітичний.

Наукова новизна: Визначено, що в економічній оцінці діяльності підприємства на сучасному етапі розвитку суспільного виробництва потрібно враховувати роль психологічного капіталу. Удосконалено підходи до розкриття змісту категорії «соціально-психологічний капітал підприємства». Представлено зв'язок соціально-психологічного капіталу підприємства з ключовими виробничо-господарськими процесами, що відбуваються на ньому (процеси капіталізації, зростання ринкової вартості, інноватизації).

Практична значимість. Представлено основні напрямки впливу соціально-психологічного капіталу, що сформувався на підприємстві на певний період часу, на процеси капіталізації, зростання ринкової вартості та інноватизації.

Результати. Представлено теоретико-методичний підхід до розкриття сутності категорії «соціально-психологічний капітал». Показати особливу і зростаючу роль психологічного чинника в умовах формування нової парадигми соціально-економічного розвитку суспільства та становлення нової економіки, а саме інноваційно-інтелектуальної економіки. Визначити, що в умовах інноваційної економіки, як інтелект людини-працівника поступово трансформується в інтелектуальний капітал підприємства, так і психологічний чинник в економічній діяльності підприємства поступово перетворюється на його психологічний капітал. Акцентувати увагу на тому, що психологічний капітал в єдності з соціальним капіталом підприємства є ключовою умовою реалізації його інноваційного і економічного потенціалів, що визначає нові підходи в процесах інвестування діяльності підприємства, а саме пріоритетність інвестицій в соціально-психологічний та інтелектуальний капітал будь-якого суб'єкта підприємництва.

Ключові слова: соціальний капітал, психологічний капітал, підприємство, капіталізація, інноватизація, ринкова вартість.

Турило А. А., Турило А. М. Процессы капитализации, рост рыночной стоимости и инноватизации корпорации в аспекте значимости и влияния на них социально-психологические фактора (капитала)

Цель работы. Усовершенствовать и расширить содержание категории «социально-психологический капитал» в общем понимании и непосредственно на уровне отдельного субъекта хозяйствования, в частности: на уровне предприятия. Раскрыто значимость и содержание социально-психологического капитала предприятия. Показано влияние социально-психологического капитала на процессы капитализации и инноватизации предприятия.

Выделены роль психологического фактора в деятельности субъектов предпринимательской деятельности. Показано, что в условиях формирования новой инновационно-интеллектуальной экономики существует актуальная потребность в подчеркивании, определении, исследовании и комплексном оценивании такой категории как психологический капитал предприятия.

Представлены в обобщенном виде теоретико-методические подходы к определению основных направлений влияния социально-психологического капитала на экономику предприятия, а именно на уровень его капитализации, рыночной стоимости и экономической эффективности деятельности предприятия.

Методы исследования: системный, логический, аналитический.

Научная новизна. Определено, что в экономической оценке деятельности предприятия на современном этапе развития общественного производства нужно учитывать роль психологического капитала. Усовершенствованы подходы к раскрытию содержания категории «социально-психологический капитал предприятия». Представлены связи социально-психологического капитала предприятия с ключевыми производственно-хозяйственными процессами, происходящими на нем (процессы капитализации, рост рыночной стоимости, инноватизации).

Практическая значимость. Представлены основные направления влияния социально-психологического капитала, который сформировался на предприятии на определенный период времени, на процессы капитализации, рост рыночной стоимости и инноватизации.

Результаты. Представлен теоретико-методический подход к раскрытию сущности категории «социально-психологический капитал». Показать особую и растущую роль психологического фактора в условиях формирования новой парадигмы социально-экономического развития общества и становления новой экономики, а именно инновационно-интеллектуальной экономики. Определить, что в условиях инновационной экономики, как интелект человека-работника постепенно трансформируется в интеллектуальный капитал предприятия, так и психологический фактор в экономической деятельности предприятия постепенно превращается в его психологический капитал.

Акцентировать внимание на том, что психологический капитал в единстве с социальным капиталом предприятия является ключевым условием реализации его инновационного и экономического потенциалов, определяет новые подходы в процессах инвестиционной деятельности предприятия, а именно приоритетность инвестиций в социально-психологический и интеллектуальный капитал любого субъекта предпринимательства.

Ключевые слова: социальный капитал, психологический капитал, предприятие, капитализация, инноватизация, рыночная стоимость.

Turylo A. A., Turylo A. M. Processes of capitalization, growth of market value and innovativeization of corporation in the significance's aspect and influence on them social-psychological factor (capital)

Purpose. To improve and expand the content of the category "socio-psychological capital" in the general sense and directly at the level of a particular business entity, in particular: at the enterprise level. The significance and the socio-psychological capital's content of the enterprise are revealed. It is shown the socio-psychological capital's influence on the processes of capitalization and the enterprise's innovation.

The role of the psychological factor in the dynamic subjects of entrepreneurial activity is singled out. It is shown that in the formation's conditions of a new innovative intellectual economy, there is an urgent need to emphasize, define, investigate and comprehensively evaluate such a category as a company's psychological capital.

The theoretical and methodological approaches to determining the main directions of the socio-psychological capital's influence on the enterprise's economy, namely, the level of its capitalization, market value and economic efficiency of the enterprise's activity are presented in a generalized form.

Research methods. System, logical, analytical.

Scientific novelty. It is determined that in the economic the enterprise's evaluation at the present stage the social production's development it is necessary to take into account the role of psychological capital. The approaches to the content's disclosure of the category "socio-psychological capital at the enterprise" have been improved. There are some main connections of the socio-psychological capital at the enterprise with the key production and economic processes occurring on it (capitalization processes, growth of market value, innovation)

Practical value. There are the influence's main directions of socio-psychological capital, which was formed at the enterprise for a certain period of time, on the processes of capitalization, the growth of market value and innovation.

Results. It's theoretical-methodical approach to the disclosure of the category's essence "socio-psychological capital".

Show the special and growing role of the psychological factor in the conditions of the new paradigm's formation of the society's socio-economic development and the emergence of a new economy, namely, the innovation-intellectual economy. To determine that in the conditions of the innovation economy, as the intellect of the human worker is gradually transformed into the intellectual capital of the enterprise, so the psychological factor in the economic activity of the enterprise gradually turns into its psychological capital. To emphasize that psychological capital in unity with the social capital of an enterprise is a key condition for the realization of its innovative and economic potentials, determines new approaches in the processes of the enterprise's investment activity, namely, the priority of investments in the socio-psychological and intellectual capital of any business entity.

Key words: social capital, psychological capital, enterprise, capitalization, innovation, market value.

УДК 629.114.42: 622.271

Пахомов В.И., Гирин И.В., Гирин В.С. Моделирование технологических процессов сервисного центра карьерных самосвалов с использованием программы ANYLOGIC

Цель. Основной целью работы является обеспечение эксплуатационной надежности технологического автотранспорта горнодобывающих предприятий путем повышения эффективности процессов технического сервиса с использованием разработанной методики моделирования системы обслуживания автомобилей

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

Научная новизна. Научную ценность представляет: - разработанная имитационная модель функционирования сервисного центра для определения закономерностей оптимальной организации сервисного обслуживания на основе компьютерного эксперимента; - разработанный алгоритм, позволяющий на основе обращений в автосервисный центр определять параметры имитационной модели и прогнозировать загрузку производственных мощностей сервисной зоны; - предложенная система моделей развития автосервисного хозяйства, основанная на декомпозиционном подходе и включающая оптимизационную модель размещения производственных мощностей автосервиса и выбора их производственной структуры

Практическая значимость работы. Разработанная система моделирования позволяет: - обосновывать оптимальное число ступеней проведения ТО и сопутствующего ремонта; - сократить объемы работ, выполняемых на каждой ступени ТО и ремонта; - оптимизировать режимы проведения технического обслуживания и ремонта для конкретных горно-технических условий эксплуатации подвижного состава: - сократить время изъятия: подвижного состава из эксплуатации для его обслуживания и восстановления.

Результаты: разработанные математическая модель и методика оптимизации объемов работ в автосервисном центре позволяют выполнять функциональный анализ закономерностей, действующих при реализации процессов технического сервиса с использованием диагностической системы условий эксплуатации и изменения технического состояния подвижного состава; предлагаемая методика моделирования 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 большегрузных автосамосвалов.

Ключевые слова: автосервисный центр, моделирование, карьерные самосвалы, программа ANYLOGIC.

Пахомов В.И., Гірін І.В., Гірін В. С. Моделивання технологічних процесів сервісного центру кар'єрних самоскидів з використанням програми ANYLOGIC

Мета. Основною метою роботи є забезпечення експлуатаційної надійності технологічного автотранспорту гірничодобувних підприємств шляхом підвищення ефективності процесів технічного сервісу з використанням розробленої методики моделювання системи обслуговування автомобілів

Методи дослідження. В роботі виконані аналіз і узагальнення опублікованих теоретичних розробок, аналітичні розрахунки, статистичний аналіз, економіко-математичне моделювання. Методологія теоретичних досліджень заснована на застосуванні логічних і математичних методів. Також застосовується ряд приватних методів: аксіоматичний і гіпотетичний методи, програмно-цільовий метод, аналіз і синтез, метод інтерпретації, кореляційно-регресійний аналіз, імітаційне моделювання.

Наукова новизна. Наукову цінність представляє: - розроблена імітаційна модель функціонування-сервісного центру для визначення закономірностей оптимальної організації сервісного обслуговування на основі комп'ютерного експерименту; - розроблений алгоритм, що дозволяє на основі звернень в автосервісний центр визначати параметри імітаційної моделі і прогнозувати завантаження виробничих потужностей сервісної зони; - запропонована система моделей розвитку автосервісного господарства, заснована на декомпозиційному підході та включає оптимізаційну модель розміщення виробничих потужностей автосервісу і вибору їх виробничої структури.

Практична значимість роботи. Розроблена система моделювання дозволяє: - обґрунтовувати оптимальне число ступенів проведення ТО і супутнього ремонту; - скоротити обсяги робіт, виконуваних на кожному ступені ТО і ремонту; - оптимізувати режими проведення технічного обслуговування і ремонту для конкретних гірничо-технічних умов експлуатації рухомого складу: - скоротити час вилучення рухомого складу з експлуатації для його обслуговування і відновлення.

Результати: розроблені математична модель і методика оптимізації обсягів робіт в автосервісному центрі 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 методика моделювання 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 великовантажних автосамоскидів.

Ключові слова: автосервісний центр, моделювання, кар'єрні самоскиди, програма ANYLOGIC

Pakhomov V.I., Hirin I.V., Hirin V.S. Modeling of technological processes of the dump truck servicing through the ANYLOGIC program

Purpose. To ensure the operational reliability of technological transport for mining enterprises by increasing the efficiency of technical service using the developed methodology for modeling a service system.

Research methods. The paper provides for the analysis and general implementation of the published theoretical developments, analytical calculations, statistical analysis, economic and mathematical modeling. The methodology of theoretical research is based on the application of logical and mathematical methods. A number of particular methods are used as follows: axiomatic and hypothetical methods, program-target method, analysis and synthesis, interpretation method, correlation-regression analysis, imitation modeling.

Scientific novelty. An operational model of the service center to determine the optimal service based on a computer experiment is developed; an algorithm based on calls to a service center enables to determine the model parameters and predict capacity utilization of the service area; the system of development models for service facilities, based on a decomposition and an optimization model for the car service production capacities, their production structure as well is proposed.

Practical value. The modeling system enables to justify the optimal stages of maintenance and related repairs; to reduce the amount of work at each stage of maintenance and repair; to optimize the modes of maintenance and repair of rolling stock for specific mining operating conditions; to reduce the time of maintenance and restoration of a rolling stock.

Results. The mathematical model and methodology for optimizing service center operation allow for a functional analysis of the regularities when implementing technical service processes through a diagnostic system of operating conditions and changes in the technical condition of a rolling stock; the proposed modeling technique implements the principles of an individual assessment of operating conditions and changes in the technical condition of a rolling stock, uses the regularities to increase the efficiency of the dump truck service.

Key words: service center, modeling, mining trucks, ANYLOGIC program.

УДК 621.31

Саяпін В.Г., Кузнецов Д.І. Структура і архітектура системи керування та будови Microgrid з використанням джерел відновлювальної енергії

Мета. Кризовий стан енергосистеми України та велика залежність від імпорту палива призводять до потреби перегляду концепції енергосистеми та впровадження таких сучасних технологій, як Microgrid. Провести аналіз сучасних технологій, що використовуються у Microgrid з джерелами відновлювальної енергії, її структури та архітектури керування, особливості їх використання, для розробки системи керування розподіленням енергії в межах Microgrid з відновлювальними джерелами енергії.

Методи дослідження. Під час дослідження використано комплексні загальнонаукові теоретичні методи наукового дослідження. Методи теорії автоматичного керування та системний підхід в межах Microgrid з джерелами відновлювальної енергії.

Наукова новизна. Наукова новизна результатів після проведеного дослідження виходить з того, що визначено особливості побудови різних типів Microgrid, їх переваги та недоліки, особливості їх структури та архітектури керування. Аргументовано використання мереж постійного струму як перспективний напрямок в розвитку Microgrid.

Практична значимість. Отримані під час дослідження результати можуть використовуватись при розробці Microgrid з відновлювальними джерелами енергії з врахуванням їх переваг та недоліків, у розробці алгоритмів керування в межах Microgrid та дослідженні нових методів і архітектур керування для побудови Microgrid.

Результати. Означено теперішній стан енергосистеми України і визначено подальші перспективи. Перспективним є використання мереж постійного струму в Microgrid з використанням джерел відновлювальної енергії. Визначено

пріоритет розробки Microgrid в Україні, але в наш час ще недостатньо досліджень використання Microgrid в умовах країни. Більш надійні архітектури керування Microgrid, такі як децентралізована архітектура і точка-точка не здатні до оптимального розподілення та прогнозування виробки та споживання енергії в межах мережі. Визначено подальші напрямки проведення досліджень для виявлення особливостей використання Microgrid з джерелами відновлювальної енергії в умовах України разом з використанням прогнозуючих моделей, що дозволить збільшити ефективність мережі.

Ключові слова: Microgrid, керування, відновлювальні джерела енергії, аналіз, архітектура.

Саяпин В.Г., Кузнецов Д.И. Структура и архитектура системы управления и строения Microgrid с использованием источников возобновляемой энергии

Цель. Кризисное состояние энергосистемы Украины и большая зависимость от импорта топлива приводят к необходимости пересмотра концепции энергосистемы и внедрения таких современных технологий, как Microgrid. Провести анализ современных технологий, используемых в Microgrid с источниками возобновляемой энергии, ее структуры и архитектуры управления, особенности их использования для разработки системы управления распределением энергии в пределах Microgrid с возобновляемыми источниками энергии.

Методы исследования. Во время исследования использованы комплексные общенаучные теоретические методы научного исследования. Методы теории автоматического управления и системный подход в пределах Microgrid с источниками возобновляемой энергии.

Научная новизна. Научная новизна после проведенного исследования исходит из того, что определены особенности построения различных типов Microgrid, их преимущества и недостатки, особенности их структуры и архитектуры управления. Аргументировано использование сетей постоянного тока как перспективное направление в развитии Microgrid.

Практическая значимость. Полученные в ходе исследования результаты могут использоваться при разработке Microgrid с возобновляемыми источниками энергии с учетом их преимуществ и недостатков, в разработке алгоритмов управления в пределах Microgrid и исследовании новых методов и архитектур управления для построения Microgrid.

Результаты. Отмечено нынешнее состояние энергосистемы Украины и определены дальнейшие перспективы. Перспективным является использование сетей постоянного тока в Microgrid с использованием источников возобновляемой энергии. Определен приоритет разработки Microgrid в Украине, но в наше время еще недостаточно исследованый использования Microgrid в условиях страны. Более надежные архитектуры управления Microgrid, такие как децентрализованная архитектура и точка-точка не способны к оптимальному распределению и прогнозированию выработки и потребления энергии в пределах сети. Определены дальнейшие направления проведения исследований для выявления особенностей использования Microgrid с источниками возобновляемой энергии в условиях Украины вместе с использованием прогнозирующих моделей, что позволит увеличить эффективность сети.

Ключевые слова: Microgrid, управление, возобновляемые источники энергии, анализ, архитектура.

Saiapin V.G., Kuznetsov D.I. Structure and architecture of the Microgrid control and building system using renewable energy sources

Purpose. The crisis state of the Ukrainian energy system and the great dependence on fuel imports necessitate a revision of the energy system concept and the introduction of modern technologies such as Microgrid. To analyze the modern technologies used in Microgrid with renewable energy sources, its structure and control architecture, the features of their use for the development of an energy distribution management system within Microgrid with renewable energy sources.

Research methods. During the study, comprehensive general scientific theoretical methods of scientific research were used. Methods of automatic control theory and a systems approach within Microgrid with renewable energy sources.

Scientific novelty. The scientific novelty after the study proceeds from the fact that the features of the construction of various types of Microgrid, their advantages and disadvantages, the features of their structure and management architecture are determined. The use of DC networks is argued as a promising direction in the development of Microgrid.

Practical value. The results obtained during the study can be used in the development of Microgrid with renewable energy sources, taking into account their advantages and disadvantages, in the development of control algorithms within Microgrid and the study of new control methods and architectures for building Microgrid.

Results. The current state of the Ukrainian energy system is noted and future prospects are determined. Promising is the use of DC networks in Microgrid using renewable energy sources. The priority of Microgrid development in Ukraine has been determined, but in our time there is still insufficient research on the use of Microgrid in the country. More robust Microgrid control architectures such as decentralized and point-to-point architecture are not capable of optimally distributing and predicting power generation and consumption within the network. Further areas of research were identified to identify the features of using Microgrid with renewable energy sources in Ukraine, together with the use of predictive models, which will increase the efficiency of the network.

Key words: Microgrid, management, renewable energy, analysis, architecture.

УДК 621.311.4.031

Сінчук І.О., Козакевич І.А., Барановська М.Л., Берідзе Т.М., Пересулько І.І. Превентивна оцінка і основні напрями підвищення енергоефективності підземних залізничних підприємств

Мета. Метою даної статті є превентивна оцінка та розгляд основних напрямів підвищення енергоефективності підземних залізничних підприємств для досягнення необхідного рівня їх конкурентоспроможності.

Методи дослідження. У статті використовуються аналітичні і експериментальні методи досліджень. Аналітичні методи базуються на положеннях теорії імовірностей і математичної статистики, теорії розпізнавання образів, статисти-

стичної класифікації, кореляційно-регресійного, гармонічного, компонентного і причинного аналізу. Експериментальні методи ґрунтуються на положеннях теорії планування експерименту, електричних вимірів.

Наукова новизна. Розроблення раціонального управління електроенергопотокми, формування інформаційно-аналітичної бази щодо обґрунтування управлінських рішень в системі управління енергозабезпеченням залізрудних підприємств.

Практична значимість. Економічна проблема гірничо-металургійних підприємств України полягає в щорічному зростанні собівартості видобутку залізрудної сировини, тому актуальним є пошук шляхів зменшення або хоча б стримання темпів зростання цього показника. Основні причини росту собівартості (за результатами досліджень) – це застарілі технології ведення гірничих робіт та збільшення глибини видобутку корисних копалин. Підвищення енергоефективності – питання, котре сьогодні повинно вирішуватись всіма підприємства гірничо-металургійної галузі.

Результати. Дослідження авторів дозволило формалізувати фактори впливу на рівні споживання електричної енергії приймачами підземних залізрудних підприємств: технологічні фактори; типи, види та режими роботи машин та механізмів; системи електропостачання; наявність чи відсутність системи контролю та управління режимами споживання електричної енергії. Розглянуто комплекс напрямків підвищення енергоефективності в сучасних умовах при сталій технології видобутку залізрудної сировини: зниження втрат електричної енергії в комплексі енергопостачання-енергоспоживання, реструктуризація систем електропостачання, створення умов для максимально можливої продуктивності електромеханічних систем гірничих машин та механізмів, організаційні заходи.

Досліджено мінімізацію втрат електроенергії в системах електропостачання шляхом вибору раціонального рівня напруги, застосування в практику удосконалених методів розрахунку електричних мереж та рівнів навантажень підземних залізрудних підприємств, втілення ефективних засобів компенсації реактивної потужності. В електромеханічних комплексах та системах рекомендовано впровадження енергоефективних систем керування, забезпечення якості електричної енергії, використання автоматизованих систем контролю за рівнями енергоспоживання АСКРЕ.

Ключові слова: залізрудна шахта, енергопостачання, енергоспоживання, підвищення енергоефективності, енергоменеджмент, конкурентоспроможність

Синчук И.О., Козакевич И.А., Барановская М.Л., Беридзе Т.М., Пересунько И.И. Превентивная оценка и основные направления повышения энергоэффективности подземных железорудных предприятий

Цель. Целью данной статьи является превентивная оценка и рассмотрение основных направлений повышения энергоэффективности подземных железорудных предприятий для достижения необходимого уровня их конкурентоспособности.

Методы исследования. В статье используются аналитические и экспериментальные методы исследований. Аналитические методы базируются на положениях теории вероятностей и математической статистики, теории распознавания образов, статистической классификации, корреляционно-регрессионного, гармонического, компонентного и причинного анализа. Экспериментальные методы основываются на положениях теории планирования эксперимента, электрических измерений.

Научная новизна. Разработка рационального управления электроенергопотокми, формирование информационно-аналитической базы для обоснования управленческих решений в системе управления энергообеспечением железорудных предприятий.

Практическая значимость. Экономическая проблема горно-металлургических предприятий Украины заключается в ежегодном росте себестоимости добычи железорудного сырья, поэтому актуальным является поиск путей уменьшения или хотя бы сдерживания темпов роста этого показателя. Основные причины роста себестоимости (по результатам исследований) – это устаревшие технологии ведения горных работ и увеличение глубины добычи полезных ископаемых. Повышение энергоэффективности – вопрос, который сегодня должен решаться всеми предприятиями горно-металлургической отрасли.

Результаты. Исследования авторов позволило формализовать факторы влияния на уровни потребления электрической энергии приемниками подземных железорудных предприятий: технологические факторы; типы, виды и режимы работы машин и механизмов; системы электроснабжения; наличие или отсутствие системы контроля и управления режимами потребления электрической энергии.

Рассмотрен комплекс направлений повышения энергоэффективности в современных условиях при постоянной технологии добычи железорудного сырья: снижение потерь электрической энергии в комплексе энергоснабжения-энергопотребления, реструктуризация систем электроснабжения, создание условий для максимально возможной производительности электромеханических систем горных машин и механизмов, организационные мероприятия.

Исследована минимизация потерь электроэнергии в системах электроснабжения путем выбора рационального уровня напряжения, применение в практике усовершенствованных методов расчета электрических сетей и уровней нагрузок подземных железорудных предприятий, применение эффективных средств компенсации реактивной мощности. В электромеханических комплексах и системах рекомендуется внедрение энергоэффективных систем управления, обеспечения качества электрической энергии, использование автоматизированных систем контроля за уровнями энергопотребления АСКУЭ.

Ключевые слова: железорудная шахта, энергоснабжение, энергопотребление, повышение энергоэффективности, энергоменеджмент, конкурентоспособность

Sinchuk I.O., Kozakevych I.A., Baranovska M.L., Beridze T.M., Peresunko I.I. Preventive assessment and basic trends of increasing energy efficiency at iron ore underground mining enterprises

Purpose. The research is aimed at preventive assessment and consideration of basic trends of increasing energy efficiency at iron-ore underground mining enterprises in order to achieve the required levels of their competitiveness.

Research methods. The research uses analytical and experimental research methods. Analytical methods are based on principles of the relativity theory, mathematical statistics, the image recognition theory, statistical classification as well as methods of correlation-regression, frequency, component and cause-and-effect analyses. Experimental methods are based on principles of the theory of planning experiment and electric measurements.

Scientific novelty. The research implies developing an efficient control over the power system, forming the data-analytical base to enhance managerial solutions in the control system of power supply for iron-ore mining enterprises.

Practical value. The economic problem of Ukraine's mining and metallurgical enterprises involves annual increase of prime costs for mining iron ore materials, this making search for reducing these costs extremely urgent. According to the research results, increased primary costs are primarily caused by obsolete mining technologies and increase of mineral mining depth. Currently, all mining and metallurgical enterprises of Ukraine are facing the problem of improving energy efficiency.

Results. The research enables formalization of factors affecting power consumption at iron-ore underground mining enterprises including technological factors; types and modes of machine and mechanism functioning; systems of power supply; availability or absence of the control system for power consumption modes.

There are considered trends of increasing energy efficiency in current conditions for constant iron ore mining technologies – reduction of power losses in the power supply-consumption complex, restructuring of power supply systems, creation of conditions to ensure the maximum efficiency of power-mechanical systems of mining machines and mechanisms and measures taken to achieve them.

Reduction of power losses in power supply systems through selecting the most efficient voltage, application of improved methods of calculating power grids and load levels for iron-ore underground mining enterprises as well as efficient means of reactive power compensation are under analysis. Introduction of energy-efficient control systems, provision of power quality, deployment of automated control systems for power consumption levels of the Automatic System for Commercial Accounting of Power Consumption (ASCAPC) are recommended.

Key words: iron-ore underground mine, power supply, power consumption, increased energy efficiency, power management, competitiveness

УДК [330+005.915:33.012.324]-044.922

Турило А.А., Ртищев С.А. Економічна оцінка вибору оптимального банку для кредитних та депозитних операцій у кризовий час

Мета. Подальше дослідження практичних ефективних методів оцінки відсотків по кредитним і депозитним операціям, процентної маржі, СПРЕДУ та резервів по кредитам, що в цілому гармонійно відображається у триєдинстві таких базових елементів, як СПРЕД, маржа і резерви. Даний інструментарій покликаний допомогти клієнтам у виборі оптимального шляху щодо пошуку надійної фінансової установи. Також мета даної роботи полягає в тому, щоб за допомогою методології та викладеного практичного інструментарію удосконалити всю банківську систему в країні.

Методи дослідження. У статті використано такі загальнонаукові методи дослідження як: науковий, функціональний, системний, структурно-логічний.

Наукова новизна. Наукова новизна даної статті полягає в доступності ефективного аналітичного інструментарію для всіх верств населення на базі банківської статичної інформації. В ньому детально наведена покрокова інструкція аналізу кредитних і депозитних операцій, що дозволяє більш предметно і конкретно аналізувати фінансово-економічний стан комерційних банків.

Практична значимість. Практична значимість статті полягає у формуванні практичних інноваційних рекомендацій для банків та його клієнтів у вирішенні питань продуктивної співпраці та рентабельної діяльності як окремих бізнес-процесів (активних і пасивних операцій) фінансових установ, так і банківської системи в цілому. Налаштована система роботи банку з усіма клієнтами (фізичними і юридичними особами) є надійним фундаментом для розвитку фінансових установ в Україні, і не тільки. Даний метод аналізу допоможе швидше подолати кризу та вийти з неї з мінімальними втратами капіталу.

Результати. Визначено, що наведений в статті методологічний інструментарій допоможе більш глибоко та детальніше підходити до зваженого вибору банку по основним параметрам, котрими виступають кредити і депозити, та відсотки по ним.

Ключові слова: відсоток, кредит, депозит, банк, СПРЕД, процентна маржа, резерви.

Турило А.А., Ртищев С.А. Экономическая оценка выбора оптимального банка для кредитных и депозитных операций в кризисное время

Цель. Дальнейшее исследование практических эффективных методов оценки процентов по кредитным и депозитным операциям, процентной маржи, СПРЕДа и резервов по кредитам, что в целом гармонично отображается в триединстве таких базовых элементов, как СПРЕД, маржа и резервы. Данный инструментарий призван помочь клиентам в выборе оптимального пути по поиску надежного финансового учреждения. Также цель данной работы заключается в том, чтобы с помощью методологии и изложенного практического инструментария усовершенствовать всю банковскую систему в стране.

Методы исследования. В статье использованы такие общенаучные методы исследования как: научный, функциональный, системный, структурно-логический подходы.

Научная новизна данной статьи заключается в доступности эффективного аналитического инструментария для всех слоев населения на базе банковской статической информации. В нем подробно приведена пошаговая инструкция анализа кредитных и депозитных операций, что позволяет более предметно и конкретно анализировать финансово-экономическое положение коммерческих банков.

Практическая значимость статьи заключается в формировании практических инновационных рекомендаций для банков и его клиентов в решении вопросов продуктивного сотрудничества и рентабельной деятельности как отдельных бизнес-процессов (активных и пассивных операций) финансовых учреждений, так и банковской системы в целом. Отлаженная система работы банка со всеми клиентами (физическими и юридическими лицами) является надежным фундаментом для развития финансовых учреждений в Украине, и не только. Данный метод анализа поможет быстрее преодолеть кризис и выйти из него с минимальными потерями капитала.

Результаты. Определено, что приведенный в статье методологический инструментарий поможет более глубоко и подробнее подходить к взвешенному выбору банка по основным параметрам, которыми выступают кредиты и депозиты, и проценты по ним.

Ключевые слова: процент, кредит, депозит, банк, СПРЕД, процентная маржа, резервы.

Turylo A.A., Rtyshchev S. A. Economic evaluation of optimal bank selection for credit and deposit operations in crisis

Purpose. Further study of practical effective methods for assessing interest on credit and deposit operations, interest margin, spread and loan reserves, which is generally harmoniously reflected in the trinity of such basic elements as spread, margin and reserves. This toolkit is designed to help customers choose the best path to find a reliable financial institution. The purpose of this work is also to improve the entire banking system in the country using the methodology and the set of practical tools.

Research methods. The article used such general scientific research methods as: scientific, functional, systemic, structural and logical approaches.

Scientific novelty. The availability of effective analytical tools for all segments of the population based on banking static information. It provides a detailed step-by-step instruction for analyzing credit and deposit operations, which allows a more substantive and specific analysis of the financial and economic situation of commercial banks.

Practical value. The formation of practical innovative recommendations for banks and its customers in addressing the issues of productive cooperation and cost-effective activities of both individual business processes (active and passive operations) of financial institutions, and the banking system as a whole. A well-functioning system of the bank's work with all clients (individuals and legal entities) is a reliable foundation for the development of financial institutions in Ukraine, and not only. This analysis method will help to quickly overcome the crisis and get out of it with minimal capital losses.

Results. It is determined that the methodological tools presented in the article will help to more deeply and more closely approach the balanced choice of the bank according to the main parameters, which are loans and deposits, and interest on them.

Key words: interest, credit, deposit, bank, spread, interest margin, reserves.

УДК [658.562:622.7.016]: 66.085.3

Азарян А. А., Швець Д. В. Гамма-излучение как источник информации для контроля содержания железа в железорудном сырье

Цель. Усовершенствование существующего ядернофизического метода контроля содержания 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 и поглощенного гамма-излучения от содержания полезного компонента в железной руде. Получение аналитических формул для вычисления содержания железа в железорудном сырье на основе рассеянного и поглощенного гамма-излучения.

Методы исследования. Предлагается вместе с известным ядернофизическим методом, основанным на регистрации комптоновского рассеяния, использовать метод учета интенсивности поглощенного гамма-излучения для повышения точности контроля качества железорудного сырья в области высоких содержаний железа.

Научная новизна. Впервые предложено при контроле содержания железа в железорудном сырье ядернофизическими методами контролировать как интенсивность рассеянного гамма-излучения, так и учитывать интенсивность поглощенного гамма-излучения.

Практическая значимость. Известный ядернофизический метод контроля качества железорудного сырья, основанный на измерении интенсивности рассеянного гамма-излучения, обуславливает недостаточную точность при анализе содержания железа в исходной руде рудообогатительных фабрик и продуктах переработки. Применение полученных результатов исследований даст возможность повысить точность контроля содержания железа в железорудном сырье и продуктах переработки в условиях рудообогатительных фабрик, что позволит уменьшить колебания содержания железа в конечном продукте рудообогатительных фабрик - концентрате, а также создаст предпосылки для увеличения производительности металлургического производства.

Результаты. Проведены исследования по определению содержания железа в железорудном сырье при помощи ядернофизических методов, основанных на регистрации интенсивности рассеянного и поглощенного гамма-излучений. Анализ полученных результатов экспериментальных исследований показал, что для контроля качества железорудного сырья с высокими значениями содержания железа целесообразно применять ядернофизический метод контроля, основанный на учете интенсивности поглощенного гамма-излучения. Получены аналитические формулы для вычисления содержания железа в железорудном сырье на основе рассеянного и поглощенного гамма-излучения.

Ключевые слова: железорудное сырье, комптоновское рассеяние, ядернофизические методы, гамма-излучение, оперативный контроль.

Азарян А. А., Швець Д. В. Гамма-випромінювання як джерело інформації для контролю вмісту заліза в залізорудній сировині

Мета. Удосконалення існуючого ядернофізичного методу контролю вмісту 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 та поглинутого гамма-випромінювання від вмісту корисного компонента в залізній руді. Отримання аналітичних формул для обчислення вмісту заліза в залізорудній сировині на основі розсіяного та поглиненого гамма-випромінювання.

Методи дослідження. Пропонується разом з відомим ядернофізичним методом, заснованим на реєстрації комптонівського розсіювання, використовувати метод обліку інтенсивності поглиненого гамма-випромінювання для підвищення точності контролю якості залізорудної сировини в області високих вмістів заліза.

Наукова новизна. Вперше запропоновано при контролі вмісту заліза в залізорудній сировині ядернофізичними методами контролювати як інтенсивність розсіяного гамма-випромінювання, так і враховувати інтенсивність поглиненого гамма-випромінювання.

Практична значимість. Відомий ядернофізичний метод контролю якості залізорудної сировини, заснований на вимірі інтенсивності розсіяного гамма-випромінювання, зумовлює недостатню точність при аналізі вмісту заліза у вихідній руді рудозбагачувальних фабрик і продуктах переробки. Застосування отриманих результатів досліджень надасть можливість підвищити точність контролю вмісту заліза в залізорудній сировині та продуктах переробки в умовах рудозбагачувальних фабрик, що дозволить зменшити коливання вмісту заліза в кінцевому продукті рудозбагачувальних фабрик - концентраті, а також створить передумови для збільшення продуктивності металургійного виробництва.

Результати. Проведено дослідження з визначення вмісту заліза в залізорудній сировині за допомогою ядернофізичних методів, заснованих на реєстрації інтенсивності розсіяного та поглиненого гамма-випромінювання. Аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень показав, що для контролю якості залізорудної сировини з високими значеннями вмісту заліза доцільно застосовувати ядернофізичний метод контролю, заснований на обліку інтенсивності поглиненого гамма-випромінювання. Отримано аналітичні формули для обчислення вмісту заліза в залізорудній сировині на основі розсіяного і поглиненого гамма-випромінювання.

Ключові слова: залізорудна сировина, комптонівське розсіювання, ядернофізичні методи, гамма-випромінювання, оперативний контроль.

Azaryan A.A., Shvets D.V. Gamma radiation as a source of information for monitoring the iron content in iron ore

Purpose. Improvement of the existing nuclear-physical method for monitoring the 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 dependencies of the intensity of scattered, absorbed gamma radiation on the content of the useful component in iron ore. Obtaining analytical formulas for calculating the iron content in iron ore raw materials based on scattered and absorbed gamma radiation.

Research methods. It has proposed, together with the well-known nuclear-physical method based on the detection of Compton scattering, to use the method of accounting for the intensity of absorbed gamma radiation to improve the accuracy of quality control of iron ore in the region of high iron contents.

Scientific novelty. For the first time, when controlling the iron content in iron ore raw materials by nuclear physics methods, both the intensity of scattered gamma radiation and the intensity of absorbed gamma radiation were taken into account.

Practical value. The well-known nuclear physical method of controlling the quality of iron ore raw materials, based on measuring the intensity of scattered gamma radiation, causes insufficient accuracy in the analysis of the iron content in the initial ore of ore dressing plants and processing products. The application of the research results will make it possible to increase the accuracy of monitoring the iron content in iron ore raw materials and processed products in the conditions of ore dressing factories, which will reduce the fluctuation of iron content in the final product of ore dressing plants - concentrate, and also create the prerequisites for increasing the productivity of metallurgical production.

Results. Studies have carried out to determine the iron content in iron ore using nuclear physics methods based on recording the intensity of scattered and absorbed gamma radiation. An analysis of the results of experimental studies showed that to control the quality of iron ore raw materials with high values of iron content, it is advisable to apply a nuclear-physical control method based on taking into account the intensity of absorbed gamma radiation. Analytical formulas have obtained for calculating the iron content in iron ore raw materials based on scattered and absorbed gamma radiation.

Key words: iron ore raw materials, Compton scattering, nuclear physics methods, gamma radiation, operational control.

УДК 622.7.017

Губин Г.Г., Сантгареев Л.Н., Ярош Т.П. Магнитные свойства и флокулообразование частиц железорудных минералов окисленных руд

Цель. В связи с трудностями магнитного обогащения в сильном поле окисленных кварцитов, не позволили получить высококачественные концентраты, авторы провели исследования по изучению магнитных свойств минералов и определили возможность их флокуляции.

Методы исследования. Применялись магнитные методы.

Научная новизна заключается в получении новых результатов по магнитным свойствам минералов окисленных руд в магнитных полях напряженностью до 800 кА / м.

Практическая значимость заключается в разработке технологии флокулования с целью уменьшения потерь металла с тонкими шламами крупностью менее 10 мкм.

Результаты. Исследованы мономинеральные фракции гематита, мартитовые, гётита, сидерита и кварца. Полученные данные позволили сделать вывод, что перечисленные минералы характеризуются слабо выражены магнетизмом. При этом необходимо учитывать, что природные минералы и подготовлены мономинеральные фракции не являются абсолютно чистыми материалами. Экспериментальные исследования подтвердили наличие процесса флокулоутворения в полях с индукцией 0,5-1 Тл. В продуктах с повышенной массовой долей магнетита (в основном сидерит и гематит размером 0,01 мм) в полях напряженностью до 800 кА / м образуются флокулы с долей магнетита. Притяжения слабомагнитных частиц к ним незначительно. При увеличении индукции поля эти флокулы привлекаются между собой, на них постепенно флокулюют доли основных слабомагнитных минералов, особенно при напряженности свыше 400 кА / м, а при 800 кА / м образуются уже объемные агрегаты - флокулы, размещенные параллельными цепочками в направлении поля. С уменьшением размеров частиц гематита, мартитовые и гётита притяжения в флокулы происходит при меньших расстояниях между ними. Совместное намагничивания крупных частиц с мелкими несколько облегчает флокулоутворения для мелких частиц за счет образования их флокул с крупными частицами, особенно в поле 800 кА / м. Полученные результаты объясняют сравнительно низкие качественные показатели обогащения окисленных кварцитов магнитным методом в сильном поле и является основанием для их улучшения.

Ключевые слова: магнитное обогащение, железорудные минералы, флокулы, флокулоутворения, намагничивания частиц.

Губін Г.Г., Сaitгаресв Л.Н., Ярош Т.П. Магнітні властивості та флокулоутворення часток залізородних мінералів окислених руд

Мета. У зв'язку з труднощами магнітного збагачення в сильному полі окислених кварцитів, що не дозволили отримати високоякісні концентрати, автори провели дослідження по вивченню магнітних властивостей мінералів і визначили можливість їх флокуляції.

Методи дослідження. Застосовувались магнітні методи.

Наукова новизна полягає в отриманні нових результатів щодо магнітних властивостей мінералів окислених руд в магнітних полях напруженістю до 800 кА/м.

Практична значимість полягає в розробці технології флокулювання з метою зменшення втрат металу з тонкими шламами крупністю менше 10 мкм.

Результати. Досліджені мономінеральні фракції гематиту, мартиту, гетиту, сидериту і кварцу. Отримані дані дозволили зробити висновок, що перераховані мінерали характеризуються слабковираженим магнетизмом. При цьому необхідно враховувати, що природні мінерали та підготовлені мономінеральні фракції не є абсолютно чистими матеріалами. Експериментальні дослідження підтвердили наявність процесу флокулоутворення в полях з індукцією 0,5-1 Тл. У продуктах з підвищеною масовою часткою магнетиту (в основному сидерит і гематит розміром 0,01 мм) у полях напруженістю до 800 кА/м утворюються флокули з часток магнетиту. Притягання слабomagнітних частинок до них є незначним. При збільшенні індукції поля ці флокули притягуються між собою, на них поступово флокулюють частки основних слабomagнітних мінералів, особливо при напруженості понад 400 кА/м, а при 800 кА/м утворюються вже об'ємні агрегати – флокули, розміщені паралельними ланцюжками в напрямку поля. Зі зменшенням розмірів часток гематиту, мартиту і гетиту притягання у флокули відбувається при менших відстанях між ними. Спільне намагнічування крупних часток з дрібними дещо полегшує флокулоутворення для дрібних часток за рахунок утворення їх флокул з великими частками, особливо в полі 800 кА/м.

Отримані результати пояснюють порівняно низькі якісні показники збагачення окислених кварцитів магнітним методом у сильному полі і є підставою для їх поліпшення.

Ключові слова: магнітне збагачення, залізородні мінерали, флокули, флокулоутворення, намагнічування часток.

Gubin G.G., Saithareiev L.N., Yarosh T.P. Magnetic properties and flocculation formation of particles of iron ore minerals of oxidized ore

Purpose. Due to difficulties of magnetic dressing in strong field of oxidized quartzites, which did not allow to obtain high-grade concentrates, authors conducted studies regarding magnetic properties of minerals and determined possibility of their flocculation.

Research methods. Magnetic methods are applied.

Scientific novelty lies in obtaining new results in magnetic properties of oxidized ores minerals in magnetic fields of tension up to 800 kA/m.

Practical value lies in development of flocculation technology in order to avoid metal loss of slime with particle size of less than 10 microns.

Results. Monomineral fractions of hematite, martite, goethite siderite and quartz were studied. Obtained data enabled to make conclusion that listed minerals have weakly expressed magnetism. It shall be taken into consideration that natural minerals and prepared monomineral fractions are not absolutely pure. Experimental studies have confirmed presence of flocculation formation process in fields with induction of 0.5-1 T. In products with increased mass fraction of magnetite (mainly siderite and hematite with particle size of 0.01 mm) in fields with tension of up to 800 kA/m, flocculi are formed from particles of magnetite. Attraction of weakly magnetic particles to them is negligible. With increasing field induction, these flocculi are attracted to each other, particles of main weakly magnetic minerals gradually flocculate on them, especially at tension of more than 400 kA/m, and at 800 kA/m they become volume aggregates – floccule arranged in parallel chains in direction of field. With decrease of hematite, martite, and goethite particle sizes, attraction to flocculi occurs at smaller distances between them. Joint magnetization of large particles with small ones facilitates flocculation formation of small particles due to formation of their flocculi with large particles, especially in field of 800 kA/m.

Obtained results explain relatively low qualitative values of oxidized quartzites dressing by magnetic method in strong field and are basis for their improvement.

Key words: magnetic dressing, iron ore minerals, flocculi, flocculation formation, particles magnetization.

УДК 681.03

Вдовиченко І.Н. Системний аналіз ClickHouse – колоночної СУБД для online обробки аналітичних запитів

Мета. Проведення системного аналізу СУБД ClickHouse. Оцінка доцільності використання її у аналітичних системах.

Методи дослідження. У роботі використані: метод експертних оцінок, статистичні та аналітичні методи, комп'ютерні інформаційні та програмні технології. Залучення методів системного аналізу для вирішення проблем необхідно, перш за все, тому, що в процесі прийняття рішень доводиться здійснювати вибір в умовах невизначеності, яка обумовлена наявністю факторів, що не підлягають адекватній кількісній оцінці.

Наукова новизна. Проаналізовано сучасні потреби аналітичних обробок інформації, відмічено необхідність зберігати, аналізувати, перетворювати трильйони записів і петабайти даних. У роботі досліджено бази даних стовпчикового типу в цілому, інструменти для керування ними та їх переваги і недоліки. Предметом дослідження є система управління базами даних стовпчикового типу ClickHouse.

Практична значимість. При переході від рядкових СУБД до колоночних СУБД вираш у часі обробки запитів майже у 100 тисяч разів.

Результати. Було проведено аналіз будови СУБД ClickHouse, визначено можливості та особливості об'єкту, з'ясовано структурні особливості, які потенційно допомогли б впровадити її у роботу. Розглянуто показники, за якими оцінюють сучасні програмні продукти класу баз даних, виявлено основні можливості СУБД ClickHouse, порівняння

її з іншими подібними інструментами, означено переваги і основні недоліки перед конкурентними продуктами галузі. У роботі конкретизовано характеристики колоночних СУБД. Представлено результати тестування колоночних СУБД. Запропоновано приклад для перевірки використання SQL для колоночних БД. Обґрунтовано доцільність переходу від рядкових БД до колоночних. Розглянуто спосіб зберігання інформації в ClickHouse. Виконуючи системний аналіз СУБД ClickHouse було отримано характеристики, на базі яких можна зазначити, що дана СУБД – це перспективний, швидкісний напрям, що розвивається, має великі можливості застосування, як самостійне ПЗ, так і в таких технологіях, як Big Date, Data Mining та інших.

Ключові слова: бази даних, колоночні СУБД, аналітичні запити, системний аналіз, швидкість.

Вдовиченко І.Н. Системный анализ ClickHouse - колоночной СУБД для online обработки аналитических запросов

Цель. Проведение системного анализа СУБД ClickHouse. Оценка целесообразности использования ее в аналитических системах.

Методы исследования. В работе использованы: метод экспертных оценок, статистические и аналитические методы, компьютерные информационные и программные технологии. Привлечение методов системного анализа для решения проблем необходимо, прежде всего, потому, что в процессе принятия решений приходится осуществлять выбор в условиях неопределенности, которая обусловлена наличием факторов, не подлежащих адекватной количественной оценке.

Научная новизна. Проанализированы современные потребности аналитических обработок информации, отмечено необходимость хранения, анализа, преобразования триллионов записей и петабайт данных. В работе исследованы базы данных столбикового типа в целом, инструменты для управления ими, их преимущества и недостатки. Предметом исследования является система управления базами данных столбикового типа ClickHouse.

Практическая значимость. При переходе от строчных СУБД к колоночным СУБД выигрыш во времени обработки запросов почти в 100 000 раз.

Результаты. Был проведен анализ структуры СУБД ClickHouse, определены возможности и особенности объекта, выяснено структурные особенности, которые потенциально помогли бы внедрить ее в работу. Рассмотрены показатели, по которым оценивают современные программные продукты класса баз данных, выявлены основные возможности СУБД ClickHouse, сравнение ее с другими подобными инструментами, отмечено преимущества и основные недостатки перед конкурентными продуктами отрасли. В работе конкретизированы характеристики колоночной СУБД. Представлены результаты тестирования колоночных СУБД. Предложено пример для проверки использования SQL для ClickHouse. Обоснована целесообразность перехода от строчных БД к колоночным. Рассмотрен способ хранения информации в ClickHouse. Выполняя системный анализ СУБД ClickHouse было получено характеристики, на базе которых можно отметить, что данная СУБД - это перспективное, скоростное направление, которое развивается, имеет большие возможности применения, как самостоятельное ПО, так и в таких технологиях, как Big Date, Data Mining и других.

Ключевые слова: базы данных, колоночные СУБД, аналитические запросы, системный анализ, скорость.

Vdovychenko I.N. System analysis of ClickHouse - column DBMS for online processing of analytical requests

Purpose. Carrying out a system analysis of the ClickHouse DBMS. Assess the feasibility of using it in analytical systems.

Research methods. We used: expert evaluation method, statistical and analytical methods, computer information and software technologies. The involvement of systems analysis methods for solving problems is necessary, first of all, because in the decision-making process one has to make choices under uncertainty, which is conditioned by the presence of factors that are not subject to adequate quantitative assessment.

Scientific novelty. The modern needs of analytical processing of information are analyzed, the need to store, analyze, convert trillions of records and petabytes of data is noted. The paper investigates the column type databases in general, the tools for managing them, and their advantages and disadvantages. The subject of the study is the database management system of the ClickHouse column type.

Practical value. In the transition from row DBMS to column DBMS you will win almost 100 thousand times during the processing of queries.

Results. The structure of the ClickHouse DBMS was analyzed, the features and features of the object were identified, the structural features that could potentially put it into operation were determined. The indicators by which modern database class software products are evaluated, the main features of ClickHouse DBMS are compared, its comparison with other similar tools, the advantages and the main disadvantages over the competitive products of the industry are identified. The characteristics of column DBMS are specified in the work. The results of testing the DBMS columns are presented. An example is offered to test the use of SQL for column databases. The expediency of transition from row databases to column ones is substantiated. The method of storing information in ClickHouse is considered. Performing a system analysis of the ClickHouse DBMS, we obtained characteristics that indicate that the DBMS is a promising, fast-paced developing direction with great potential for use as standalone software and technologies such as Big Date, Data Mining and others.

Key words: databases, DBMS columns, analytical queries, system analysis, speed.

УДК 621.867.157 (088.8)

Горбачов Ю.Г., Хруцький А.О., Громадський А.С., Ліфенцов О.С. Обґрунтування параметрів експериментального стенду для дослідження вібраційних машин та процесу вібротранспортування

Мета. Необхідність подальшого розвитку гірничо-металургійного комплексу потребує оснащення гірничих підприємств новим технологічним обладнанням. Метою роботи є забезпечення можливості експериментального дослідження особливостей технологічного процесу вібраційного транспортування сипких вантажів та вібраційних машин для його реалізації. Важливість проблеми обумовлюється необхідністю подальшого розширення застосування вібраційних технологій і техніки у гірничому виробництві для підвищення його ефективності. Для вибору та обґрунтування раціональних режимних параметрів та робочих і конструктивних показників вібраційного обладнання потріб-

не відповідне експериментальне устаткування. З огляду на це, тема дослідження представляється цілком актуальною.

Методи дослідження. В результаті розгляду науково-технічної інформації та за допомогою аналітичного методу визначено важливість експериментальних досліджень вібраційних технологій та техніки. На підставі аналізу галузей використання вібротехніки в гірничій промисловості намічено шляхи і задачі таких досліджень. Сформульовано вимоги та особливості підходів до вивчення різних аспектів вібраційних технологій і техніки. Зроблено висновок про необхідність їх поєднання у конструкції розроблюваного обладнання, запропоновано загальні вимоги до нього.

Наукова новизна. Полягає у розробці ідеї застосування універсальної конструкції експериментального стенду, яка може налаштовуватися для досліджень та випробувань різних напрямків, а також працювати з повнорозмірними зразками вібраційної техніки в умовах, максимально наближених до польових.

Практична значимість. Практична реалізація ідеї дозволить з мінімальними витратами часу і праці налаштувати стенд як для досліджень процесу вібраційного транспортування гірничої маси, так і для випробувань натурних зразків вібротранспортних машин.

Результати. Отримані під час використання запропонованого обладнання результати дадуть можливість перевірити достовірність теоретичних досліджень та обґрунтувати раціональні параметри режимів процесу вібротранспортування і механічного обладнання для його реалізації.

Ключові слова: вібраційні технології і техніка в гірничій промисловості, вібраційне транспортування гірничої маси і продуктів її переробки, вібротранспортні машини.

Горбачев Ю.Г., Хруцкий А.О., Громадский А.С., Лифенцов О.С. Обоснование параметров экспериментального стенда для исследования вибрационных машин и процесса вибротранспортирования

Цель. Необходимость дальнейшего развития горно-металлургического комплекса требует оснащения горных предприятий новым технологическим оборудованием. Целью работы является обеспечение возможности экспериментального исследования особенностей технологического процесса вибрационного транспортирования сыпучих грузов и вибрационных машин для его реализации. Важность проблемы определяется необходимостью дальнейшего расширения применения вибрационных технологий и техники в горном производстве для повышения его эффективности. Для выбора и обоснования рациональных режимных параметров, а также рабочих и конструктивных показателей вибрационного оборудования требуется соответствующее экспериментальное оборудование. С учетом этого, тема исследования представляется вполне актуальной.

Методы исследования. В результате рассмотрения научно-технической информации и с помощью аналитического метода определены важность экспериментальных исследований вибрационных технологий и техники. На основании анализа отраслей использования вибротехники в горной промышленности намечены пути и задачи таких исследований. Сформулированы требования и особенности подходов к изучению различных аспектов вибрационных технологий и техники. Сделан вывод о необходимости их сочетания в конструкции разрабатываемого оборудования, предложены общие требования к нему.

Научная новизна. Заключается в разработке идеи применения универсальной конструкции экспериментального стенда, которая может настраиваться для исследований и испытаний различного направления, а также работать с полноразмерными образцами вибрационной техники в условиях, максимально приближенных к полевым.

Практическая значимость. Практическая реализация идеи позволит с минимальными затратами времени и труда настраивать стенд как для исследований процесса вибрационного транспортирования горной массы, так и для испытаний натурных образцов вибротранспортных машин.

Результаты. Полученные при использовании предлагаемого оборудования результаты дадут возможность проверить достоверность теоретических исследований и обосновать рациональные параметры режимов процесса вибротранспортирования и механического оборудования для его реализации.

Ключевые слова: вибрационные технологии и техника в горной промышленности, вибрационное транспортирование горной массы и продуктов ее переработки, вибротранспортные машины.

Horbachov Yu.G., Khurtskiy A.O., Hromadskyi A.S., Lifientsov O.S. Grounding of test bench parameters for studying vibrating machines and vibration-type transportation process

Purpose. Necessity for further development of the mining and metallurgical complex requires to equip mining enterprises with new technological equipment. The aim of the work is to provide the possibility of experimental study of the features of the technological process of vibration-type transportation of bulk cargo and vibrating machines for its implementation. The importance of the problem is determined by the need to further expand the use of vibration technologies and equipment in mining to increase its efficiency. To select and justify rational operating parameters, as well as working and design indicators of vibration equipment, appropriate experimental equipment is required. Considering the above mentioned, the research topic appears entirely relevant.

Research methods. As a result of scientific and technical information research and using the analytical method, the importance of experimental studies of vibrating technologies and equipment has been determined. Based on the analysis of the branches of the vibrating engineering use in the mining industry, the ways and tasks of such studies are outlined. The requirements and features of approaches to the study of various aspects of vibrating technologies and equipment are formulated. It is concluded that they need to be combined in the design of the equipment being developed, the general requirements for that are proposed.

Scientific novelty. The scientific novelty lies in developing the idea of using the adaptable design of the test bench, which can be configured for research and testing in various directions, as well as working with full-sized samples of vibration equipment in conditions as close to field conditions as possible.

Practical value. Practical implementation of the idea will allow setting up a test bench with minimum consumption of time and labor both for researching the process of vibration-type transportation of rock mass and for testing full-scale samples of vibration-type transport machines.

Results. The results obtained using the proposed equipment will make it possible to verify the reliability of theoretical studies and to ground the rational parameters of the vibration-type transportation modes and mechanical equipment for its implementation.

Key words: vibrating technologies and equipment in the mining industry, vibration-type transportation of rock mass and its processing products, vibration-type transport machines.

УДК 332.146.2

Буркова Л. А., Адамовська В. С., Ярова А. Б. Територіальна громада як базовий суб'єкт місцевого самоврядування: тенденції розвитку та напрямки вдосконалення

Мета. Метою даного дослідження є розробка теоретичних і методичних положень, інструментарію та практичних рекомендацій щодо удосконалення основних напрямів розвитку територіальних громад в Україні у сучасних умовах.

Методи дослідження. Дослідження ґрунтується на загальних принципах економічного моделювання, використано ряд методів наукових досліджень, серед яких: логічне узагальнення, порівняння, статистичний аналіз, графічний тощо.

Наукова новизна. Запропонована модель формування фінансової та економічної складових для ефективного розвитку територіальних громад в Україні. Удосконалено дефініції термінів «територіальна громада» та «об'єднана територіальна громада».

Практична значимість. Залучення інвестицій для розвитку територіальної громади та сприяння розвитку на її території підприємницької інфраструктури дозволить забезпечити сприятливі умови для ведення господарської діяльності діючих підприємств, створення нових підприємств, юридичного переміщення підприємств з територій інших територіальних громад, розвиток малого підприємництва тощо. У результаті збільшиться кількість робочих місць на території територіальної громади, що призведе до збільшення величини податкових надходжень до місцевого бюджету. Як наслідок – покращиться якість життя мешканців територіальної громади.

Результати. Одним з ключових аспектів, який на сьогодні є найбільш актуальним, є визначення місця і ролі територіальних громад в сучасних умовах розвитку економіки держави з урахуванням спрямованості на реформування системи місцевого самоврядування. Територіальні громади повинні стати такими елементами місцевого самоврядування, які будуть об'єднані спільною діяльністю, інтересами та метою відносно задоволення потреб місцевого рівня, пов'язаних з побутом, проживанням, відпочинком, навчанням тощо. Щодо подальших досліджень формування та розвитку об'єднаних територіальних громад, то варто відмітити, що підґрунтям їх розвитку та зростання має стати згуртованість її мешканців, оскільки не існує загальних принципів і засад як її формувати. Наведені у статті рекомендації сприятимуть кращому формуванню фінансової та економічної складових для ефективного розвитку територіальних громад в Україні.

Ключові слова: реформування, децентралізація влади, місцеве самоврядування, територіальна громада, об'єднана територіальна громада, залучення інвестицій.

Буркова Л. А., Адамовская В. С., Яровая А. Б. Территориальная община как базовый субъект местного самоуправления: тенденции развития и направления совершенствования

Цель. Целью данного исследования является разработка теоретических и методических положений, инструментов и практических рекомендаций по совершенствованию основных направлений развития территориальных общин в Украине в современных условиях.

Методы исследования. Исследование основано на общих принципах экономического моделирования, используется ряд методов научных исследований, в том числе: логическое обобщение, сравнение, статистический анализ, графический и т.д.

Научная новизна. Предложена модель формирования финансово-экономической составляющей для эффективного развития территориальных общин в Украине. Улучшены определения терминов «территориальная община» и «объединенная территориальная община».

Практическое значение. Привлечение инвестиций в развитие территориальной общины и содействие развитию на ее территории предпринимательской инфраструктуры позволит обеспечить благоприятные условия для ведения хозяйственной деятельности действующих предприятий, создать новые предприятия, юридическое перемещение предприятий с территорий других территориальных общин, развитие малого предпринимательства и т.д. В результате увеличивается количество рабочих мест на территории территориальной общины, что приведет к увеличению налоговых поступлений в местный бюджет. Как следствие – улучшится качество жизни жителей территориальной общины.

Результаты. Одним из ключевых аспектов, который сегодня наиболее актуален, является определение места и роли территориальных общин в современных условиях развития государственной экономики с учетом ориентации на реформирование системы местного самоуправления. Территориальные общины должны стать такими элементами местного самоуправления, которые будут объединены совместной деятельностью, интересами и целями в отношении удовлетворения потребностей местного уровня, связанных с бытом, проживанием, отдыхом, образованием и т.д. В отношении дальнейших исследований формирования и развития объединенных территориальных общин, нужно отметить, что базой их развития и расширения должна стать сплоченность ее жителей, поскольку нет общих принципов и основ как ее сформировать. Рекомендации, представленные в статье, будут способствовать лучшему формированию финансово-экономической составляющей для эффективного развития территориальных общин в Украине.

Ключевые слова: реформирование, децентрализация власти, местное самоуправление, территориальная община, объединенная территориальная община, привлечение инвестиций.

Burkova L. A., Adamovska V. S., Yarova A. B. Territorial community as the basic subject of local self-government: tendencies of development and directions of improvement

Purpose. To develop theoretical and methodological provisions, tools and practical recommendations for improving the main directions of development of territorial communities in Ukraine in the present conditions.

Research methods. The research is based on the general principles of economic modeling, using a number of methods of scientific research, including: logical generalization, comparison, statistical analysis, graphical, etc.

Scientific novelty. The model of formation of financial and economic components for the effective development of territorial communities in Ukraine is proposed. The definitions of “territorial community” and “united territorial community” have been improved.

Practical value. Attracting investments for the development of the territorial community and facilitating the development of entrepreneurial infrastructure on its territory will allow to provide favorable conditions for conducting business activities of existing enterprises, creation of new enterprises, legal transfer of enterprises from the territories of other territorial communities, development of small entrepreneurship, etc. As a result, the number of jobs in the territorial community will increase, leading to an increase in the amount of tax revenue to the local budget. As a consequence, the quality of life of the residents of the territorial community will improve.

Results. One of the key aspects that is most relevant today is the determination of the place and role of territorial communities in the current conditions of economic development of the state, taking into account the focus on reforming the system of local self-government. Territorial communities should become such elements of local self-government that will be united by common activities, interests and goals to meet local needs related to life, living, rest, study and more. With regard to further studies on the formation and development of united territorial communities, it should be noted that the basis of their development and growth should be the cohesion of its inhabitants, since there are no general principles and principles for how to form it.

The recommendations in the article will help to better shape the financial and economic components for the effective development of territorial communities in Ukraine.

Key words: reforming, decentralization of power, local self-government, territorial community, united territorial community, attraction of investments.

УДК 004.451.25:[622.788:621.867]

Лобов В. Й., Єфіменко Л.І., Тиханський М.П. Нечітке керування термічною обробкою залізрудних обкотишів у зоні висушування випалювальної машини конвеєрного типу

Мета. Забезпечення підвищення ефективності автоматизованого керування процесом термічного оброблення залізрудних обкотишів у технологічній зоні висушування шляхом розробки принципів, структури та дослідження роботи системи керування на основі нечіткої логіки про стан теплоносіїв газоповітряних потоків і основних параметрів технологічних зон машини.

Методи дослідження. При проведенні дослідження використано аналіз літературних і патентних джерел, наукове узагальнення раніше виконаних досліджень, а також, методи теорії автоматичного керування та математичного моделювання для аналізу якості перехідних процесів і швидкодії розробленої системи керування процесом термічної обробки з моделями нечіткої логіки, теорії ідентифікації систем для вибору і обґрунтування структури математичної моделі об'єкта керування у зоні висушування машини з використанням нечіткої логіки.

Наукова новизна. Визначено найбільш важливі параметри виробничого процесу для технологічних зон висушування, які потрібно враховувати при удосконаленні математичної моделі та які найбільше впливають на розподіл температур теплоносіїв газоповітряних потоків і витрати енергоносіїв, при цьому враховано вплив температури теплоносіїв сусідніх зон на цей процес. Встановлені закономірності для повторного використання температур відпрацьованих теплоносіїв газоповітряного потоку. Визначено оптимальний розподіл температур теплоносіїв газоповітряного потоку за зоною висушування, що забезпечує стабілізацію теплового режиму.

Практична значимість. Використання автоматизованого керування процесом термічної обробки обкотишів зі змінними параметрами температур теплоносіїв газоповітряних потоків надає додаткові можливості для підвищення ефективності використання випалювальної машини конвеєрного типу. Підвищення ефективності виробництва обкотишів забезпечують шляхом раціонального використання теплоносіїв ГПП за технологічними зонами і повторного використання відпрацьованих цих теплоносіїв ГПП перед викиданням їх в атмосферу. Розроблено апаратно-програмну реалізацію системи автоматизованого керування процесом термічної обробки обкотишів зі змінними параметрами температур теплоносіїв газоповітряних потоків

Результати. Удосконалено математичну модель, що апроксимує динаміку термічного процесу обробки обкотишів в зонах машини, на основі рішення систем нечітких функцій, і принципів параметричної ідентифікації. На основі математичного моделювання проведено дослідження з метою визначення оптимального розподілу температур теплоносіїв газоповітряного потоку за зоною висушування, що забезпечує стабілізацію теплового режиму. Встановлено закономірності для повторного використання відпрацьованих теплоносіїв газоповітряних потоків.

Ключові слова: автоматизоване керування, випалювальна машина конвеєрного типу, теплоносії, технологічні зони, термічне оброблення обкотишів, нечітка логіка, моделі

Лобов В. Й., Єфіменко Л.І., Тиханський М.П. Нечеткое управление термической обработкой железорудных окатышей в зоне высушивания обжиговой машины конвейерного типа

Цель. Обеспечение повышения эффективности автоматизированного управления процессом термической обработки железорудных окатышей в технологической зоне высушивания путем разработки принципов, структуры и исследование работы системы управления на основе нечеткой логики о состоянии теплоносителей газовоздушных потоков и основных параметров технологических зон машины.

Методы исследования. При проведении исследования использованы: анализ литературных и патентных источников, научное обобщение ранее выполненных исследований, а также методы теории автоматического управления и математического моделирования для анализа качества переходных процессов и быстродействия разработанной системы управления процессом термической обработки с моделями нечеткой логики, теории идентификации систем для выбора и обоснования структуры математической модели объекта управления в зоне высушивания машины с использованием нечеткой логики.

Научная новизна. Определены наиболее важные параметры производственного процесса для технологических зон сушки, которые нужно учитывать при совершенствовании математической модели и которые больше всего влияют на распределение температур теплоносителей газозвоздушных потоков и расхода энергоносителей, при этом учтено влияние температуры теплоносителей соседних зон на этот процесс. Установлены закономерности для повторного использования температур отработанных теплоносителей газозвоздушного потока. Определено оптимальное распределение температур теплоносителей газозвоздушного потока за зоной сушки, что обеспечивает стабилизацию теплового режима.

Практическая значимость. Использование автоматизированного управления процессом термической обработки окатышей с переменными параметрами температур теплоносителей газозвоздушных потоков предоставляет дополнительные возможности для повышения эффективности использования обжиговой машины конвейерного типа. Повышение эффективности производства окатышей обеспечивают путем рационального использования теплоносителей ГПП по технологическим зонам и повторного использования отработанных этих теплоносителей ГПП перед выбрасыванием их в атмосферу. Разработан аппаратно-программную реализацию системы автоматизированного управления процессом термической обработки окатышей с переменными параметрами температур теплоносителей газозвоздушных потоков

Результаты. Усовершенствована математическая модель, аппроксимирующая динамику термического процесса обработки окатышей в зонах машины, на основании решения систем нечетких функций, и принципов параметрической идентификации. На основе математического моделирования проведено исследование с целью определения оптимального распределения температур теплоносителей газозвоздушной потока за зоной сушки, что обеспечивает стабилизацию теплового режима. Установлены закономерности для повторного использования отработанных теплоносителей газозвоздушных потоков.

Ключевые слова: автоматизированное управление, обжиговая машина конвейерного типа, теплоносители, технологические зоны, термическая обработка окатышей, нечеткая логика, модели.

Lobov V.Y., Yefymenko L.I., Tykhanskyi M.P. Fuzzy control of the heat treatment of iron ore pellets in the drying zone of a conveyor-type roasting machine

Purpose. Enhancing the effectiveness of automatic control of heat treatment process of iron ore pellets in the zone of drying by developing principles, structure and study of the operation of the control system based on fuzzy logic about the condition of the coolant gas flows and the main parameters of the process zones of the machine.

Research methods During the research, the following was used: analysis of literature and patent sources, scientific generalization of previously performed studies. As well as methods of automatic control theory and mathematical modeling for analyzing the quality of transients and the speed of the developed heat treatment process control system with fuzzy logic models, the theory of identification of systems for choosing and substantiation of the structure of the mathematical model of the control object in the drying zone of the machine using fuzzy logic.

Scientific novelty. The most important parameters of the production process for the process of drying zones that must be considered when improving mathematical models, and which have the greatest impact on the temperature distribution of the coolant gas flows and energy consumption, when taken into account the influence of the temperature of the coolant adjacent areas on the process. The established regularities for reuse of the temperature of the exhaust coolant gas flow. The optimal temperature distribution of the coolant gas flow in the drying zone, which ensures the stabilization of the thermal regime.

Practical value. The use of automated control of the process of heat treatment of pellets with variable parameters of temperatures of coolants of gas-air streams provides additional opportunities for increase of efficiency of use of the firing machine of the conveyor type. Increasing the efficiency of production of pellets is ensured by rational use of CCP coolants in technological zones and the reuse of waste CCP coolants before they are released into the atmosphere. The hardware and software implementation of the system of automated control of the process of heat treatment of pellets with variable parameters of temperatures of coolants of gas-air flows is developed

Results. The mathematical model, which approximates the dynamics of thermal process of processing of pellets in the zones of the machine, on the basis of solutions of systems of fuzzy functions, and principles of parametric identification is improved. On the basis of mathematical modeling, a study was conducted to determine the optimal temperature distribution of the coolants of the gas-air flow over the drying zone, which ensures the stabilization of the thermal regime. The regularities for the reuse of waste gas-cooled fluids have been established.

Key words: automated control, conveyor type firing machine, heat carriers, process zones, heat treatment of pellets, fuzzy logic, models

УДК 622.272

Ковбик К.М. Шляхи впровадження штучного зміцнення масиву гірських порід при розробці родовищ корисних копалин покладів криворізького залізрудного басейну, в умовах вторинного обводнення, як додатковий захід до дренажу на основі зарубіжного досвіду

Відпрацювання покладів багатих залізних руд в умовах вторинного обводнення родовищ, є специфічною задачею. Оскільки існує дуже багато факторів які впливають на показники вилучення корисної копалини в даних умовах. Одна з основних проблем відпрацювання таких покладів – вода. Створюючи небезпеку ведення праці, і зменшуючи несучу здатність порід вода запобігає, своїми проявами при підземній розробці родовищ корисних копалин, повному відпрацювання блоків (панелей). Незважаючи на велику кількість вже вирішених питань в цій області є багато нюансів особливо для Криворізького залізрудного басейну.

Мета. Огляд й аналіз вже використаних рішень щодо боротьби з водопритоком на підземних виробництвах, при будівництві тунелів, та спец. споруд. Засоби які використовувались у світі і технології на ряду з досвідом дають результати, які необхідно використовувати за для того щоб впровадити подібні технології у майбутньому, не лише в Криворізькому залізрудному басейні, але й на інших підприємства України з видобутку корисних копалин підземним способом.

Методи дослідження. Аналіз науково дослідної та методичної літератури, яка була присвячена вирішенню питання обводнення шахт у різних регіонах світу, огляд отриманих результатів, та висновків.

Наукова новизна. Удосконалена спосіб підготовки блоків до виймання в умовах вторинного обводнення родовища. За рахунок використання додаткових дренажних свердловин, захисного перекриття, та виробок для водовідведення і вентиляції.

Практична значимість. Пропонується на основі результатів впровадити технологію попереднього захисту очисних блоків (панелей) від вторинного обводнення, з використанням технології «граунтінгу», або штучного зміцнення масиву, методом задування попередньо пробурених свердловин за для повертання води у необхідному для нас напрямку.

Результати. Було розроблено варіант підготовки панелі який теоретично дозволяє попередньо захистити виймальну одиницю від потрапляння в очисний простір води.

Ключові слова: граунтінг, дренаж, вторинне обводнення, водоприток, осушення, шахтна вода, підземна розробка.

Ковбык К.М. Пути внедрения искусственного укрепления массива горных пород при разработке месторождений полезных ископаемых залежей криворожского железорудного бассейна, в условиях вторичного обводнения, в качестве дополнительной меры к дренажу на основе зарубежного опыта

Отработка залежей богатых железных руд в условиях вторичного обводнения месторождений, является специфической задачей. Поскольку существует очень много факторов влияющих на показатели извлечения полезного ископаемого в данных условиях. Одна из основных проблем отработки таких залежей - вода. Создавая опасность ведения труда, и уменьшая несущую способность пород, вода предотвращает своими проявлениями, при подземной разработке месторождений полезных ископаемых, полной отработки блоков (панелей). Несмотря на большое количество уже решенных вопросов в этой области есть много нюансов, особенно для Криворожского железорудного бассейна.

Цель. Обзор и анализ уже использованных решений по борьбе с водопритоканом на подземных предприятиях, при строительстве тоннелей и спец. сооружений. Средства, используемые в мире и технологии на ряду с опытом, дают результаты, которые необходимо использовать ради того, чтобы внедрить подобные технологии в будущем, не только в Криворожском железорудном бассейне, но и на других предприятиях Украины по добыче полезных ископаемых подземным способом.

Методы исследования. Анализ научно-исследовательской и методической литературы, посвященной решению вопроса обводнения шахт в разных регионах мира, обзор полученных результатов, и выводов

Научная новизна. Усовершенствованный способ подготовки блоков к выемке в условиях вторичного обводнения месторождения. За счет использования дополнительных дренажных скважин, защитного перекрытия, и использования выработок для водоотведения и вентиляции.

Практическая значимость. Предлагается на основе выполненного анализа внедрить технологию предварительной защиты очистных блоков (панелей) от вторичного обводнения, с использованием технологии «граунтинга», или искусственного укрепления массива, методом задувки предварительно пробуренных скважин для возвращения воды в необходимом направлении.

Результаты. Был разработан вариант подготовки панели, который теоретически позволяет предварительно защитить выемочную единицу от попадания воды в очистное пространство.

Ключевые слова: граунтинг, дренаж, вторичное обводнение, водоприток, осушение, шахтная вода, подземная разработка.

Kovbyk K.M. Ways to imply artificial strengthening of massives of rocks when developing deposits of useful mineral resources of the Kryvyi Rih iron-mine basin in the condition of secondary watering

The development of deposits of rich iron ores in the conditions of secondary flooding of deposits is a specific task. Since there are so many factors affecting the performance of mineral extraction in this condition. One of the main problems in developing such deposits is water. Creating the danger of work, and reducing the bearing capacity of the rocks, water prevents by its manifestations, during underground mining of mineral deposits, the full development of blocks (panels). Despite the large number of issues already resolved in this area, there are many nuances, especially for the Kryvyi Rih iron ore basin.

Purpose. To review and analyse the solutions already used to struggle water inflow in underground enterprises, during the construction of tunnels and special facilities. The tools used in the world and technologies, along with experience, give results that must be used in order to introduce similar technologies in the future, not only in the Kryvyi Rih iron ore basin, but also in other Ukrainian mining enterprises by underground mining.

Research methods Analysis of research and methodological literature on solving the issue of watering mines in different regions of the world, a review of the results, and conclusions.

Scientific novelty. Through the use of additional drainage wells protective overlap, and the use of workings for drainage and ventilation as an improved method of preparing blocks for excavation in the conditions of secondary watering of the field.

It was established that the main method for draining water from the working area is drainage, but in some cases (secondary flooding, sudden water emissions) it does not allow to fully develop the reservoir. Secondary watering is characterized by a sudden ingress of water into the treatment area and is a dangerous factor, but it can be predicted based on data from the drainage grid and the geological structure of the field, as well as try to protect the panels from its manifestations.

Practical value. It is proposed, on the basis of the analysis, to introduce the technology of preliminary protection of treatment blocks (panels) from secondary flooding, using the "Grouting" technology, or artificial strengthening of the massif, by blowing previously drilled wells to return water in the required direction.

Results. Was developed panel preparation, which theoretically allows you to pre-protect the extraction unit from water entering the treatment space.

Key words: grouting, drainage, secondary watering, water inflow, drainage, mine water, underground mining.

УДК 691.4:622.223.74

Зоценко М.Л., Михайловська О.В., Олексієнко О.Б. Технологічне рішення утилізації відходів нафтогазового комплексу

Мета. Запропонувати ефективне технологічне рішення влаштування шламосховища для захоронення відходів, обґрунтувати параметри співвідношення ґрунту майданчика та бурового шламу при заповненні сховища відходів.

Методи. Використано експериментальне визначення значень оптимальної вологості для співвідношення суміші бурового шламу та суглинку 60:40 при заповненні шламосховища.

Наукова новизна. Авторами пропонується шламосховище влаштовувати із вертикальною протифільтраційною завісою із ґрунтоцементу за допомогою технології виготовлення ґрунтоцементних елементів за бурозмішувальною

технологією без виймання ґрунту. Таким чином отримуємо циліндричні ґрунтоцементні елементи діаметром 0,3-0,8 м і довжиною до 30 м. Після твердіння ґрунтоцементних елементів по периметру шламосховища виконується виїмка до 60% масиву ґрунту та його укладання шарами, чергуючи з буровим шламом. Протифільтраційна завеса по типу «стіна в ґрунті» з ґрунтоцементних елементів заглиблюється у водотрив на глибину не менше 1 м з метою забезпечення відсутності фільтрації. Важливим фактором проектування сховища є вибір місця розташування сховища при умові наявності водотривкого шару на оптимальній глибині від поверхні (8-20 м). Розміри ґрунтоцементних елементів та розміри гідроізоляції днища визначаються на стадії робочого проектування стосовно до конкретної ділянки будівництва, з урахуванням категорії ґрунту, глибини залягання ґрунтових вод. Після заповнення шламосховища рекомендовано влаштувати покриття із ґрунтоцементу, яке вкладається на загущений до тугопластичної консистенції буровий шлам із додаванням ґрунту майданчика будівництва. Після тужавіння ґрунтоцементу покриття шламосховища засипають шаром родючого ґрунту.

Практична значимість виконаної роботи полягає в обґрунтуванні технологічного рішення шламосховища для захоронення відходів та співвідношенні бурового шламу до ґрунту

Результати. Розроблено та обґрунтовано доцільність застосування технологічного рішення влаштування шламосховища для захоронення відходів. Запропоновано наповнювати шламосховище сумішшю бурового шламу та ґрунту майданчика з чергуванням шарів ґрунту та бурового шламу. Визначено середнє значення оптимальної вологості суміші для влаштування перекриття із ґрунтоцементу при співвідношенні бурового шламу до ґрунту 60:40.

Ключові слова: шламосховище, ґрунтоцемент, бурозмішувальна технологія, масив ґрунту, ущільнення.

Зоценко Н.Л., Михайловская Е.В., Алексеенко Е.Б. Технологические решения утилизации отходов нефтегазового комплекса

Цель. Предложить эффективное технологическое решение устройства шламохранилища для захоронения отходов, обосновать параметры соотношения грунта площадки строительства и бурового шлама при заполнении хранилища отходов.

Методы. Использовано экспериментальное определение значений оптимальной влажности для соотношения смеси бурового шлама и суглинка 60:40 при заполнении шламохранилища.

Научная новизна. Авторами предлагается шламохранилище устраивать из вертикальных противοfiltrационных завес из ґрунтоцементна с помощью технологии изготовления ґрунтоцементных элементов по буросмесительной технологии без выемки ґрунта. Таким образом, получаем цилиндрические ґрунтоцементные элементы диаметром 0,3-0,8 м и длиной до 30 м. После затвердевания ґрунтоцементных элементов по периметру шламохранилища выполняется выемка 60% массива ґрунта и укладки слоями, чередуя с буровым шламом. Противοfiltrационная занавеса по типу «стена в ґрунте» из ґрунтоцементных элементов должна заходить в водоупор на глубину не менее 1 м с целью обеспечения отсутствия фильтрации. Важным фактором проектирования хранилища является выбор места расположения хранилища при условии наличия водоупорного слоя на оптимальной глубине от поверхности (8-20 м). Размеры ґрунтоцементных элементов и размеры гидроизоляции днища определяются на стадии рабочего проектирования в зависимости от конкретного участка строительства, с учетом категории ґрунта, глубины залегания ґрунтовых вод. После заполнения шламохранилища рекомендуется сделать покрытие с ґрунтоцементна, которое укладывается на загущенный (тугопластичной консистенции) буровой шлам с добавлением ґрунта площадки строительства. После отвердевания ґрунтоцементного покрытия шламохранилище засыпают слоем плодородной почвы.

Практическая значимость выполненной работы заключается в обосновании технологического решения шламохранилища для захоронения отходов и соотношении бурового шламу в почву

Результаты. Разработаны и обоснованы целесообразность применения технологического решения устройства шламохранилища для захоронения отходов. Предложено наполнять шламохранилище смесью бурового шламу и почвы площадки с чередованием слоев почвы и бурового шламу. Определено среднее значение оптимальной влажности смеси для устройства перекрытия с ґрунтоцементного при соотношении бурового шламу в почву 60:40.

Ключевые слова: шламохранилище, ґрунтоцемент, буросмесительная технология, массив ґрунта, уплотнение.

Zotsenko M.L., Mykhailovska O.V., Oleksiienko O.B. Technological solutions for waste disposal oil and gas complex

Purpose. To propose an effective technological solution for the disposal of waste sludge. To substantiate the parameters of the ratio of soil to the ground and drilling mud when filling the waste storage.

Methods. Experimental determination of the optimum humidity values for the ratio of the mixture of drilling mud and loam 60:40 when filling the slurry tank was used.

Scientific novelty. The authors propose to arrange sludge storage with a vertical anti-filtration veil of soil cement. The soil-cement elements are arranged by blending technology without removing the soil. Thus, we obtain cylindrical soil cement elements with a diameter of 0.3 - 0.8 m and a length of up to 30 m. After hardening of soil cement elements around the perimeter of the sludge, excavation of up to 60% of the soil mass is performed. The soil is then laid in layers and alternated with drilling mud. An anti-filtration curtain of the "wall in soil" type of soil-cement elements is immersed in a waterproofing to a depth of not less than 1 m in order to ensure no filtration. An important factor in the design of the repository is the choice of the location of the repository, provided there is a waterproof layer at the optimum depth from the surface (8 - 20 m). The sizes of soil cement elements and the dimensions of the waterproofing of the bottom are determined at the stage of working design in relation to a specific site of construction, taking into account the soil category, the depth of groundwater. After filling the sludge deposit, it is recommended to arrange the soil cement coating. The coating is applied to a drilling mud thickened to a rigid plastic consistency with the addition of soil to the construction site. After hardening of the soil cement, the sludge deposit is covered with a layer of fertile soil.

The practical significance of the work performed is to justify the technological solution of the sludge storage facility for waste disposal and the ratio of drilling mud to the soil

Results. The expediency of application of technological solution of arrangement of sludge storage for waste disposal has been developed and substantiated. It is suggested that the sludge be filled with a mixture of drilling mud and site soil with alternation of soil layers and drilling mud. The average value of the optimal humidity of the mixture for the device of overlapping of soil cement at the ratio of drilling mud to soil 60:40 was determined.

Key words: sludge storage, soil cement, drilling-mixing technology, soil mass, compaction.