

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

**Вісник**  
**Криворізького національного**  
**університету**

*Збірник наукових праць*

*Випуск 44*

**Кривий Ріг 2017**

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.; **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.; **Голишев О.М.**, 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.; **Ільяс Ніколає**, доктор-інженер, проф.; **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.; **Купін А.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Лялюк В.П.**, 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.; **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.; **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 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 № 44 рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет Вченою радою ДВНЗ «Криворізький національний університет» (протокол № 1 від 25.04.2017 року).

Адреса редакції: ДВНЗ «Криворізький національний університет»  
вул. Пушкіна, 44, Кривий Ріг, 50002,  
Тел. (056) 409 61 29  
e-mail: editor@iomining.in.ua  
web-сайт : <http://iomining.in.ua/ua/homeua>

**ТЕХНІЧНІ НАУКИ**

Фролов О.О., Соколовська М.І., Хоменюк А.В. Обґрунтування технологічної узгодженості параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу .....	3
Налисько Н.Н. Определение безопасных расстояний при аварийных взрывах шахтной атмосферы с учетом места расположения источника воспламенения и характера горения .....	7
Шапурін О.В., Скачков А.А. Розробка технологічних рішень для здолання опору по підшві перед першим рядом зарядів .....	14
Яковичина Т.Ф. Екологічне нормування поелементного забруднення ґрунту урбоєкосистеми важкими металами за фоновою концентрацією .....	19
Жосан А.А. Федоренко О.Л. Дуальне управління перевернутим маятником як “чорним ящиком” .....	24
Вусик О.О., Пижик А.М. Аналіз стану і перспектив безвзбухової розробки гірських порід виймально-навантажувальними комбайнами фрезерного типу .....	29
Голишев О.М., Деньгуб В.І., Коновалюк В.А. Емпірико-аналітичний метод розрахунку гравітаційної швидкості осідання твердих частинок .....	34
Ширин А.Л., Расцветаев В.А., Инюткин И.В. Оперативно-производственное управление техническим состоянием транспортно-технологических схем горнорудных предприятий .....	38
Иорданов И.В., Чепига Д.А., Власенко Н.Н., Подкопаев С.В. Исследование движения боковых пород при действии динамических нагрузок .....	44
Герб П.І., Валовой О.І. Ефективність використання відходів ГЗК, як заповнювача в бетонах, для підвищення тріщиностійкості при підсиленні залізобетонних балок .....	49
Веснін А. В., Крупко І. В., Сегін В. В. Моделювання процесу пересування екскаватора з чотирьохопорним крокуючим рушієм .....	54
Кузьменко А.С., Барановська М.Л., Коломіц Г.В. Дослідження систем з запізнюваннями для подальшої компенсації їх впливу на замкнуті системи управління технологічними процесами .....	59
Кузьменко А.С., Коломіц Г.В. Порівняння моделей тягового електроприводу змінного та постійного струму кар’єрного самоскиду .....	64
Лапшин О.Є., Черняєва Т.А., Вознікова О.А., Токар Т.Ю., Науменко С.В., Коток Л.І. Епідеміологічний нагляд за ентеровірусними інфекціями на сучасному етапі в місті Кривому Розі .....	68
Максимов І.І., Слободянюк Р.В. Особливості визначення раціонального положення перевантажувального пункту у кар’єрі .....	72
Негрій Т.О., Негрій С.Г. Про вплив енергетичних витрат гірників на рівень виробничого травматизму .....	78
Пікільняк А.В. Розробка системи розпізнавання графітових включень при аналізі мікроструктури чавуну .....	84
Тарасютин В. М., Косенко А. В. Ресурсосберегающие технологии очистной выемки богатых железных руд на глубоких горизонтах шахт .....	88
Здециц В.М, Здециц А.В. Поширення пружних хвиль в стержнях змінного перерізу .....	95
Римарчук Б.І., Міненко П.О., Грищенко Т.С., Грищенко М.А. Вибір технології вибухоставки руди у камерних системах розробки .....	101
Хохрякова Д.О., Колесніченко С.В., Денисов Є.В. Нормування вібродинамічних випробувань сталевих ферм при проведенні технічних обстежень реконструйованих будівель .....	106
Роенко А.Н., Харин С.А., Кнуренко В.Н. Разработка программного обеспечения и анализ влияния БВР на организацию проходческих работ .....	111
Шишкина А.А., Хильченко А.П., Мельниченко Н.П. Пористые бетоны на основе железосодержащих веществ Цариковский В.В., Цариковский Вал.В., Седунова Т.Т., Козариз В.Я., Мигуль А.Ф., Рубцов Д.А. Определение геометрических параметров систем этажного обрушения с учетом допустимых объемов взрываемых ВВ при отработке магнетитовых кварцитов шахты имени Орджоникидзе ПАО «ЦГОК» .....	117
Стеценко А.І., Єфименко Л.І., Доценко І.О. Необхідність створення комплексної системи автоматизації конвеєрної лінії .....	122
Толмачов С.Т., Бурчак І.М. Система безконтактного виміру моменту на валу електродвигунів в умовах експлуатації .....	126
Толмачов С.Т., Ільченко О.В. Оптимізація режимів роботи насосних установок головного водовідливу шахт за критерієм мінімуму вартості електроенергії .....	131
Валовой О.І., Єршоменко О.Ю., Валовой М.О. Характеристики міцності та жорсткості балок армованих базальтовою арматурою .....	137
Попруга Д.В., Валовой О.І. Використання склопластикової композитної арматури в згинальних елементах виготовлених з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів .....	142
	147

<i>Сістук В.О., Богачевський А.О.</i> Підвищення пропускну́ї здатності перехрестя магістральної та об'їзної вулиць з регульованим рухом .....	151
<i>Zaikina D.P.</i> Study of current methods for identification and evaluation of occupational hazard at the mining industry enterprises .....	157
<i>Антонік В.І., Петрухін А.В., Антонік І.П.</i> Вплив відвалів та хвостосховищ гірничо-збагачувальних комбінатів Криворіжжя на стан екології прилеглих територій .....	161
<i>Мелешко Е.А., Болотникова Е.С.</i> Проблемы безопасности мобильных устройств, систем и приложений в OS ANDROID .....	166
<i>Тарасов В.П., Кривенко С.В.</i> Обоснование закономерности коэффициента газодинамического сопротивления при движении газа в слое окомкованной аглошихты .....	171
<i>Данилейко О.К., Кузьменко А.С., Коломіц Г.В., Коломіц О.К.</i> Розробка програмних та апаратних засобів для керування кроковими двигунами .....	177
<i>Барановська М.Л., Кузьменко А.С.</i> Аналіз теорій рівнів перенапруг при замиканні фази на землю та їх дослідження на фізичній моделі .....	182
<i>Болотников А.В., Романенко А.А.</i> Анализ и систематизация методов оценки устойчивости бортов карьеров .....	188
<b>ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ</b>	
<i>Корнієнко О.П., Кошара К.А.</i> Підвищення конкурентоспроможності морських портів України .....	194
<i>Турило А. М., Корнух О.В.</i> Взаємозв'язок і вплив процесів економічної трансформації і трансформації інтелектуальної власності на рівень інноваційності, фінансово-економічної безпеки і конкурентоспроможності корпорації .....	198
<b>АНОТАЦІЇ</b>	
<i>А н о т а ц і ї</i> .....	204

УДК 622.271

О.О. ФРОЛОВ, д-р техн. наук, проф., М.І. СОКОЛОВСЬКА, аспірантка,  
А.В. ХОМЕНЮК, студент, Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського"

## ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ УЗГОДЖЕНОСТІ ПАРАМЕТРІВ ЕКСКАВАТОРНО-АВТОМОБІЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ

**Мета.** Метою роботи є встановлення оптимального співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора для забезпечення правильної організації робіт екскаваторно-автомобільного комплексу і ефективного його використання в часі.

**Методи дослідження.** Для досягнення поставленої мети роботи використано методи комплексного аналізу – для узагальнення та аналізу досягнень теорії і практики в сфері узгодженості параметрів екскаваторно-автомобільних комплексів та аналітичний – для встановлення найбільш ефективного співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида та об'ємом ковша екскаватора.

**Наукова новизна.** Вирішення поставленої задачі складає актуальність роботи. Наукова новизна результатів полягає в тому, що отримана розрахункова формула для визначення найбільш ефективного співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида та об'ємом ковша екскаватора з точки зору досягнення екскаваторно-автомобільним комплексом максимально можливої продуктивності.

**Практична значимість.** Отримані аналітична і графічна залежності пов'язують параметри екскаваторно-автомобільного комплексу з тривалістю рейсу автосамоскида. Це дозволяє планувати гірничо-транспортні роботи таким чином, щоб максимально ефективно використовувати виймально-навантажувальне обладнання і автотранспорту в часі, що працює в кар'єрі.

**Результати.** Встановлено, що раціональне співвідношення ємності кузова автосамоскида до ємності ковша екскаватора є найважливішою умовою, що забезпечує високопродуктивне використання екскаваторів і автотранспорту при мінімальній вартості гірничотранспортних робіт. Серед науковців немає єдиного погляду на метод визначення найбільш доцільного співвідношення параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу і кількісних його характеристик. Отримана аналітична залежність раціонального співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора для досягнення максимально можливої продуктивності екскаваторно-автомобільного комплексу при навантаженні і транспортуванні будь-яких типів гірських порід з урахуванням тривалості виконання рейсу.

**Ключові слова:** кар'єр, гірнична маса, екскаваторно-автомобільний комплекс, структура комплексної механізації, об'єм кузова автосамоскида і об'єм ковша екскаватора.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами.** Розробка потужних родовищ корисних копалин здійснюється із застосуванням технологічних комплексів, в основу яких покладено переміщення гірничої маси транспортними засобами. Формування комплексів обладнання, що складає структуру комплексної механізації, ґрунтується на їхній якісній і кількісній взаємодії з обладнанням суміжних процесів. Провідним обладнанням в загальному технологічному процесі, з якими пов'язуються параметри, продуктивність та кількість устаткування інших ланок вантажопотоків, є, зазвичай, навантажувальні і транспортні машини [1].

При технологічних комплексах з використанням автотранспорту гірнична маса навантажувється мехлопатами або навантажувачами у автосамоскиди і перевозиться до приймальних пунктів. Розкрив поступає на зовнішні відвали, а корисна копалина – до технологічного комплексу. В теорії і практиці експлуатації екскаваторно-автомобільних комплексів велика роль відводиться вивченню впливу на кінцевий результат роботи комплексу основного його параметра – співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида  $V_a$  і об'ємом ковша екскаватора  $E$ . Оскільки навантаження і транспортування в кар'єрі являють собою єдиний технологічний процес, який забезпечується різним обладнанням єдиного комплексу, указані параметри машин повинні бути тісно пов'язані між собою з урахуванням динаміки змін умов протікання процесу. Крім цього, умови спільної роботи комплексу «екскаватор-автосамоскид» впливають на вантажопідйомність автосамоскиду і конструктивні особливості його кузова [2].

Сумісність параметрів вантажонесучих ємностей навантажувальної і транспортної ланок комплексу визначається наступними факторами [3]:

технологічними: зручністю розвантаження породи з ковша; максимальним використанням вантажопідйомності автосамоскиду; забезпеченням заданої продуктивності комплексу;

технічними: обмеженням динамічних навантажень на вузли конструкції автосамоскиду;

економічними: при різних поєднаннях вказаних параметрів змінюється поєднання співвідношення між елементами навантажувально-транспортного циклу, що призводить до зміни ступеня використання екскаватора і автосамоскиду і, отже, до різних сумарних затрат на навантаження і транспортування 1 т гірничої маси.

**Аналіз досліджень і публікацій.** При встановленні раціонального поєднання місткості ковша забійних екскаваторів з місткістю кузова транспортних засобів М.В. Васильєв вказує, що мінімальним співвідношенням між об'ємами кузова автосамоскиду  $V_a$  та ковшем екскаватора-мехлопати  $E$  слід вважати 4:1, а максимальним – не більше ніж 6:1-7:1 [4].

В роботі [5] пропонується визначити раціональну ємність ковша екскаватора в залежності від вантажопідйомності автосамоскиду  $q_a$  і заданої годинної продуктивності комплексу  $Q$  за формулою, м<sup>3</sup>

$$E = \frac{q_a t_u}{\left(\frac{60q_a}{Q} - t_s\right) \gamma k_c}, \quad (1)$$

де  $t_u$  – час циклу екскаватора, хв;  $t_s$  – час заміни навантаженого автосамоскиду порожнім, хв;  $\gamma$  – щільність породи у цілику, т/м<sup>3</sup>;  $k_c$  – коефіцієнт екскавації.

Однак, зазначена формула відноситься лише до процесу навантаження і не враховує вплив протяжності маршруту. Економічна сторона навантажувально-транспортного процесу тут не розглядається.

Автори роботи [6] пропонують оптимальне співвідношення  $V_a/E$  визначити з урахуванням фактичного ресурсу несучої системи автосамоскида при його навантаженні екскаватором. Дослідивши поєднання автосамоскида БелАЗ-75211 з екскаваторами, які мають різну ємність ковша, вони прийшли до висновку, що максимальна річна продуктивність автосамоскида досягається при  $V_a/E=5$ .

В роботі [7] рекомендується вибирати співвідношення між ємністю кузова автосамоскиду і ємністю ковша екскаватора таким чином, щоб при відстані транспортування до 1,6 км кількість циклів екскаватора при навантаженні автосамоскиду знаходилося в межах  $3 \leq n_u \leq 5$ . При більших відстанях кількість циклів може бути збільшено.

П. І. Томаковим [8] досліджено вплив співвідношення ємностей кузова автосамоскиду і ковша екскаватора  $V_a/E$  на вартісні показники відкритої розробки і встановлені раціональні його значення в залежності від відстані транспортування  $L$ . Зокрема при  $L=1-1,5$  км співвідношення  $V_a/E=4-6$ , при  $L=1,5-5$  км –  $V_a/E=6-10$ , при  $L=5-8$  км –  $V_a/E=8-12$ .

В.В. Ржевський [9] в своїх працях, щодо оптимального вибору співвідношення ємностей кузова автосамоскиду і ковша екскаватора посиляється на дослідження П. І.Томакова.

Автор роботи [3] при розрахунку і аналізі елементів навантажувально-транспортного циклу виходить з технологічної узгодженості параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу, тобто рівностей відносних продуктивностей екскаватора і автосамоскида. На підставі цього отримана формула для визначення оптимального значення вагового модуля (співвідношення вантажопідйомності автосамоскида до маси породи в ковші).

В [9] зазначено, що при навантаженні скельних порід співвідношення  $V_a/E$  повинно задовільняти умові  $V_a/E \geq 2$ . На практиці воно змінюється від 2 до 10. Розрахунки показують, що оптимальне його значення при невеликій відстані транспортування (1-2 км) складає 4-6, а при збільшенні відстані транспортування до 5 і 7-8 км воно складає 6-10 і 8-10 відповідно.

Автори роботи [11] відмічають, що як показує практика і проведені дослідження, відношення ємності кузова автосамоскида до ємності ковша екскаватора повинне бути не менше 4-5 і не більше 10-12.

**Постановка завдання.** Наведений аналіз літературних джерел свідчить про те, що раціональне співвідношення об'єму кузова автосамоскида до об'єму ковша екскаватора є найважливішою умовою, що забезпечує високопродуктивне використання екскаваторів і автотранспорту при мінімальній вартості гірничотранспортних робіт. Однак серед дослідників немає єдиного погляду на метод визначення раціонального співвідношення параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу і кількісних його характеристик. Тому метою роботи є встановлення найбільш ефективного співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша

екскаватора для забезпечення правильної організації робіт екскаваторно-автомобільного комплексу і максимального використання його в часі.

**Викладення матеріалу та результати.** Для встановлення якісного взаємозв'язку продуктивності комплексу обладнання циклічної дії з продуктивністю транспортних машин розглянемо їхні продуктивності.

Згідно [9] годинна продуктивність екскаватора при навантаженні гірничої маси у автосамоскид визначається за формулою

$$Q_e = \frac{60k_3}{t_n + t_o} q_a k_q, \text{ т/год}, \quad (2)$$

де  $t_n$  – середня тривалість навантаження автосамоскида, хв;  $t_o$  – тривалість обміну автосамоскидів під завантаження, хв;  $k_3$  – коефіцієнт зниження продуктивності через нерівномірність навантажувально-транспортних операцій;  $q_a$  – вантажопідйомність автосамоскиду, т;  $k_q$  – коефіцієнт використання вантажопідйомності.

Оскільки тривалість навантаження автосамоскида екскаватором дорівнює

$$t_n = t_{ц} n_k \text{ або } t_n = t_{ц} \frac{q_a}{q_e}, \quad (3)$$

де  $t_{ц}$  – середня тривалість циклу екскавації породи, хв;  $n_k$  – кількість ковшів екскаватора в кузові автосамоскида, шт;  $q_e$  – маса гірничої маси в ковші екскаватора, т, то формулу (2) можна представити у вигляді

$$Q_e = \frac{60k_3}{t_{ц} \frac{q_a}{q_e} + t_o} q_a k_q, \text{ т/год}. \quad (4)$$

Аналіз виразу (4) показує, щоб досягти максимальної продуктивності екскаватора, необхідно зменшувати тривалість обміну автосамоскидів під завантаження  $t_o$ . Якщо припустити, що  $t_o$  буде наближатися до нуля або  $t_o=0$ , то формула (4) буде мати вигляд, т/год

$$Q_{e.\max} = \frac{60k_3}{t_{ц}} q_e k_q, \quad (5)$$

тобто продуктивність екскаватора буде визначатися тільки його технічними характеристиками.

Відносне зменшення продуктивності екскаватора при навантаженні гірничої маси у автосамоскид в цьому разі буде становити

$$Q_{\text{відн.е}} = \frac{Q_e}{Q_{e.\max}} = \frac{t_{ц} \frac{q_a}{q_e}}{t_{ц} \frac{q_a}{q_e} + t_o}. \quad (6)$$

Експлуатаційна продуктивність автосамоскидів при навантаженні його екскаватором визначається з виразу, т/год

$$Q_a = \frac{60k_3}{t_{ц} \frac{q_a}{q_e} + t_o + t_p} q_a k_q, \quad (7)$$

де  $t_p$  – середня тривалість рейсу автосамоскиду без врахування навантажувально-обмінних операцій, хв.

З (7) видно, що продуктивність автосамоскидів буде збільшуватися зі зменшенням кількості навантажених ковшів екскаватора, а максимальне значення продуктивності буде у випадку, коли  $n_k = q_a/q_e = 1$ , тобто, т/год

$$Q_{a.\max} = \frac{60k_3}{t_{ц} + t_o + t_p} q_a k_q. \quad (8)$$

Відносне зменшення продуктивності автосамоскидів становить

$$Q_{\text{відн.а}} = \frac{Q_a}{Q_{a.\max}} = \frac{t_{ц} + t_o + t_p}{t_{ц} \frac{q_a}{q_e} + t_o + t_p}. \quad (9)$$

Згідно [3] повна технологічна узгодженість у роботі екскаваторно-транспортного комплексу настане у тому випадку, коли відносні значення продуктивностей екскаватора і автосамоскида будуть рівні між собою (так зване математичне очікування даного процесу), тобто їхні графічні залежності зміни від  $q_a/q_e$  будуть перетинатися в певній точці.

Відповідно до наведеного, прирівняємо формули (6) і (9) та представимо отриманий вираз відносно співвідношення  $q_a/q_e$

$$t_{\text{ц}}^2 \left( \frac{q_a}{q_e} \right)^2 - t_{\text{ц}}^2 \frac{q_a}{q_e} - t_o(t_{\text{ц}} + t_o + t_p) = 0. \quad (10)$$

Приведемо (10) до класичного виду квадратного рівняння

$$ax^2 + bx + c = 0, \quad (11)$$

де  $x = \frac{q_a}{q_e}$ ;  $a = t_{\text{ц}}^2$ ;  $b = t_o t_{\text{ц}}$ ;  $c = -t_o t_p$ .

Розв'язавши рівняння (11), отримаємо наступний вираз

$$\frac{q_a}{q_e} = \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{1 + 4 \frac{t_o(t_{\text{ц}} + t_o + t_p)}{t_{\text{ц}}^2}} \right). \quad (12)$$

Вантажопідйомність автосамоскиду визначається за формулою

$$q_a = V_a \frac{\gamma}{k_p}, \quad (13)$$

де  $V_a$  – місткість кузова автосамоскида,  $\text{м}^3$ ;  $\gamma$  – щільність гірничої маси,  $\text{т}/\text{м}^3$ ;  $k_p$  – коефіцієнт розпушеної гірничої маси в кузові автосамоскида.

Маса гірничої маси в ковші екскаватора становить

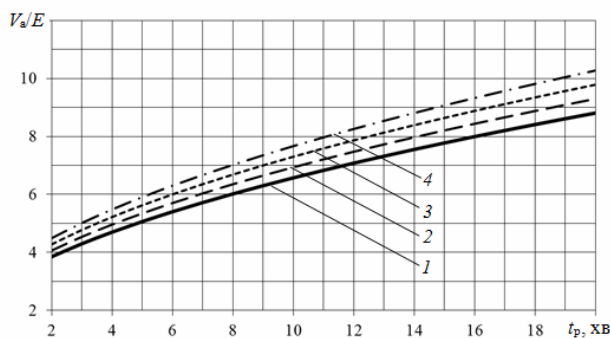
$$q_e = E \frac{k_n}{k_p} \gamma, \quad (14)$$

де  $E$  – об'єм ковша екскаватора,  $\text{м}^3$ ;  $k_n$  – коефіцієнт наповнення ковша.

Враховуючи (13) та (14), формула (12) остаточно набуде вигляду

$$\frac{V_a}{E} = \frac{1}{2} k_n \left( 1 + \sqrt{1 + 4 \frac{t_o(t_{\text{ц}} + t_o + t_p)}{t_{\text{ц}}^2}} \right). \quad (15)$$

На підставі наведеної формули побудована залежність між співвідношенням  $V_a/E$  та середньою тривалістю рейсу автосамоскиду для різних значень коефіцієнту наповнення ковша екскаватора, який в свою чергу характеризує тип гірничої породи, що виймається (рис. 1).



**Рис. 1.** Залежність між співвідношенням  $V_a/E$  та середньою тривалістю рейсу автосамоскиду  $t_p$  для різних значень коефіцієнту наповнення ковша екскаватора: 1 –  $k_n=0,9$ ; 2 –  $k_n=0,95$ ; 3 –  $k_n=1,0$ ; 4 –  $k_n=1,05$

Середня тривалість циклу екскавації породи прийнята  $t_{\text{ц}}=0,5$  хв, середня тривалість обміну автосамоскидів під завантаження становить  $t_o=1$  хв.

Аналіз графічних залежностей показує, що збільшення тривалості рейсу, а отже відстані транспортування, викликає необхідність

переглядати співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора, тобто змінювати обладнання. В іншому випадку необхідно заздалегідь планувати гірничо-транспортні роботи так, щоб місця перевантаження або розвантаження гірничої маси були розміщені на відстані, при якій максимально ефективно використовувався екскаваторно-автомобільний комплекс, тобто співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора було оптимальним.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** За результатами проведених досліджень встановлено, що вибір раціонального співвідношення ємності кузова автосамоскида до ємності ковша екскаватора при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом є найважли-

вішою умовою, яка забезпечує високопродуктивне використання екскаваторів і автотранспорту при мінімальній вартості гірничотранспортних робіт.

Серед науковців немає єдиного погляду на метод визначення найбільш доцільного співвідношення параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу відкритих гірничих робіт і кількісних його характеристик. Отримана аналітична залежність по визначенню необхідного співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора для досягнення максимально можливої продуктивності екскаваторно-автомобільного комплексу при навантаженні і транспортуванні будь-яких типів гірських порід з урахуванням тривалості виконання рейсу.

Співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора коливається в межах від 4 до 10 й більше при зміні тривалості транспортування від 2 до 20 хв і більше.

Наведені результати досліджень дозволяють планувати гірничотранспортні роботи на кар'єрах таким чином, щоб місця перевантаження або розвантаження гірничої маси були розміщені на відстані, при якій максимально ефективно використовувався екскаваторно-автомобільний комплекс.

Подальші дослідження будуть спрямовані на більш детальне вивчення тривалості транспортування гірничої маси в конкретних гірничо-геологічних умовах кар'єру, як основного параметра, який визначає оптимальне співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора.

### Список літератури

1. **Ржевский В.В.** Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Учебник, изд. 3, перераб. и доп. / В.В. Ржевский. – М.: Недра, 1980. – 631 с.
2. **Маринов П. Л.** Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / П. Л. Маринов, А. А. Кулешов, А. Н. Егоров, И. В. Зырянов. СПб: Элмор, 2004. — 427 с.
3. **Кулешов А.А.** Мощные экскаваторно-автомобильные комплексы карьеров / А.А. Кулешов. – М.: Недра, 1980. – 317 с.
4. **Васильев М.В.** Автомобильный транспорт карьеров / **М.В. Васильев, З.Л. Сироткин, В.П. Смирнов.** – М.: Недра, 1973. – 280 с.
5. **Флаксенберг П.** Погрузка и транспорт на карьерах. Перевод с англ./ П. Флаксенберг. – М.: Недра, 1967. – 160 с.
6. **Хорешок А.А.** Определение оптимального соотношения сопряженных параметров карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов / **А.А. Хорешок, Д.В. Стенин.** // Вестник Кузбасского государственного технического университета. КузГТУ. – 2007. – №5. – С. 3 - 4.
7. **Бишоп Т.М.** Автомобильный транспорт. Перевод с англ. / Т.М. Бишоп. – М.: Недра, 1971. – 142 с.
8. **Томаков П. И.** О формировании экскаваторно-автотранспортных комплексов карьеров / П. И. Томаков // Горный журнал. – 1970. – №12, с.20-23.
9. **Ржевский В.В.** Открытые горные работы. часть II. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. 4-е издание, перераб. и доп. / **В.В. Ржевский.** – М.: Недра, 1985. – 549 с.
10. **Томаков П.И.** Технология, механизация и организация открытых горных работ / **П.И. Томаков, И.К. Наумов.** М.: Недра, 1986. -312 с.
11. **Научные основы проектирования карьеров** / [Под общей редакцией **В.В. Ржевского, М.Г. Новожилова, Б.П. Юматова** и др.]. – М.: Недра, 1971. – 600 с.

Рукопис подано до редакції 12.04.17

УДК 622.8: 331.452: 519.6

Н.Н. НАЛИСЬКО, канд. техн. наук, доц.

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЗОПАСНЫХ РАССТОЯНИЙ ПРИ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВАХ ШАХТНОЙ АТМОСФЕРЫ С УЧЕТОМ МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ВОСПЛАМЕНЕНИЯ И ХАРАКТЕРА ГОРЕНИЯ

**Цель.** Повышение безопасности аварийных работ в горных выработках при угрозе возникновения взрывов шахтной атмосферы путем учета влияния места инициирования взрыва и режима горения в расчете безопасных расстояний. Математическое моделирование процесса закипания и горения загазированного участка рудничной атмосферы в горной выработке.

**Методы исследования.** Анализ и обобщение теоретических исследований, численное моделирование газодинамического процесса детонационного горения газозооной смеси, включая модель химической кинетики горе-

ния, что в целом позволяет проследить динамику формирования ударных воздушных волн в условиях горных выработок. Математическая обработка результатов эксперимента методом наименьших квадратов. При решении уравнений нелинейной регрессии использовалась линеаризация методом логарифмирования.

**Научная новизна.** В результате численного моделирования процесса зажигания и горения загазированного участка рудничной атмосферы получены закономерности формирования и распространения ударных воздушных волн, зависимости их параметров от режима горения и места инициирования газовой смеси.

**Практическая значимость.** Проведенные исследования позволяют усовершенствовать методику расчета безопасных расстояний и таким образом повысить безопасность работ горноспасателей по локализации аварийных взрывов рудничной атмосферы и ликвидации последствий подземных пожаров.

**Результаты.** Установлено, что динамика горения ГВС оказывает решающее влияние на процесс формирования УВВ: в режиме дефлаграционного горения ГВС, с инициированием у края облака, длина взрывной волны увеличена в 3,6 раза в сторону противоположную горению, а амплитуда волны на 10 % в сторону горения. В режиме детонации наблюдается эффект направленного взрыва, при котором амплитуда УВВ сторону противоположную движению детонационной волны в 5 раз меньше, чем в прямой УВВ. Модель мгновенного объемного взрыва, в сравнении с моделями горения, дает заниженные значения амплитуд.

**Ключевые слова:** газозвуковая смесь, мгновенный взрыв, ударная волна, детонация, дефлаграционное горение, точка инициирования.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** На угольных шахтах Украины ежегодно регистрируется не менее 10 подземных пожаров, одним из способов тушения которых, является изоляция аварийного участка взрывостойчивыми перемычками [1,2]. Существующие случаи поражения людей как во время возведения взрывозащитных сооружений, так и работающих под их защитой свидетельствует, в том числе, и о несовершенстве методов расчета безопасных расстояний [3,4]. Надежность определения параметров ударной воздушной волны в сети горных выработок и возможных нагрузок на взрывозащитные сооружения, кроме прочего, зависит от полноты учета факторов и в частности от динамики развития взрыва газозвуковых смесей (ГВС). Действующие нормативные методики основаны на данных натурных измерений, проведенных А.М. Чеховских и В.И. Гудковым в штольне шахты «Карагайлинская» ПО «Киселевскуголь» в конце 60-х годов прошлого столетия. В опытных взрывах, проводимых в штольне площадью 4 м<sup>2</sup>, на расстоянии 140 м от источника воспламенения было зарегистрировано давление 2,8 МПа [5]. При этом, исследования процесса формирования УВВ не проводились.

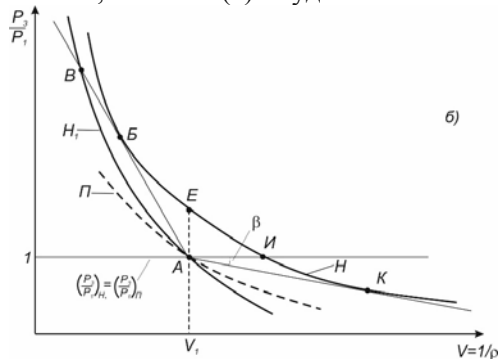
**Анализ исследований и публикаций.** В настоящее время, с увеличением мощности компьютеров, один из эффективных путей совершенствования методик расчета — это численное моделирование процессов взрыва, которое дает возможность детально изучать факторы, влияющие на распространения УВВ и находить закономерности эволюции параметров УВВ во времени и пространстве. Так в работах Института угля и углехимии СО РАН на основании численного расчета был принят газодинамический подход к определению параметров УВВ изменен подход к определению расчетного коэффициента затухания УВВ [6]. В работах НИИГД «Респиратор» установлены зависимости параметров распространения УВВ при наличии преград, вызывающих скачки давления [7].

**Цель работы.** Повышение безопасности аварийных работ при угрозе возникновения взрывов шахтной атмосферы путем учета влияния режима горения и места инициирования взрыва в расчете безопасных расстояний. Математическое моделирование инициирования газозвуковых смесей с различным расположением точки воспламенения и режимов горения.

**Изложение основного материала и результатов.** Для математического моделирования взрыва ГВС и распространения УВВ использовался газодинамический подход, основанный на численном решении системы уравнений газовой динамики. Задача решалась путём использования методов численного счёта уравнений гидродинамики в системе "взрывчатая ГВС – шахтная атмосфера". Для описания движения среды в цилиндрической системе координат использовались уравнения Эйлера (в дивергентном виде), которые обычно используют при расчете течения сжимаемого идеального газа и допускают разрывные решения. Решения уравнений Эйлера производилось с использованием явной конечно-разностной однородной схемы сквозного счёта. В качестве такой схемы был применен модифицированный метод крупных частиц.

В существующих численных расчетах распространения УВВ их источником принят участок выработки, в котором происходит мгновенный объемный взрыв [8]. Такой подход принимался ввиду отсутствия строгого аналитического решения задачи о динамике сгорания газа в частично ограниченных пространствах и в предположении дефлаграционного горения ГВС. Однако, можно утверждать, что процесс формирования УВВ неразрывно связан с динамикой сгорания газа, которая и определяет

амплитуду и другие параметры волны [9-11] и принятая модель может давать значительные погрешности расчета параметров УВВ. Причем, дефлаграционное горение ГВС при взрывах может происходить с различной интенсивностью. Если обратиться к графику ударной адиабаты Гюгонио для продуктов горения (рис. 1, кривая *H*), то ее участок лежащий ниже точки *И* принадлежит дефлаграции [12]. Участок адиабаты от *И* до *К* определяет возможные режимы дефлаграционного взрыва, которые зависят, согласно (2) от удельной теплоты сгорания ГВС.



**Рис. 1.** Состояние ГВС и ПД в координатах *P-V*: кривые Гюгонио (*H*<sub>1</sub>, *H*) и Пуассона (*П*); *AB*, *AK* – прямые Михельсона; *A* – исходное состояние ГВС; *B* – максимальное сжатие ГВС; *Б* – точка Чепмена-Жуге; *К* – точка Жуге

Как показано в работах К.И. Щелкина, в дефлаграции осуществимы любые состояния на отрезке *ИК*. В точке *И* наблюдается минимальная скорость дефлаграции равная нормальной скорости распространения пламени, определяемой теплопроводностью, диффузией и скоростью химической реакции в зоне горения

$$(v_3 / v_1)_И = \left[ 1 + (\gamma - 1)Q / c_1^2 \right], \quad (1)$$

где  $(v_3/v_1)_И$  – относительная скорость продуктов реакции за зоной горения в точке *И* (система координат связана с фронтом горения); *Q* – тепловой эффект реакции;  $\gamma$  – отношение теплоемкостей ГВС; *c*<sub>1</sub> – скорость звука в исходном газе; 1, 2 – индекс свежей смеси и ПД.

По мере перемещения точки состояния продуктов горения вниз, скорость продуктов растет. Более высокие скорости достигаются за счет увеличения поверхности горения, вызываемого турбулизацией потока. Максимальная скорость дефлаграции определяется углом наклона ( $\beta$ ) прямой Михельсона – *AK*, которая касается кривой Гюгонио в точке Жуге – *К*. Из условия Жуге определено максимальное число Маха для газа, втекающего в покоящуюся зону горения или, что тоже самое, максимальную безразмерную скорость дефлаграции

$$(M_1^2)_{\max} = \left( 1 + \frac{\gamma + 1}{\gamma} q \right) - \sqrt{\left( \frac{\gamma + 1}{\gamma} q \right)^2 + 2 \frac{\gamma + 1}{\gamma} q} \quad (2)$$

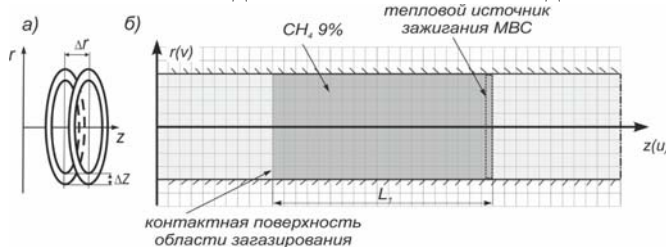
где *M* – число Маха; *q* – отношение теплового эффекта реакции к внутренней энергии газа.

Уравнения (2)-(3) показывают состояние ГВС в процессе горения в определенный момент времени, т.е. квазистатическое состояние. Для определения динамики дефлаграционного горения ГВС необходимо совместное решение уравнений (2)-(3) и уравнения скорости тепловыделения (на основе кинетики химической реакции), которое на сегодняшний день отсутствует.

В связи с этим, для моделирования процесса дефлаграционного горения метановоздушной смеси воспользуемся численным решением системы уравнений газовой динамики (1).

Численный эксперимент проведен для условий горной выработки в виде цилиндрического канала диаметром 2 м. Часть выработки, приведенной (к диаметру) длиной *L*<sub>1</sub>=15 заполнено метановоздушной смесью с содержанием метана 9,0 % по объему (рис. 2).

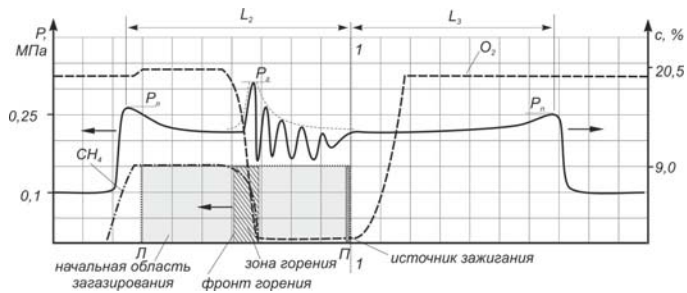
Для уменьшения влияния эффектов отражения ударной волны от стенок канала в эксперименте создается плоский фронт дефлаграционного горения с помощью теплового источника зажигания (рис. 3).



**Рис. 2.** Математическая постановка задачи взрыва метановоздушной смеси и формирования УВВ в горной выработке

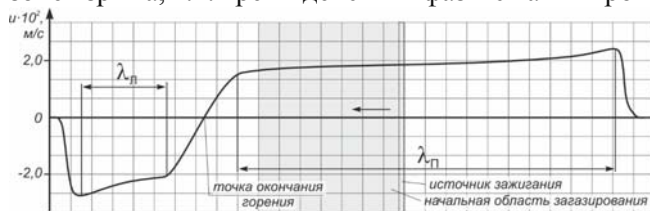
В численном исследовании рассматривалось два случая расположения источника зажигания внутри облака: на контактной поверхности ГВС и в центре участка. В первом случае режим дефлаграционного горения устанавливался через 0,12 мс от момента начала инициирования и был близкий к стационарному.

Ускорение распространения фронта горения на участке не превышало 17 % от начальной скорости.



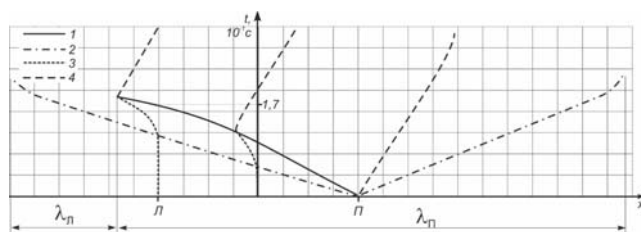
**Рис. 3.** Профиль графиков давления, концентрации метана и кислорода, на момент времени 1 мс после инициирования ГВС, вдоль оси канала z. Стрелки у скачков параметров указывают направления распространения ударной волны и фронта горения

Границей разделения ударных волн, движущихся в противоположных направлениях, в сквозной выработке, является зона горения, которая сама движется по ГВС, со скоростью значительно ниже скорости УВВ и скорости звука. В численном эксперименте, наблюдается разница в амплитудах этих УВВ величиной 5-7 %. Это объясняется тем, что в отличие от детонации, при дефлаграции продукты горения двигаются в сторону противоположную от распространения фронта горения за счет их расширения, т.е. справа давление ниже, чем левее зоны горения, поэтому волны сжатия распространяясь в среде с меньшим давлением формируют УВВ с несколько меньшей амплитудой, чем в противоположном фронте УВВ:  $P_n = (0,93 \dots 0,95)P_l$  (рис. 3). Соответственно, расстояние пройденное правым фронтом УВВ, относительно точки инициирования (прямая 1-1), будет также меньшим  $L_3 < L_2$ . Однако, в связи с тем, что зона горения и граница разделения взрывных волн перемещаются в левую сторону, длина взрывной волны, распространяющейся вправо  $\lambda_n$ , к концу горения будет больше чем с левой стороны  $\lambda_l$  (рис. 4). Эта закономерность важна при оценке силового воздействия взрывной волны на защитные сооружения в ближней зоне взрыва, т.к. время действия фазы сжатия пропорционально этой длине  $\tau_+ \sim \lambda$ .



**Рис. 4.** График скорости газового потока вдоль оси канала в момент окончания дефлаграционного взрыва. Стрелка указывает направление распространения горения

Динамику перемещения фронта дефлаграционного горения и взрывных волн, а также границ ГВС и продуктов горения в канале можно проследить на x, t-диаграмме (рис. 5).



**Рис. 5.** Направление и скорости движения: фронт горения – 1, фронт ударной волны – 2, контактная поверхность облака ГВС с левой стороны (Л) и центра – 3, контактная поверхность с правой стороны (П) и продукты горения – 4

На основании эксперимента можно оценить параметры взрывной волны при дефлаграционном горении вытянутого облака ГВС с инициированием у границы. При эквивалентном диаметре канала 2 м длина облака составила 30 м. Время горения ГВС в численном эксперименте 171 мс, соответственно средняя скорость горения составила 175 м/с. За это время фронт УВВ распространился вправо на 56 м, при условии, что ударная волна движется со стандартной скоростью 330 м/с. За фронтом горения, газ также движется вправо, поэтому длина взрывной волны увеличится минимум до 86 м.

Длина взрывной волны, движущейся влево, согласно графиков (см. рис. 4,5), отсчитываться от точки полного сгорания ГВС и ее величина составила 23 м. Таким образом, по отношению к длине облака ГВС длина взрывной волны составит:  $\lambda_l = 0,7L_l$ ,  $\lambda_n = 2,5L_l$ . При увеличении скорости горения коэффициенты при  $L_l$  изменятся, однако их соотношение будет постоянным. Таким образом, для рассматриваемого случая можно записать соотношения

$$\lambda_l = 0,28\lambda_n, \text{ поскольку } \tau_+ \sim \lambda, \text{ тогда, } \tau_+^{II} = 3,57\tau_+^I, \text{ при } P_l = (1,03-1,05)P_n. \quad (3)$$

Инициирование облака ГВС из центра. За счет меньшего рассеивания тепловой энергии источника зажигания, стационарный режим дефлаграционного горения устанавливался через 0,07 мс. Далее возникшая симметричная взрывная волна и два фронта горения, распространяются в противоположные стороны.

По результатам численного эксперимента, на  $x, t$ -диаграмме (рис. 6), можно видеть, что волны сжатия и продукты взрыва двигаясь от зоны горения к центру сталкиваются со встречным потоком и создают более высокую зону давления в границах облака ГВС.

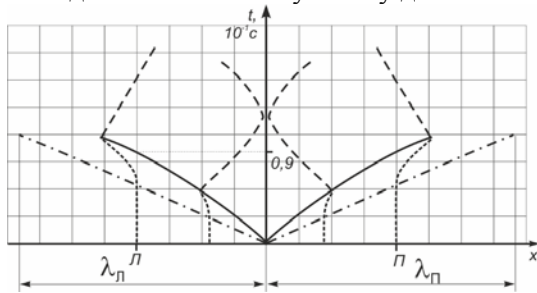


Рис. 6. Направление и скорости движения фронта дефлаграционного горения, ударной воздушной волны и продуктов горения при инициировании ГВС в центре облака

Соответственно, мы получаем бóльшую амплитуду УВВ по отношению к предыдущему случаю за счет меньшей скорости диссипации энергии за зоной горения (рис. 7). Увеличение амплитуды при этом происходит на 21 % (с 0,28 до 0,34 МПа), что качественно совпадает с аналогичными расчетами в работе [10].

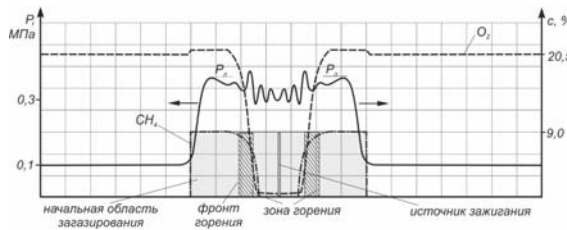


Рис. 7. Профили параметров газового потока при дефлаграционном горении и инициировании ГВС из центра газифицированного участка, на момент времени 0,4 мс

Соотношения между длинами взрывной волны, временем действия фазы сжатия и величиной амплитуды волн слева и с права будут иметь следующий вид

$$\lambda_{л} = \lambda_{п}, \tau_{+}^{II} = \tau_{+}^{I}, P_{л} = P_{п}. \quad (4)$$

Как видно из численного эксперимента, избыточное давления во фронте ударной волны и время действия фазы сжатия при дефлаграционном взрыве, зависит от кинетики химической реакции взрыва, газодинамики процесса и места инициирования ГВС.

При дефлаграционном взрыве в протяженных каналах высока вероятность перехода горения в детонацию [13]. Особенно это актуально для горных выработок, загроможденных по сечению. В случае принятия модели мгновенного взрыва, в процессе расчета, необходимо решать задачу распада произвольного разрыва. Аналитическое решение данной задачи для условий детонации конденсированных ВВ приведено в работах К.П. Станюковича [14] как расчет истечения продуктов детонации (ПД) в воздух. В решении, определения параметров УВ основываются на предположении, что в начальный момент времени, вблизи заряда ударная волна движется одновременно с ПД, поэтому достаточно определить параметры разлета ПД. В этом случае расширение продуктов детонации описывается изоэнтروпийным законом  $P = ap^n$ , где  $P$  - амплитуда во фронте УВ,  $a$  - константа ВВ,  $n$  - показатель изоэнтропы. Показатель изоэнтропы является величиной переменной и учесть характер  $n(P)$  достаточно сложно. Авторы, при анализе процесса истечения продуктов детонации в воздух заменяют реальную адиабату расширения двумя адиабатами

$$pv^n = p_n v_n^n \text{ при } p_k \leq p \leq p_n; pv^k = p_k v_k^k \text{ при } p \leq p_k, \quad (5)$$

где  $n=3, k=1,2-1,4$  - показатель изоэнтропы для ПД и воздуха,  $p_n v_n, p_k v_k$  - параметры ПД во фронте детонационной волны и в точке сопряжения.

В результате решения, для сильной ударной волны получают уравнение

$$p_{уд} = p_x = \frac{k+1}{2} \rho_a u_{уд}^2,$$

где  $p_{уд}, p_x$  - давление в ударной волне и в ПД,  $u_{уд}$  - скорость фронта ударной волны, принимается равным скорости ПД.

Уравнение позволяет оценить, с определенной степенью точности, параметры УВ только в начальный момент времени разлета. Для полной оценки динамики формирования и распространения УВВ в модели мгновенного взрыва воспользуемся численным решением системы уравнений Эйлера.

В данной модели не используется решение уравнений химической кинетики детонационного горения, поэтому давление мгновенного взрыва задается по экспериментальным данным. Согласно действующей нормативной методике расчета параметров УВВ, для активного участка с относительной длиной равной 15, абсолютное давление составляет  $P_n=0,5$  МПа. Запись

профиля давления в газовом потоке (рис. 8) показывает, что в проходной выработке, с двух сторон объема ГВС, формируются симметричные УВВ, а вглубь ПД распространяется волна разрежения. Причем, на контактной поверхности происходит резкое падение давления до  $\approx 0,5P_n$ , что соответствует принятой двухадиабатной модели (6). Длина взрывной волны в начальный момент времени составила  $\approx 1/2$  длины активного участка.

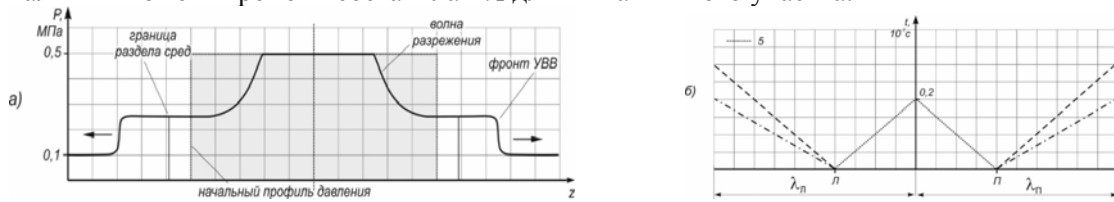


Рис. 8. Динамика состояния газа в модели мгновенного взрыва: а - профиль давления в начальный момент времени и через 0,8 мс; б - движение ударной волны, продуктов горения и волны разрежения (5)

Для установления зависимости параметров УВВ от начальных условий в модели мгновенного взрыва, была проведена серия численных экспериментов, которая показала, что наибольшее влияние оказывает здесь соотношение плотности воздуха  $\rho_v$  и ПД  $\rho_{\text{ПД}}$ . Величина начального давления оказывает незначительное влияние на относительную амплитуду волны: при увеличении начального давления взрыва в 10 раз, отношение  $P_{\text{УВ}}/P_n$  изменяется всего на 8 %, причем в сторону уменьшения за счет возрастания различных потерь (например, теплообмена со стенкой). Интерес представляет конкретный вид зависимости  $P_{\text{УВ}}/P_n$  от  $\rho_v/\rho_{\text{ПД}}$ . Аналитический вид этих зависимостей был получен путем обработки результатов численного эксперимента методом наименьших квадратов. При решении уравнений нелинейной регрессии использовалась линеаризация методом логарифмирования

$$\frac{P_{\text{УВ}}}{P_n} = 0,098 \ln \left( \frac{\rho_{\text{ПД}}}{\rho_v} \right) + 0,55, \quad \lambda_{\text{УВ}} = 0,43 \left( \frac{\rho_v}{\rho_{\text{ПД}}} \right)^{0,56} \quad (6)$$

При газовых взрывах в горных выработках значения плотностей  $\rho_v, \rho_{\text{ПД}}$  приблизительно равны. Поэтому независимо от начального давления, соотношение параметров УВВ в модели мгновенного взрыва будет следующим

$$P_{\text{УВ}} = 0,55 P_n, \quad \lambda_{\text{УВ}} = \lambda_{\text{ПД}} = 0,45 L_1, \quad \tau_+^{\text{П}} = \tau_+^{\text{П}}, \quad P_{\text{Л}} = P_n \quad (7)$$

Рассмотрим вариант, когда в модели взрыва учитывается процесс детонационного горения ГВС, т.е. газодинамическая модель численного счета дополняется моделью химической кинетики горения углеводородов [14]. В численном эксперименте плоскую детонационную волну можно инициировать небольшим источником теплового мгновенного взрыва объема газа в форме диска толщиной 0,01 м. Начальное, минимальное давление взрыва в источнике подбирается таким образом, чтобы длина зоны перехода горения в детонацию (ПГД) составляла не более 10 % длины загазированного участка. Величина этого давления составила 2,1 МПа (рис. 9).

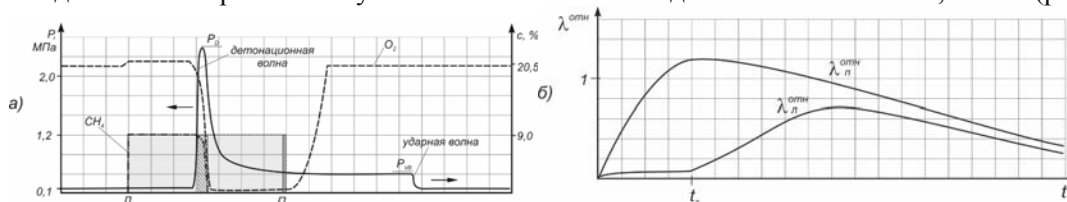


Рис. 9. Профиль давления и концентрации газов в режиме детонационного горения ГВС на момент времени 0,1 мс а; динамика изменения относительной длины взрывной волны с двух сторон от загазированного участка горной выработки б

На графике (рис. 9а), пик профиля давления (фронт ударной волны) и зона горения совпадают и движутся в сторону свежей ГВС, образуя детонационную волну. Одновременно, в противоположную сторону распространяется ударная волна, причем ее амплитуда по отношению к волне детонации составляет всего лишь  $(P_{\text{УВ}}/P_{\text{Д}}) \cdot 100 = 17 \%$ . Аналогичное соотношение сохраняется и при выходе детонационной волны на границу ГВС и ее переход в УВВ, при этом  $(P_{\text{УВ}}^{\text{П}}/P_{\text{УВ}}^{\text{П}}) \cdot 100 = 21 \%$ . Таким образом, при детонации газовых смесей, с инициированием у края облака, наблюдается четко выраженный эффект направленного взрыва, который не учитывается в стандартных методиках расчета параметров УВВ. Причем, амплитуда детонационной и ударной волны (при выходе первой на границу МВС) на порядок превышает амплитуду в ре-

жиме дефлаграции. Длина взрывной волны в сторону распространения детонации, до момента окончания горения ( $t_c$ ) будет равна длине детонационной волны (рис. 9б). После окончания горения ее длина увеличится за счет расширения газов и достигнет 70 % длины противоположной волны, при этом имея большую амплитуду.

Поскольку УВВ с большей амплитудой затухает быстрее, то можно предположить, что на некотором расстоянии, с двух сторон от места взрыва, произойдет выравнивание параметров УВВ. Для оценки этого расстояния, в численном эксперименте был произведен замер импульса силового действия УВВ согласно методики [15]. В результате установлено, что на относительном расстоянии 7 длин активного участка  $L_1$  в левую сторону и 5 длин в правую сторону, импульсы УВВ слева и справа от места взрыва становятся одинаковыми. При этом для метановоздушной смеси амплитуда выравнивания составила  $P_{УВВ}=0,52$  МПа, с учетом начальных условий по шероховатости и коэффициента теплообмена стенок выработки принятых в эксперименте. Динамика детонационной и ударной волны в режиме детонационного горения ГВС представлен на  $x, t$ - диаграмме рис. 10. В результате, в режиме детонационного горения ГВС в горной выработке, соотношения параметров УВВ будут иметь вид

$$P_{y0}^n = P_D, P_{y0}^n = 0,2P_{y0}^n; \lambda_{П} = 1,2L_1; \lambda_n = 0,7\lambda_{П}; \tau_+^n = 0,7\tau_+^n \quad (8)$$

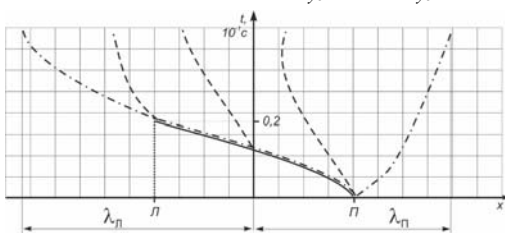


Рис. 10. Движение детонационной волны, продуктов детонации и ударной волны при инициировании ГВС на контактной поверхности

Сопоставляя полученные в численных экспериментах, закономерности формирования УВВ, в условиях дефлаграционного и детонационного режима горения (4), (5), (9) с закономерностями модели мгновенного объемного взрыва (8) можно отметить, что они имеют значительные качественные и количественные отличия. Это подтверждается графиками движения фронта горения, УВВ и ПД в различных режимах (рис. 5,6,10,13). В целом, эти различия можно выразить на графике амплитуд УВВ вблизи облака ГВС (рис. 11). Из графика видно, что модели дефлаграционного и детонационного горения дают большую амплитуду УВВ в момент ее формирования. Несмотря на быстрое ее убывание при окончании детонации ГВС, фронт ударной волны будет распространяться с опасными значениями амплитуды на большие расстояния. Таким образом, можно сделать вывод о том, что в газодинамических расчетах газовых взрывов на основе численных методов, необходимо применение моделей химической кинетики горения для получения физически обоснованных параметров УВВ. Модель мгновенного объемного взрыва, в этом случае, дает заниженные значения амплитуд.

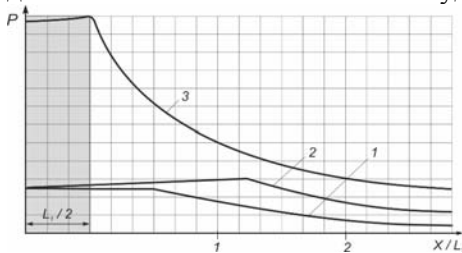


Рис. 11. Профили давления в различных моделях газового взрыва: 1 – модель мгновенного взрыва; 2 – модель с учетом динамики горения ГВС в режиме дефлаграции; 3 – тоже, в режиме детонации

Учет полученных закономерностей в действующей нормативной методике расчета безопасных расстояний предлагается выполнять по следующему алгоритму. Если в процессе составления расчетной схемы установлена возможность инициирования активного (загазированного)

участка выработки на контактной поверхности ГВС, то амплитуду УВВ распространяющуюся в сторону сгорания газа увеличить, а в противоположную уменьшить на 5 %. Если инициирование происходит в промежутке до  $1/4L_1$  от края, амплитуду волны в сторону меньшей длины ГВС не уменьшать. В случае возможности возникновения детонационного режима, т.е. относительная длина активного участка более 65 (при загромождениях - 15) или расчетное избыточное давление более 1,6 МПа, то амплитуду УВВ в сторону противоположную движению детонационной волны уменьшить на 80 %.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Установлено, что динамика горения ГВС оказывает решающее влияние на процесс формирования УВВ: в режиме дефлаграционного горения ГВС, с инициированием у края облака, длина взрывной волны увеличена в 3,6 раза в сторону противоположную горению, а амплитуда волны на 10 % в сторону горения. В режиме детонации наблюдается эффект направленного взрыва, при котором амплитуда УВВ сторону противоположную движению детонационной волны в 5 раз меньше, чем в прямой УВВ. Мо-

дель мгнового об'ємного взрива, в порівнянні з моделями горіння, дає занижені значення амплитуд.

#### Список літератури

1. **Гурін, А.О.** Дистанційний відбір проб повітря при проведенні виробок / **А.О. Гурін, В.А. Шаповалов, А.В. Давидов** // Вісник Криворізького національного університету.– 2012.– Вип. 31.– С. 126-128.
2. **Кудинов, Ю.В.** Развитие систем взрывозащиты угольных шахт / **Ю.В. Кудинов, О.И. Кашуба, Ю.В. Манжос** // Уголь Украины. – 2007. – № 9. – С. 17 – 20.
3. Методика визначення депресій вентиляційних ділянок шахтної мережі / **І.Б. Ошмянський, О.Є. Лапшин, О.О. Лапшин, А.А. Немченко** // Вісник Криворізького національного університету.– 2012.– Вип. 31.– С. 118-122.
4. Способы оценки состава газов в шахтной атмосфере при тяжелых техногенных авариях / **А.Г. Мнухин, А.М. Брюханов, В.Г. Агеев** [и др.] // Уголь Украины. – 2012. – № 8. – С. 23 – 30.
5. Сайт горноспасателей [Электронный ресурс] / РГКП «ЦШ ПВАСС» Республика Казахстан.– Режим доступа: <http://www.gornospass.ru/vzryv-ms.html>.– 18.03.2017 г. – Загл. с экрана.
6. Математическое моделирование нестационарных процессов вентиляции сети выработок угольной шахты / **И.М. Васенин, Э.Р. Шрагер, А.Ю. Крайнов** [и др.] // Компьютерные исследования и моделирование.– 2011.– Т.3 № 2.– С. 155-163.
7. **Агеев, В.Г.** Математическая модель формирования ударных волн в горных выработках при взрывах метана// Горноспасательное дело.– 2010.– Вып. 47.– С. 5–10;
8. Влияние места взрыва метановоздушной смеси на интенсивность ударной волны в горной выработке / **И.М. Васенин, А.Ю. Крайнов, Д.Ю. Палеев** [и др.] // Доклады VII Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых «Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф». Т.1. – Красноярск: Ин-т вычисл. моделир. СО РАН, 2003.– С. 64-65.
9. **Горев, В.А.** Влияние формы облака и места инициирования взрыва на характер взрывной волны / **В.А. Горев, Г.М. Медведев** // Пожаровзрывобезопасность.– 2012.– № 6.– С. 29-33.
10. **Поландов, Ю.Х.** Влияние места расположения источника воспламенения в помещении на развитие взрыва газа / **Ю.Х. Поландов, В.А. Бабанков** // Пожаровзрывобезопасность.– 2014.– № 3.– С. 68-74.
11. **Гельфанд, Б.Е.** Объемные взрывы: монография / **Б.Е. Гельфанд, М.В. Сильников**.– СПб.: Астерион, 2008.– 374 с.
12. **Зельдович, Я.Б.** Теория ударных волн и введение в газодинамику / **Я.Б. Зельдович** – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004. – 188 с.
13. **Фролов, С.М.** Быстрый переход горения в детонацию / **С.М. Фролов** // Химическая физика.– 2008.– Т. 27.– № 6.– С. 32-46.
14. Физика взрыва / Под ред. **Л.П. Орленко**. – В 2 т. Т.1. – М.: Физматлит, 2002. – 832 с.
15. **Налисько, Н.Н.** Численный анализ влияния объемов загазирования горных выработок на импульс ударной воздушной волны / **Н.Н. Налисько** // Вісник Криворізького національного університету.– 2015.– Вип. 39.– С. 73-77.

Рукопись поступила в редакцію 21.03.17

УДК 622.235

О. В. ШАПУРИН, д-р техн. наук, проф., Криворізький національний університет  
А.А. СКАЧКОВ, Департамент технологій і планування виробництва  
«ГДД МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ»

## РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ЗДОЛАННЯ ОПОРУ ПО ПІДОШВІ ПЕРЕД ПЕРШИМ РЯДОМ ЗАРЯДІВ

**Мета:** Метою роботи є покращення і одночасно здешевлення буровибухових робіт, шляхом першочергового підривання зменшеного (на 30-50%) заряду ВР у другому ряду свердловин, а через розрахований інтервал сповільнення, ближнього повноцінного заряду у першому ряду. Така заміна черговості підривання зарядів відтермінує у просторі і часі взаємодію першої прямої вибухової хвилі з відображеними від вільних поверхонь укосу й покрівлі уступу, виключає утворення магістральних тріщин від такої взаємодії, продовжує час дії вибухових газів заряду у другому ряду, збільшує ККД вибуху, забезпечує, через двократність вибухових ударів по укосу уступу, покращення якості проробки підосви уступу.

**Методи дослідження:** Встановлення швидкості розповсюдження хвиль у досліджуваних породах, їх міцності, параметрів БВР і інтервалів сповільнення між сумісними зарядами у парі рядів, а також парами рядів.

**Наукова новизна:** Полягає в обґрунтованості розведення у просторі й часі взаємодії першої прямої вибухової хвилі з відображеними від вільних поверхонь укосу і покрівлі уступу, для уникнення утворення магістральних тріщин у ньому, продовження проростання радіальних тріщин навколо заряду у другому ряду, збільшення ККД вибуху.

**Практична значимість.** Полягає у покращенні якості проробки збільшених ЛОПП, за рахунок двократності хвильових вибухових ударів по укосу, зменшенні питомої витрати ВР.

**Результати.** Запропонована технологія виконання буровибухових робіт, яка передбачає початкове підривання зменшеного (на 30-50%) заряду у другому ряду вибухового блоку, а через розрахований інтервал сповільнення, ближнього із повноцінною масою, у першому ряду. Надалі, аналогічно, через сповільнення, підривають наступну пару зарядів у цих рядах і так продовжують, доки не скінчаться заряди у перших двох рядах. По мірі їх відпрацювання, накопичується сповільнення, і по досягненні його значень 120-180 мс, слід розпочинати підривання у наступній парі рядів: четвертому і третьому, аналогічним чином, як у другому й першому. Всі заряди у парних рядах матимуть зменшену масу, а у непарних повноцінно. За цією ознакою технологія отримала назву диференційованого насичення масиву гірських порід вибуховими енергіями. Кількість пар рядів, спрацьовуючих аналогічно, визначається технологічними умовами виробництва. Паралельно отримуються такі позитивні прояви: зменшення фонтанування пилу, газу через вустя свердловин, зменшення розмірів пилегазової хмари, зменшення загальної кількості отруйних газів у вибуховій хмарі.

**Ключові слова:** вибухові роботи у кар'єрі, пари зарядів, пари рядів, пряма вибухова хвиля від заряду ВР, відбиті вибухові хвилі від вільних поверхонь укосу і покрівлі уступу, отруйні вибухові газу.

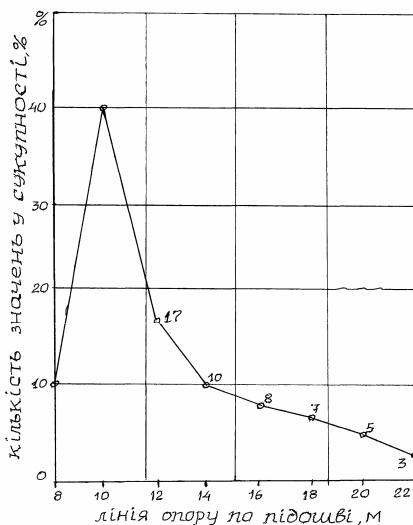
**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Довгі роки у кар'єрах Кривбасу турбує виробничників завищений опір по підшві перед свердловинами першого ряду ЛОПП ( $W_1$ ), який формується, із двох причин:

а - зменшенням часу вибухової дії на масив від заряду у першому ряду, за рахунок утворення магістральних тріщин від взаємодії хвиль: прямої і відображених [2,5];

б - мінливістю структури порід уздовж фронту робіт, що непередбачено зменшує кут укосу, збільшуючи ЛОПП ( $W_1$ ), сприяючи завищенню по підшві. Завищення ж по підшві - це збільшена висота уступу на нижче розташованому горизонті, додаткові витрати на бурові, вибухові роботи. При цьому, як правило, збільшується вміст у розвалі негабаритних шматків. Збільшується час на непродуктивні витрати виймання цих шматків із розвалу і відкидання їх в сторону для вторинного подрібнення [6,10].

На рис. 1 наведено діаграму розподілення значень ЛОПП у одному з кар'єрів Кривбасу для висоти уступу 15 м. Ця діаграма має характерний вигляд: недалеко від значення ЛОПП=10 м - максимальна кількість випадків ЛОПП, які трапляються у документації для розрахунку об'ємів порід на окремі свердловини, маси зарядів в них довжини перебуру.

Рис. 1. Діаграма розподілення значень ЛОПП



Невипадково у кар'єрі ПівдГЗК у паспортах на складання проектів на виконання буро-вибухових робіт  $W_1 = 10,5$  м. У паспортах кар'єрів АрселорМіттал Кривий Ріг, для різних умов величина ЛОПП змінюється, але найчастіше зустрічається  $W_1 = 9$  м. На діаграмі проти позначки  $W_1 = 12$  м маємо 17 % цього параметра у документаціях, для  $W_1 = 14$  м - 10 %. Далі 16 м - 8%; 18 м - 7%; 20 м - 5%; 22 м - 3%.

Аналіз значень ЛОПП, особливо в сторону більшу від проектних величин, окреслює коло наукових завдань по створенню методів здолання завищених значень ЛОПП, бажано із мінімальними витратами на реалізацію створених методів.

**Аналіз досліджень та постановка задачі.** В гірничо-технічній літературі чимало уваги приділяється методам здолання ЛОПП. Так, М.Ф. Друкований [1] вважає, що якість подрібнення гірської породи перед першим рядом свердловинних зарядів можна покращити, якщо привантажити укіс уступу підпірною стінкою із подрібненої вибухом гірської породи науково встановленої ширини. Мається на увазі що укіс уступу - то є вільна поверхня, на якій пряма вибухова хвиля трансформується у відбиту хвилю. Тріщини утворені останньою, з'єднуються із тріщинами, які формувались в тілі уступу при проходженні прямої хвилі від зарядної порожнини. Таке з'єднання розгерметизує зарядну ємність, сповнену розжарених газів вибуху - тиск вибухових газів швидко падає, подальше тріщиноутворення припиняється [3;4].

М. Ф. Друкованим пропонується продовжити квазістатичну фазу дії вибуху, зв'язати масив, припинити його швидке розпадання, дозволити розпадання, але вже після кращого подрібнення масиву вибухом перед підпірною стінкою. На рис. 2 наведено фото уступу скельових гірських

порід, який, незважаючи на жорсткість гірської породи, вигинається дугою під дією прямої і відображених хвиль. З'єднання тріщин від хвиль прямої і відображених уже сталося, бо ми спостерігаємо прорив вибухових газів в атмосферу як з боку верхньої площини уступу, так і з боку його укусу. Цей рисунок підтверджує теоретичні висновки М.Ф. Друкованого про необхідність на короткий термін притримати масив від розпадання. Ще одна важлива деталь: раніше невеличкий обсяг невідвантажених порід залишали перед укосом саме із викладених міркувань - притримати уступ від швидкого розпадання - і в ті часи питання завищених значень ЛОПП так гостро не стояло. Зараз усе підмітається щоб вкладені у вибуховий розвал гроші не лежали нереалізованими, щоб збільшити швидкість їх окупності. Як бачимо, обидві точки зору добре обгрунтовані: одна з позицій фізики твердого тіла, інша із фінансових міркувань. На рис. 3 наведено горизонтальний зріз уступу на рівні зарядної порожнини, з якої вибухові гази ще не почали витікати в атмосферу, тобто, бачимо вибух на невеличкий інтервал часу раніше, ніж це зображено на фото на рис. 2.

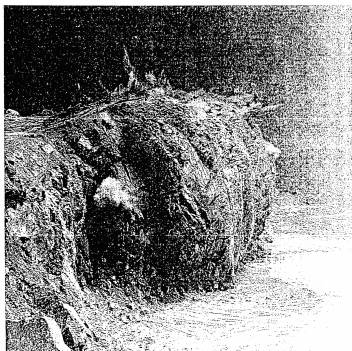


Рис. 2

Інша позиція - це створення методів, переважно буровибухових, для ліквідації сформованих завищених значень ЛОПП, які вже не укриваються підпірною стінкою. Найпростіший варіант, це застосування парнонаближених свердловин у першому ряду вибухового блоку [9;10]. В монографії «Совершенствование скважинной отбойки» А. В. Будько, та ін. розглядають варіанти розташування груп зарядів, які умовно вважаються уособленням однієї свердловини збільшеного діаметру. З цих позицій у Кривбасі мають місце часті випадки застосування парнонаближених свердловин і поодинокі випадки застосування у першому ряду груп із трьох зарядів, розташованих в кутах рівностороннього трикутника, або ж чотирьох зарядів, розташованих у кутах квадрата. До наведеного слід додати що А.В.Будько, та ін. творили в умовах застосування у кар'єрах ініціювання за допомогою ДШ, відстань у групі між свердловинами пропонувалась  $(4-8)d_{зар}$ . Для умов Кривбасу - це 1-2 м.

Зазначене передбачало одночасне спрацювання пари (групи) зарядів, які діють на масив ніби як один заряд за масою еквівалентного розміру, що дозволяє забезпечити здолання завищених значень ЛОПП. Слід занотувати, що відстані між свердловинами 1-2 м для застосування верстатів СБШ -250 є мало прийнятними за технологічних умов (розтікання шламу та ін.). Звичайно використовують 3 м. Окрім того, ДШ як засіб, що забезпечує одночасність спрацювання і сумарну хвильову дію на масив від групи зарядів, уже не застосовується [7;8].

Є надія, що ініціювання зарядів за допомогою хвилеводів низько енергетичного типу, з присутністю розкиду спрацювання існуючих засобів, забезпечує якусь сумарну дію на масив гірських порід, але все це є важко керованим процесом. Наведений аналіз має висновком необхідність створення різних способів для здолання змінних за величиною завищених значень ЛОПП на уступах гірських порід у кар'єрах.

**Викладення матеріалів та результатів дослідження.** В [1] табл. 7, наведено виміряні значення швидкості розвитку тріщин, виконані у кар'єрах Кривбасу, ДФДК, Балаклави, а також у гранітних кар'єрах України, які коливаються в межах 86- 940 м/с, але переважають значення: 200-500 м/с. Поряд із цією колонкою розташована інша колонка із виміряними значеннями швидкості руйнування гірських порід в тих же умовах. Ці останні в 1,3-4,6 разів перевершують попередні. Виникає думка, що ці збільшені швидкості руйнування у порівнянні із значеннями швидкості розвитку окремих тріщин, обумовлені з'єднанням двох тріщин (див. рис. 3): радіальної від зарядної порожнини і, сформованої відображеною хвилею від укусу уступу.

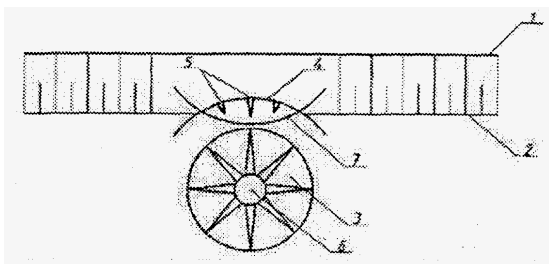


Рис. 3. Горизонтальний зріз уступу на рівні вибухової порожнини від спрацьованого заряду; 1- нижня бровка уступу; 2 - лінія перетину укусу уступу; 3 - зона розповсюдження радіальних тріщин навколо заряду; 4- вигинання вільної поверхні під впливом хвиль; 5 - проростаючі тріщини вглиб укусу уступу; 6 - зарядна порожнина; 7 - відбита хвиля в тілі уступу

Ця думка підтверджується інформацією із [1] стор. 19: «При испытаніях на блоках в центре его пробурился шпур, вокруг которого серебряной пастой наносились полукольца через 5-10 мм. Удельный расход аммонита В-3 составлял 600 г/м<sup>3</sup>. В результате исследований установлено, что общее время разрушения блока, т.е. интервал времени между разрывом первого и последнего кольца, значительно меньше, чем следовало бы ожидать, исходя из установленной скорости развития трещин. Это объясняется тем, что отдельные трещины образуются на различных расстояниях от заряда практически одновременно и каждая трещина проходит путь меньший, чем расстояние от заряда ВВ до свободной поверхности».

Все зрозуміло: *a* - випробування виконувались на негабаритних блоках обмежених розмірів; *b* - згідно рис. 3 і наведеному тексту із стор. 19 [1] в деякий момент часу у негабаритному блоці відбитою хвилею формувалась тріщина, яка рухалась назустріч тій, що від заряду, тому й виникло одночасне утворення тріщин на різних відстанях від заряду, а з'єднання цих різнонаправлених тріщин обумовлювало загальну велику швидкість руйнування блоку порівняно з вимірною швидкістю розвитку окремих тріщин.

Наведена логіка аналізу високоточних вимірювань швидкості розвитку окремих тріщин і загальної швидкості руйнування блоку породжує спосіб №1 здолання завищених значень ЛОПП: в першу чергу, треба підривати заряд у другому ряду, а через розрахований інтервал сповільнення - найближчий у першому. В цьому випадку відстань від заряду у другому ряду до вільної поверхні укосу уступу збільшується на параметр відстані між рядами свердловин (ВМР) у порівнянні із загальною практикою. Виконуємо рекомендацію М. Ф. Друкованого: зв'язати масив перед вибухаючим зарядом від розпадання, але робимо це не підпірною стінкою, а за допомогою відстані між рядами, другим, першочергово підриваємим, і зарядом у першому ряду - його підірвемо пізніше. Збільшена відстань формує збільшений час посування прямої хвилі до укосу, а вибухові гази спрацьованого заряду забезпечують тріщиноутворення навколо зарядної порожнини - доля енергії вибуху, що використана на подрібнення зростає. Щоб унеможливити пришвидшене тріщиноутворення у напрямку покрівлі уступу, зменшуємо масу заряду у другому ряду на 30-50 %, збільшивши довжину забивочного матеріалу. В результаті наведених трансформацій, пряма хвиля від заряду другого ряду підходить до укосу дещо ослабленою, але тріщини нею все одно формуються, оскільки міцність породи на розтягування в 10-15 разів менша ніж на стискання. Окрім цього, тріщини відбитою хвилею формуються за межами воронки дроблення заряду у другому ряду, з'єднання різнонаправлених тріщин віддаляється у часі, і можливо і не станеться, а продукти детонації цього заряду у другому ряду продовжують руйнацію гірських порід навколо себе.

Пропозицію із першочергового підривання заряду у другому ряду можна буде вважати завершеною після формування сповільнення між підриванням зарядів у другому і першому рядах. Ситуація підказує, що відбита хвиля всією своєю довжиною повинна пройти повз заряд у першому ряду, зона розтягування зміниться на стискання, це і є момент підривання заряду у першому ряду. Нижче у табл. 1 наведено розрахунок інтервалів сповільнення у трьох типах порід із коефіцієнтами міцності: 6; 10; 14.

У наведеній пропозиції всі заряди у другому ряду мають зменшену масу, тоді як у першому, за паспортом. Порядок підривання у двох розглянутих рядах: від одного флангу блоку до іншого. У вибуховому блоці може бути декілька пар рядів свердловин.

Початок відпрацювання наступної пари рядів після першої приймаємо згідно Шведського стандарту: 10 мс на 1 м ЛОПП для міцних порід; 30 мс на 1 м ЛОПП - для не міцних; 15 мс на 1 м ЛОПП - для всіх випадків.

Таблиця 1

Розрахунок інтервалів сповільнення

Коефіцієнт міцності	ЛОПП+ВМР, м	$V_n$ - швидкість прямої хвилі, м/мс	$t_1$ - час проходження прямої хвилі, мс	Відстань руху відбитої хвилі до нижнього торця зарядів, м	Довжина відбитої хвилі, м	$V_2$ - швидкість відбитої хвилі, м/мс	$t_2$ - час руху відбитої хвилі, м	$\Sigma/t_1+t_2$ , м/с	Сповільнення на номінали, мс
6	14	1,3	10,77	8,0	15	1,3	17,69	28,39	40-42
10	13,5	3,89	3,47	8,0	10	3,89	4,63	8,7	15-25
14	13,5	4,26	3,17	8,0	8	4,26	3,76	6,93	15-25

Це означає, що із початком злагодженого спрацювання зарядів у другому і першому рядах, і з переміщенням відбитого ними у просторі - формується місце, згідно Шведському стандарту, для розташування відбитого зарядами у наступних рядах; четвертому і третьому.

Якщо ЛОПП у кар'єрі Північний - 7 м, то помноження цього числа на 15 дасть нам 105 мс. Саме такий інтервал сповільнення (або ж трохи більший) повинен бути між спрацюванням двох пар рядів зарядів.

У вибуховому блоці може бути декілька пар рядів свердловин, працюючих аналогічно. Запропонована технологія отримала назву: диференційоване насичення гірських порід енергією вибуху.

Представлений спосіб диференційованого енергонасичення гірських порід вибухом, за рахунок двократності ударів по укусу уступу, спочатку прямою хвилею від заряду у другому ряду, а потім більш потужним ударом від заряду у першому ряду, дозволяє долати завищені значення ЛОПП до 13 м.

За умов значень ЛОПП 14-18 м пропонується застосування додаткових свердловин із зменшеними зарядами у них розташованих між першим і другим рядом свердловин, із порядком їх підривання, заряди: у другому ряду, у додатковій свердловині, у першому ряду.

Таке рішення забезпечує потрібний удар по укусу уступу і здолання великих значень ЛОПП. Два запропоновані способи є безсумнівно новими, простими у реалізації і, згідно діаграмі 1, охоплюють біля 92 % існуючих завищених значень ЛОПП.

Те, що не охоплене, може бути відпрацьовано за допомогою похилих свердловин зарядів, розташованих у першому ряду, а також збільшенням маси зарядів на 30 % у свердловинах другого й додаткового рядів.

**Висновки.** 1. Завищені значення опору перед першим рядом свердловин і підшви уступу - нагальні проблеми БВР у кар'єрах, які є результатом взаємодії хвиль прямої і відображеної з утворенням магістральної тріщини при першочерговому спрацюванні заряду у першому ряду.

Застосування наближених свердловин і груп зарядів у першому ряду виявилось неефективним методом здолання завищених значень ЛОПП.

Запропоновано починати підривання у вибуховому блоці із зменшеного заряду у другому ряду, а через сповільнення - у першому паспортної маси, що забезпечує розмежування взаємодії хвиль прямої і відображеної у просторі і часі, виключає утворення магістральної тріщини, покращує здолання ЛОПП, за умов зменшеної витрати ВР.

### *Список літератури*

1. Друкований М.Ф. Методи управління взрывом на карьерах. М.: Недра, 1973. - 416 с.
2. Фролов О.О. Керування енергетичними потоками при вибуховому руйнуванні різномісних масивів гірських порід на кар'єрах / Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Київ. 2014.
3. Ефремов Э.И. Подготовка горной массы на карьерах. - М.: Недра, 1980. - 272 с.
4. Ефремов Э. И., Петренко В.Д., Пастухов А. И. Прогнозирование дробления горных массивов взрывом / Отв. ред. Комир В.М.; АН УССР // Ин-т геотехнической механики. - Киев: Наук. думка, 1990. - 120 с.
5. Кузнецов В. М. Математические модели взрывного дела. Академия наук СССР, Сибирское отделение, Ин-т горного дела, Изд-во «Наука», Новосибирск, 1977. - 280 с.
6. Кутузов Б. Н., Рубцов Е. К. Физика взрывного разрушения горных пород / М., Учебн. пособие. - МГИ, 1973 рад. 1. - 120 с.
7. Кутузов Б. Н. Взрывные работы. - М.: Недра, 1988. - 392 с.
8. Кук М. А. Наука с промышленных взрывчатых веществах. - М.: Недра, 1980. - 453 с.9.
9. Бутько А. В. и др. Совершенствование скважинной отбойки. - М.: Недра, 1981. - 159 с.
10. Мельников Н. В. Краткий справочник по открытым горным работам. - М.: Недра, 1982. -414 с.

Рукопис подано редакції 27.03.17

УДК 57.044

Т.Ф. ЯКОВИШИНА, канд. сільгосп.-господ. наук, доц.  
ДВНЗ “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”

## ЕКОЛОГІЧНЕ НОРМУВАННЯ ПОЕЛЕМЕНТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ УРБООКОСИСТЕМИ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ЗА ФОНОВОЮ КОНЦЕНТРАЦІЄЮ

**Мета.** У статті проаналізовано існуючі в Україні та за кордоном підходи щодо нормування поелементного забруднення ґрунтів важкими металами за ГДК, концентрацією природного геохімічного фону, інтегральним показником біологічного стану, Soil Screening Value, показані їх переваги та недоліки. Актуальність даної роботи стосується пошуку показників характеристики екологічної небезпеки і розробки системи нормування забруднення ґрунту, як абіотичної складової будь-якої екосистеми, що зазнала антропогенного втручання в техногенно навантажених регіонах відносно важких металів. Гострота проблеми висвітлена на тлі урбоекосистеми, де функціонування промислових підприємств зумовлює створення урбанізованого геохімічного фону, котрий може перевищувати природний в декілька разів.

**Методи дослідження.** Надані вимоги щодо екологічних норм, які мають бути орієнтовані на вирішення завдань оптимального функціонування екологічних властивостей ґрунтів, забезпечення їх сталості, відновлення родючості, збереження земельних ресурсів шляхом мінімізації негативного впливу.

**Наукова новизна.** На прикладі м. Дніпро здійснена екологічна оцінка поелементного забруднення ґрунтів урбоекосистеми міддю за запропонованою системою нормування.

Змістовно обґрунтовано використовувати для екологічного нормування поелементного забруднення важкими металами ґрунту урбоекосистем концентрації їх природного геохімічного фону, як за валовим вмістом, так і за рухомими формами.

**Практична значимість.** Запропоновано при встановленні ступеня екобезпеки зважати також на вміст рухомих форм забруднювачів, як таких, що завдяки своїй мобільності здатні мігрувати трофічними ланцюгами в екосистемах. Визначено інтенсивність забруднення Cu ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро за валовим вмістом – як слабку та за рухомими формами – дуже сильну.

**Результат.** Встановлено, що підвищення рухомості, через втрату буферної здатності міськими ґрунтами, відбивається на невідповідності результатів оцінок за валовим вмістом і рухомими формами важких металів.

**Ключові слова:** важкі метали, мідь, ґрунт, забруднення, урбоекосистема, нормування.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Проблема пошуку показників екобезпеки і розробка системи нормування забруднення ґрунту - абіотичної складової будь-якої екосистеми, що зазнала антропогенного втручання набуває актуальності в техногенно навантажених регіонах відносно важких металів (ВМ) - хімічних елементів 1-3 класу токсичності. Особливо гостро проблема постає в урбоекосистемах, де функціонування підприємств зумовлює створення урбанізованого геохімічного фону, котрий може перевищувати природний. Екологічні норми мають бути орієнтовані на вирішення завдань оптимального функціонування екологічних властивостей ґрунтів, забезпечення їх сталості, відновлення родючості, збереження земельних ресурсів шляхом мінімізації негативного впливу на ґрунти [1]. Саме тому за умов низьких фонових концентрацій та високих значень ГДК виникає питання пошуку системи нормування для адекватної оцінки рівня екологічної небезпеки забруднення ґрунту.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Значення існуючих нормативів стосовно валового вмісту ВМ носить досить загальний характер, адже вони були розроблені для ґрунтів в цілому (ГДК) або для їх груп (ОДК) з подібними властивостями, котрі визначають їх стійкість до забруднення (вміст гумусу, гранулометричний склад, рН, тощо) [2,3]. Отже норматив ГДК повинен відбивати вище зазначені властивості [4,5], однак в дійсності цього не відбувається, приміром для всіх ґрунтів України (сірі лісні, дерново-підзолисті, чорноземи, каштанові) ГДК Cu для валового вмісту становить 55 мг/кг, у рухомих форм - 3 мг/кг [6].

В теперішній час розроблено декілька підходів щодо нормування ступеня забруднення ґрунту згідно емерджентної оцінки порушення його екологічних функцій, котрі він виконує в екосистемі, а саме: визначення небезпечної кількості хімічного елементу через зниження інтегрального показника біологічного стану [7], використання Soil Screening Value - нормативу якості, котрий регламентує рівень безпечного для людини вмісту ВМ [7, 9]. Проте встановлені за методиками [7-9] безпечні кількості ВМ майже не відрізняються від концентрацій природного геохімічного фону, адже в межах фонових територій за умов відсутності антропогенного нава-

нтаження на вміст хімічних елементів впливають геохімічні особливості покривних відкладень, різноманіття корінних порід, вміст органічної речовини, рН ґрунтового середовища, гідрологічний режим, інтенсивність промивання ґрунтового профілю, вміст високодисперсних мінералів [7]. Ще більше проблем постає при нормуванні забруднення рухомими формами ВМ, адже високобуферні ґрунти зазвичай характеризуються їх низькою забезпеченістю.

Нормування поелементного забруднення ґрунту ВМ, відправною точкою, якого, є концентрація, притаманна природному геохімічному фонові, досить успішно використовують В. В. Добровольський (1999)[10] та S. H. Rahman (2012)[11], деякі розбіжності мають тільки запропоновані ними шкали оцінки екобезпеки. Однак виникають деякі сумніви відносно відповідності одержаних результатів за валовим вмістом і рухомими формами. Крім того за умов значної строкатості забруднення урбоєкосистеми внаслідок антропогенного впливу постає потреба визначення його інтенсивності з урахуванням ареалів розповсюдження hot spots, що й було здійснено на прикладі м. Дніпро.

**Постановка завдання.** Мета роботи полягала в нормуванні поелементного забруднення ґрунту урбоєкосистеми м. Дніпро міддю відносно фонових концентрацій її валового вмісту та рухомих форм в зональному ґрунті з подальшим встановленням ступеня екологічної небезпеки за існуючими методиками.

**Методика досліджень.** Екологічну оцінку поелементного забруднення ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро Си проводили в мережі екомоніторингу [12]: розмір сітки (2×2 км), загальна кількість ключових ділянок відбору проб - 65, з яких за характером функціонального призначення припадало на промислову зону - 9, висотну забудову - 13, приватний сектор - 26, зелену (рекреаційну) зону - 17. Проби ґрунту відбирали методом конверту з глибини 0-10 см, репрезентативна проба складалася з 25 індивідуальних проб [13].

У відібраних зразках визначали валовий вміст Си атомно-абсорбційним методом після кислотної обробки ґрунту, а її рухомі форми - у витягу ААБ (рН 4,8) за стандартними методиками [14, 15]. Обробку одержаних результатів здійснювали методами математичної статистики [16].

Оцінку забруднення Си ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро проводили відносно природної флуктуації за вмістом кожної досліджуваної форми згідно коефіцієнту концентрації або аномальності за В. В. Добровольським (1999) ( $K_c$ ), використовуючи формулу (1) [10, 11]

$$K_c = C_p / C_\phi, \quad (1)$$

де  $C_p$  - вміст ВМ в досліджуваному ґрунті (мг/кг);  $C_\phi$  - фоновий вміст ВМ в зональному ґрунті (мг/кг).

Безпосередньо оцінку інтенсивності поелементного забруднення ВМ відносно природного геохімічного фону притаманного зональному ґрунту виконували, користуючись шкалою, запропонованою В. Б. Ільїним (1995) (табл. 1).

**Результати досліджень.** Серед джерел надходження Си в навколишнє середовище м. Дніпро з подальшим депонуванням в ґрунті слід особливо відзначити підприємства кольорової металургії, транспорт, зварювання, гальванізацію, спалювання палива, у кількості 13 із загальним викидом 2,061 т, що в становить на 1 км<sup>2</sup> близько 0,0015 т за даними Головного управління статистики в Дніпропетровській області.

Таблиця 1

Шкала інтенсивності забруднення ґрунтів ВМ відносно природного геохімічного фону, (В.В.Добровольський, 1999) [10]

Категорія інтенсивності забруднення	Коефіцієнт аномальності ( $K_c$ )	
	1	2
Природна флуктуація вмісту ВМ та окремі сигнали забруднення	< 5,0	< 1,0
Слабке забруднення	5,1-10,0	1,1-2,0
Помірне забруднення	10,1-30,0	2,1-6,0
Сильне забруднення	> 30,0	> 6,0

Примітка: 1 – за даними емісійної спектроскопії; 2 – за середнім значенням концентрації активних форм ВМ.

Оцінку поелементного забруднення ґрунтового покриву урбоєкосистеми м. Дніпро Си проводили враховуючи фактори територіального розповсюдження та інтенсивності надлишкових кількостей в кожній окремій hot spot за В. В. Добровольським (1999), (табл. 2).

Таблиця 2

Інтенсивність поелементного забруднення ґрунту ВМ з урахуванням розповсюдження [10]

Інтенсивність забруднення ( $K_c$ )	Метод визначення ВМ	Розповсюдження забруднення, % від загальної площі			
		< 1,0	1,0-4,9	5,0-20,0	> 20,0
Слабка	1	Н	Сл	Сл	П
	2				
Помірна	1	Сл	Сл	П	С
	2				
Сильна	1	Сл	П	С	ДС
	2				
Дуже сильна	1	П	С	ДС	ДС
	2				

Примітка: 1 – за даними емісійної спектроскопії; 2 – за середнім значенням концентрації активних форм ВМ; Сл – слабе забруднення; П – помірне забруднення; С – сильне забруднення; ДС – дуже сильне забруднення.

Валовий вміст міді в ґрунтах урбоєкосистеми м. Дніпро згідно  $K_c$  відносно природного геохімічного фону відповідав природній флуктуації з середнім перевищенням по районам до 2,7 разів (Чечелівський, Центральний), що зумовлювалось наявністю промислових зон (табл. 3).

Таблиця 3

Нормування поелементного забруднення Сu ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро відносно природного геохімічного фону за валовим вмістом

Адміністративна одиниця	Категорія забруднення ґрунту			
	природна флуктуація	слабка	помірна	сильна
Амур-Нижньодніпровський район	<u>1.03 (0.40-1.99)</u> 12	<u>7.17</u> 1		
Індустріальний район	<u>1.43 (0.50-3.27)</u> 5			
Новокодацький район	<u>1.91 (0.52-4.66)</u> 12			
Самарський район	<u>1.22 (0.24-2.78)</u> 8			
Соборний район	<u>1.27 (0.29-2.15)</u> 8			
Центральний район	<u>2.25 (1.17-2.90)</u> 3			
Чечелівський район	<u>2.69 (1.13-4.71)</u> 7	<u>5.55</u> 1	<u>27.23</u> 1	
Шевченківський район	<u>1.94 (0.78-4.76)</u> 7			
Лівобережжя	<u>1.17 (0.24-3.27)</u> 25	<u>7.17</u> 1		
Правобережжя	<u>1.95 (0.29-4.76)</u> 37	<u>5.55</u> 1	<u>27.23</u> 1	
м. Дніпро	<u>1.64 (0.24-4.76)</u> 62	<u>6.36 (5.55-7.17)</u> 2	<u>27.23</u> 1	

Примітка: чисельник – середнє значення та в дужках межі коливань в ґрунтах відповідної категорії забруднення; знаменник – кількість ключових ділянок відбору проб ґрунту.

Нормування вмісту Сu в міських ґрунтах відносно природного геохімічного фону, за розрахунком коефіцієнту концентрації, надало можливість встановити ступінь забруднення як слабку, частково помірну, в той час як на більшості території спостерігалась природна флуктуація з окремими hot spots в промислових зонах. Поодинокі hot spots, які відповідали слабкій та помірній категоріям забруднення ґрунту, були зафіксовані на лівобережжі в зонах впливу річкового порту Амур-Гавань та Дніпропетровського металургійного заводу ім. Комінтерну; на правобережжі в промисловій зоні ПАТ “Євраз ДМЗ”, на території Дніпровської залізничної станції, а також в Краснопіллі.

На периферії міста були виявлені процеси деконцентрації даного хімічного елемента в ґрунті на 14 ділянках території лівого берегу (Амур-Нижньодніпровський - 8, Індустріальний - 2, Самарський район - 4) та 8 - правого берегу (Новокодацький - 4, Соборний і Шевченківський

райони по 2), що пояснюється порушення ґрунтового профілю внаслідок будівництва, як приватного житла, так і високоповерхівок, а саме, недотриманням вимог охорони навколишнього природного середовища при проведенні земляних робіт, які окрім облаштування фундаментів також включають зняття родючого шару ґрунтового покриву, складування його в буртах під час процесу будівництва, а по закінченню розповсюдження по забудованій території з обов'язковим озелененням. Зменшення валової міді від 2 до 4 разів порівняно з фоною концентрацією на фоні погіршення водно-фізичних та агрохімічних властивостей негативно відбивалось на головній екологічній функції міських ґрунтів – забезпеченні елементами мінерального живлення рослин, що, в свою чергу, призводило до збіднення фітоценозів, а в деяких випадках майже їх повної відсутності.

Нормування забруднення ґрунту урбоекосистеми м. Дніпро згідно рухомих форм  $Cu$  за природним геохімічним фоном відносно зонального для Північного Степу України - чорнозему звичайного малогумусного важкосуглинкового надало зовсім інші результати (табл. 4), так переважаючою категорією забруднення була помірна - 27 ділянок та сильна - 26 ділянок відбору проб, що зумовлювалось окрім надходження міді у вигляді легкорозчинних сполук, також порушенням буферної властивості безпосередньо самого міського ґрунту, що полягала у закріпленні катіонів  $Cu^{2+}$  ГВК, органічною речовиною, тощо.

Таблиця 4

Нормування поелементного забруднення  $Cu$  ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро відносно природного геохімічного фону за рухомими формами

Адміністративна одиниця	Категорія забруднення ґрунту			
	природна флуктуація	слабка	помірна	сильна
Амур-Нижньодніпровський район		<u>1.50 (1.43-1.57)</u> 4	<u>3.36 (2.86-4.07)</u> 4	<u>45.58 (6.14-196.71)</u> 5
Індустріальний район	<u>0.79</u> 1		<u>2.83 (2.21-3.14)</u> 3	<u>9.00</u> 1
Новокодацький район			<u>4.65 (2.64-5.86)</u> 7	<u>23.87 (6.79-76.64)</u> 5
Самарський район	<u>0.21</u> 1	<u>1.54 (1.21-1.86)</u> 2	<u>4.50 (3.00-6.00)</u> 2	<u>6.98 (6.36-7.71)</u> 3
Соборний район	<u>0.79</u> 1	<u>1.21</u> 1	<u>3.93 (2.79-5.07)</u> 5	<u>8.64</u> 1
Центральний район			<u>2.29</u> 1	<u>10.86 (9.29-12.43)</u> 2
Чечелівський район			<u>5.00 (4.36-5.57)</u> 4	<u>58.93 (13.36-21.79)</u> 5
Шевченківський район		<u>1.86 (1.71-2.00)</u> 2	<u>5.00</u> 1	<u>8.40 (6.29-11.57)</u> 4
Лівобережжя	<u>0.50 (0.21-0.79)</u> 2	<u>1.51 (1.21-1.86)</u> 6	<u>3.44 (2.21-6.00)</u> 9	<u>28.65 (6.14-196.71)</u> 9
Правобережжя	<u>0.79</u> 1	<u>1.64 (1.21-2.00)</u> 3	<u>4.42 (2.29-5.86)</u> 18	<u>28.09 (6.29-76.64)</u> 17
м. Дніпро	<u>0.60 (0.21-0.79)</u> 3	<u>1.55 (1.21-2.00)</u> 9	<u>4.09 (2.21-6.00)</u> 27	<u>28.28 (6.14-196.71)</u> 26

Примітка: чисельник – середнє значення та в дужках межі коливань в ґрунтах відповідної категорії забруднення; знаменник – кількість ключових ділянок відбору проб ґрунту.

Висока буферність чорнозему звичайного відбивається на рухомості  $Cu$ , котра в нативних умовах становить 0,14 мг/кг, що складає 0,01 % від валу, втім як в умовах забруднення вона сягала до 29 % при перевищенні природного геохімічного фону за валовим вмістом більш ніж в 7 разів локально на лівобережжі. Природний ґрунт на досліджуваній ділянці, в районі Амур Гавань, майже не зберігся, за ґрунтовым профілем він представлений урбаноземом насипного типу, досить сильно розбавленого піщаними фракціями і включеннями природного та антропогенного походження, з накладанням викидів Дніпропетровського металургійного заводу ім. Комінтерну. Процеси деконцентрації рухомих форм міді були слабо виражені - 2 ділянки на лівобережжі та 1 на правобережжі м. Дніпро. Доцільно, реальний рівень забруднення встановлювати на вмістом рухомих форм, котрі здатні включатися в трофічні ланцюги і мігрувати в біоценозі [13], тому дана ситуація являє значну екологічну небезпеку для функціонування ур-

боекосистеми м. Дніпро і потребує за умов незначного перевищення фону до слабого та помірного рівня забруднення за валовим вмістом, впровадження міроприємств з фітостабілізації рухомості  $\text{Cu}$  за рахунок вирощування толерантних до забруднення рослин в поєднанні із заходами по хімічній детоксикації.

Визначення тільки валового вмісту не надає реальної картини спричиненої небезпеки для урбоекосистеми, що було встановлено на прикладі м. Дніпро, адже не враховується рухомість та потенційна доступність катіонів  $\text{Cu}^{2+}$  для кореневої системи рослин, отже можливість включення їх в трофічні ланцюги, крім того це в значній мірі утруднює вибір та подальшу ефективність міроприємств з детоксикації забруднених ґрунтів.

Картографування за коефіцієнтом концентрації надало змогу встановити інтенсивність розповсюдження забруднення за валовим вмістом  $\text{Cu}$  по території м. Дніпро як слабку та за рухомими формами – дуже сильну відповідно 3,6 % і 19,2 % від загальної площі міста.

**Висновки.** Змістовно обґрунтовано використовувати для екологічного нормування поелементного забруднення ВМ ґрунту урбоекосистем концентрації природного геохімічного фону, як за валовим вмістом, так і за рухомими формами. Запропоновано при встановленні ступеня екобезпеки зважати також на вміст рухомих форм забруднювачів, як таких, що завдяки своїй мобільності здатні мігрувати трофічними ланцюгами в екосистемах. Визначено інтенсивність забруднення  $\text{Cu}$  ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро за валовим вмістом – як слабку та за рухомими формами – дуже сильну. Встановлено, що підвищення рухомості, через втрату буферної здатності міськими ґрунтами, відбивається на невідповідності результатів оцінок за валовим вмістом і рухомим формами.

**Напрямок подальших досліджень** потрібно зосередити на розробці блоку оцінки в системі екологічного моніторингу, який би враховував нормування якості водно-фізичних і агрохімічних властивостей, показників поелементного та поліелементного забруднення ВМ, буферної властивості ґрунту, його фітотоксичності, що забезпечить дотримання норм екобезпеки стану урбоекосистем.

#### Список літератури

1. Концепція екологічного нормування допустимого антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив. – Харків, 2004. – 24 с.
2. Колесников С. И. Разработка региональных экологических нормативов содержания загрязняющих веществ в почвах юга России [Электронный ресурс] / С. И. Колесников, К. Ш. Казеев, Т. В. Денисова, Е. В. Даденко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 82 (08). – Режим доступа к журналу: <http://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-regionalnyh-ekologicheskikh-normativov-soderzhanija-zagryaznyayuschih-veschestv-v-pochvah-yuga-rossii>.
3. Мислива Т. М. Концептуальні засади здійснення екологічного нормування важких металів / Т. М. Мислива // Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. – 2012. – № 1, Т. 1. – С. 76–90.
4. Патица В. П. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель : метод.-норм. забезпечення / В. П. Патица, О. Г. Тараріко. – К.: Фітосоціоцентр, 2002. – С. 35–37.
5. Околелова А. А. Достоверность оценки загрязнения почв тяжелыми металлами [Электронный ресурс] / А. А. Околелова, Т. М. Минкина, А. С. Мерзлякова, В. П. Кожевникова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 101 (07). – Режим доступа к журналу: <http://cyberleninka.ru/article/n/dostovernost-otsenki-zagryazneniya-pochv-tyazhelyimi-metallami>.
6. Чернова О. В. Допустимые и фоновые концентрации загрязняющих веществ в экологическом нормировании (тяжелые металлы и другие химические элементы) / О. В. Чернова, О. В. Бекецкая // Почвоведение. – 2011. – №9. – С. 1102–1113.
7. Колесников С. И. Экологическое состояние и функции почв в условиях химического загрязнения / С. И. Колесников, К. Ш. Казеев, В. Ф. Вальков. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростиздат, 2006. – 385 с.
8. Carlon C. Derivation method of soil screening values in Europe / C. Carlon // A review and evaluation of national procedures towards harmonization. – European Commission: Joins Research Centre, 2007. – 306 p.
9. Swartjies F. A. Risk-based assessment of soil and ground-water quality in the Netherlands: standards and remediation urgency / F. A. Swartjies // Risk Analysis. – 1999. – V. 19. – №6. – P. 1235–1249.
10. Добровольский В. В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами / В. В. Добровольский // Почвоведение. – 1999. – № 5. – С. 639–645.
11. Rahman S. H. Assessment of heavy metal contamination of agricultural soil around Dhaka Export Processing Zone (DEPZ), Bangladesh: implication of seasonal variation and indices / S. H. Rahman, D. Khanam, T. M. Adyel, M. S. Islam // Applied sciences. – 2012. – № 2. – P. 584–601.
12. Балюк С. А. Ґрунтово-геохімічне обстеження урбанізованих територій / С. А. Балюк, А. І. Фатєєв, М. М. Мірошниченко. – Харків: ННЦ “ІГА ім. О.Н. Соколовського” УААН, 2004. – 54 с.
13. Яковичина Т. Ф. Екологічний моніторинг: контроль і детоксикація важких металів в ґрунтах урбоекосистем / Т. Ф. Яковичина. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2013. – 101 с.

14. **Методические** указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – Москва: 1992. – 61 с.

15. **Методи** аналізу ґрунту і рослин: методичний посібник / За заг. ред. **С.Ю. Булигіна**. – Харків: Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім. О.Н. Соколовського, 1999. – 157 с.

16. **Лакін Г. Ф.** Биометрия / **Г. Ф. Лакін**. – Москва: Высшая школа, 1990. – 351 с.

Рукопис подано до редакції 17.03.17

УДК 622.733-52

А.А. ЖОСАН, канд. техн. наук, доц., О.Л. ФЕДОРЕНКО, студент  
Криворожский национальный университет  
[e-mail: jaa2301@inbox.ru](mailto:jaa2301@inbox.ru)

## ДУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ПЕРЕВЕРНУТИМ МАЯТНИКОМ ЯК “ЧОРНИМ ЯЩИКОМ”

**Мета.** Проблема стабілізації перевернутого маятника привертає увагу багатьох дослідників з синтезу систем управління динамічними об'єктами. Його вважають одним з тестових об'єктів, на якому можна перевіряти якість систем управління об'єктами такими як: корабель з гвинтом, розташованим у задній частині, ракета, транспорт, що рухається за допомогою буксиру, механізми вертикального підйому, механізми роботів та ін. Існуючі роботи з даного напрямку базуються на лінійній концепції. Однак, більшість об'єктів є нелінійними та нестационарними. Тому такі методики не дають задовільного результату. Нейромережеві регулятори виявляються дуже громіздкими, потребують повторного тренування мережі. Метою даної роботи є розробка алгоритму стабілізації перевернутого маятника у верхньому нестійкому положенні та інших положеннях при різних початкових кутах відхилення. При цьому параметри та структура моделі маятника невідомі. Маятник розглядається як “чорний ящик”.

**Методи дослідження.** Методи дослідження ґрунтуються на концепції дуального непараметричного керування. На основі спостереження за об'єктом створюється розширена матриця стану, яка включає як керуючі дії так і реакцію на них. Ця матриця не містить і не потребує знання параметрів та структури об'єкта керування. Параметри матриці оновлюються на кожному кроці дискретності. За допомогою спеціального алгоритму обробки матриці одержується керуюча дія.

**Наукова новизна.** Наукова новизна полягає у тому, що шляхом чисельного моделювання з застосуванням концепції дуальної непараметричної моделі показана можливість стабілізації перевернутого маятника у різних положеннях (а не тільки у верхньому) при невідомих його параметрах.

**Практична значимість.** Отримані результати можна використати при створенні систем керування такими об'єктами як елементи роботи технічних систем, літальні апарати, буксири у системах водного транспорту. При цьому не виникає необхідність у вимірюванні та корекції параметрів регулятора при зміні параметрів об'єкта керування.

**Результати.** Одержані результати повністю підтвердили правильність обраного підходу щодо створення системи стабілізації руху перевернутого маятника у межах поставленої задачі. Особливо важливо, що вдалося досягти стабілізації горизонтального положення маятника при керуючій дії горизонтального напрямку.

**Ключові слова:** “чорний ящик”, розширена матриця стану, принцип суперпозиції, нейромережевих регулятор, рівняння Лагранжа, локальна модель, глобальна модель.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами.** Проблема стабілізації перевернутого маятника привертає увагу багатьох дослідників з синтезу систем управління динамічними об'єктами. Його вважають одним з тестових об'єктів, на якому можна перевіряти якість регуляторів. Цей об'єкт має ряд специфічних властивостей і пов'язаних з ними проблем:

- нелінійність математичної моделі;
- необхідність лінеаризації моделі і синтезу регулятора положення не для суто маятника, а для його моделі;
- наявність верхнього положення нестійкої рівноваги;
- проблема виводу маятника з нижнього положення стійкої рівноваги у верхнє положення (для цього у всіх відомих нам роботах, як правило, застосовується спеціальній окремий алгоритм);
- чутливість замкненої системи керування до змін параметрів;
- необхідність знання порядку та параметрів об'єкта керування.

В той же час перевернутий маятник треба розглядати як аналог важливих технічних систем. Можна назвати такі з них як: корабель з гвинтом, розташованим у задній частині, ракета, транспорт, що рухається за допомогою буксиру, механізми вертикального підйому, механізми роботів та ін.

**Аналіз існуючих наукових робіт.** Робіт, присвячених цій проблемі дуже багато. В цьому легко переконатися з літературних та Інтернет видань. У значній кількості робіт не приділяється уваги роботі об'єкта керування, параметри якого змінюються і не відповідають тим, які були враховані при синтезі регулятора. Тому у даному разі розглядаємо лише ті роботи, які допоможуть, з точки зору автора, розкрити проблеми, пов'язані з синтезом системи керування та порівняти підхід до проблеми, що використано у даній роботі.

У роботі [1] показано приклад керування нелінійним об'єктом (у тому числі на границі стійкості) без лінеаризації моделі об'єкта керування. При чому регулятор не містить інформації про структуру та параметри об'єкта керування. Такий підхід відомий, як керування «чорним ящиком». Регулятор, що буде далі наведено є нелінійним, що відповідає одному з принципів кібернетики: складність регулятора повинні бути не менше складності об'єкта керування.

У роботі [2] було проведено цікаве і важливе дослідження керування перевернутим маятником за допомогою нейро-мережевого регулятора. При чому після «тренування» регулятора параметри маятника змінювалися. Зміна маси маятника у межах 20% призводила до катастрофічної втрати властивостей процесу керування. Подібні експерименти не часто наводяться у наукових роботах.

У роботах [1,3,4] проаналізовані причини існування вказаних проблем та запропоновано шлях до їх послаблення. За основу прийнято дуальний (дуже відомий, запропонований Фельдбаумом О.О.), доповнений непараметричним підходом з відмовою від спроб одержання глобальних моделей об'єктів керування.

Для порівняння підходів до розв'язку проблеми за основу була взята модель маятника та метод синтезу регулятора [5]. Вибір саме цієї моделі маятника не суттєвий, оскільки практично всі роботи з цього циклу використовують метод рівнянь Лагранжа 2-го роду. Як буде показано далі, ні знання структури, ні параметрів об'єкта керування виявилось непотрібним для успішного керування процесом із застосуванням дуального непараметричного підходу.

Наукові положення, мета роботи, постановка задачі. Наукові положення. Робота базується на ідеї дуального керування, доповненій методами непараметричного моделювання «чорного ящика».

Мета роботи перевірити можливість дуального непараметричного регулятора стабілізувати положення нелінійного об'єкта у вигляді перевернутого або горизонтального маятника.

Завдання наукової роботи випробувати нелінійний дуальний непараметричний регулятор положення маятника у наступних режимах:

стабілізація вертикального положення маятника;

повторити експеримент, змінивши момент інерції маятника у 4 рази без змін налаштування регулятора;

стабілізація горизонтального положення маятника.

Дуальна непараметрична модель.

Основні засади синтезу непараметричного дуального регулятора [1].

Суть методу в наступному. На вхід об'єкта управління подаються керуючі впливи в ході нормальної його експлуатації. В результаті заповнюється розширена матриця виду

$$M = \begin{pmatrix} x_{n+1}^3 & x_n & u_n \\ x_n & x_{n-1} & u_{n-1} \\ x_{n-1} & x_{n-2} & u_{n-2} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де  $x_{n+1}^3$  - значення вихідної величини на  $(n + 1)$  "майбутньому" заданому інтервалі дискретності, це може бути задане бажане значення;  $x_n$  - значення вихідної величини на  $k$ -у інтервалі ( $k \neq n+1$ ), які були раніше реалізовані, виміряні;  $u_{n-1}$ ,  $u_{n-2}$  - значення управління на відповідних минулих інтервалах, виміряні і значить відомі;  $u_n$  - значення управління на  $n$ -у інтервалі (на якому здійснюється нове, розраховане) управління, що забезпечує на наступному

інтервалі задане значення виходу. На кожному наступному інтервалі рядки даних зміщуються униз (нижній рядок витісняється), а верхній рядок замінюється останніми даними.

Отже, завдання регулятора полягає по заданому значенню визначити відповідне управління  $u_n$ . Для вирішення цього завдання пропонується знайти невідоме управління, алгоритм визначення якого запропоновано [1] у вигляді

$$\det(M)=0. \quad (2)$$

Звідки

$$u_n = \frac{(x_{n+1}^3 \cdot x_{n-2} - x_{n-1} \cdot x_n)u_{n-1} + (x_n \cdot x_n - x_{n+1}^3 \cdot x_{n-1})u_{n-2}}{x_{n-2} \cdot x_n - x_{n-1} \cdot x_{n-1}}. \quad (3)$$

Очевидною відмінністю і цінністю такого регулятора є відсутність коефіцієнтів, пов'язаних зі структурою та коефіцієнтами моделі об'єкта, які треба визначати, а потім оптимізувати, як це досі прийнято у багатьох публікаціях. Однак очевидно, що матриця (1) і відповідне рівняння регулятора містять повну первинну та найбільш достовірну інформацію про об'єкт.

Необхідно особливо підкреслити, що регулятор (3) не містить конкретних параметрів об'єкта. Об'єкт керування існує об'єктивно незалежно від регулятора. Моделі маятника за класичними методами одержують часто з використанням методу рівнянь Лагранжа другого роду. Після чого одержані параметри моделі об'єкта включаються у модель регулятора. У нашому випадку ці параметри для моделі регулятора не потрібні, але сама модель об'єкта, яка існує об'єктивно і незалежно від регулятора і пов'язана з ним лише даними «вхід-вихід» необхідна. Для регулятора об'єкт залишається «чорним ящиком».

*Чисельна модель маятника.*

Для моделі маятника було взято рівняння, одержані у роботі [5]. Потрібно лише замінити диференціальне рівняння маятника на різницеве рівняння.

На рис. 1 показана схема маятника з [5], стор. 30. Керуюча дія  $u[k]$  прикладається до точки підвісу і направлена горизонтально.

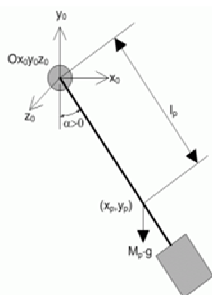


Рис. 1. Схема маятника

У табл. 1 наведено числові дані відповідних параметрів маятника

Далі у роботі [5], стор. 30 було виведено диференціальне рівняння руху маятника у вигляді

$$J_p \ddot{\alpha} + B_p \dot{\alpha} + M_p \cdot g \cdot l_p \sin \alpha = -u(t) \cdot M_p l_p \cdot \cos \alpha. \quad (4)$$

За початковий відлік візьмемо нижнє положення маятника  $\alpha=0$ , верхнє  $\alpha=\pi$ . Далі у чисельному експерименті кути будуть перераховуватися у градусах.

Таблиця 1

Основні позначення та числові величини [5], стор. 30

Позначення	Фізичний сенс величин	Значення	Сі
$M_p$	Загальна маса маятника (власна маса в сукупності з з'єднаннями)	0,027	кг
$l_p$	Відстань від центру мас маятника до осі обертання на верхньому кінці стрижня	0,153	м
$L_p$	Загальна довжина маятника	0,191	м
$g$	Гравітаційна стала	9,810	м/с <sup>2</sup>
$J_p$	Момент інерції маятника щодо осі обертання на верхньому кінці стрижня	$1,10 \cdot 10^{-4}$	кг/м <sup>2</sup>
$B_p$	Коефіцієнт в'язкого тертя маятника по $\alpha$	0,000	Н·м/(рад/с)

Оскільки грецький алфавіт у більшості мов програмування не використовується, введемо очевидні позначення і рівняння (4) представимо у вигляді

$$J_p \ddot{x} + B_p \dot{x} + M_p \cdot g \cdot l_p \sin(x) = -u(t) \cdot M_p l_p \cdot \cos(x)$$

Введемо коефіцієнти

$$A = \frac{B_p}{J_p}, \quad B = \frac{M_p \cdot g \cdot l_p}{l_p}, \quad C = \frac{M_p \cdot l_p}{l_p}. \quad (5)$$

Підставимо числові значення з табл. 1 з урахуванням відсутності в'язкого тертя ( $B_p=0$ , див. табл. 1) отримуємо

$$A = 0, B = \frac{0,027 \cdot 9,8 \cdot 0,153}{1,1 \cdot 10^{-4}} = 368.035, C = \frac{0,027 \cdot 0,153}{1,1 \cdot 10^{-4}} = 37,55$$

У нових позначеннях отримаємо рівняння

$$\ddot{x} = -A\dot{x} - B(x) - Cu(t \cdot \cos(x)).$$

Рівняння (3) запишемо в еквівалентній формі, що дозволяє застосування чисельних методів розв'язання з вибором інтервалу дискретності  $\Delta t$

$$\frac{d^2 x_1}{dt^2} = -A^* \frac{dx_1}{dt} - B^* \sin(x_1) - C^* \cos u(t)^*,$$

де -  $u(t)$  керуючий вплив, в якості якого обрана величина горизонтального прискорення точки підвісу.

Приведемо це рівняння до нормального форми Коші:

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2; \quad \frac{dx_2}{dt} = -A^* x_2 - B^* \sin(x_1) - C^* \cos(x_1) t \cdot u(t), \quad (6)$$

де  $x_1$  - кут відхилення маятника щодо верхнього (нестійкого) положення;  $x_2$  - кутова швидкість маятника;  $u(t)$  - керуючий вплив, в якості якого вибрано прискорення, точки підвісу вздовж горизонталі. По суті - це сила. Такі підходи загально прийняті.

Різницева форма системи (6) може бути отримана, наприклад у вигляді рівняння Ейлера при інтервалі дискретності  $\Delta t$

$$x_1[k+1] = x_1[k] + x_2[k] \cdot dt;$$

$$x_2[k+1] = x_2[k] - \left( A^* x_2[k] - B^* \sin(x_1[k]) - C^* \cos(x_1[k]) \cdot u[k] \right) \cdot dt.$$

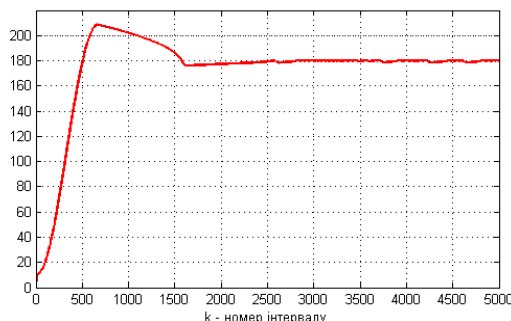
**Результати досліджень.** Були проведені чисельні дослідження стабілізації маятника у різних випадках. Початкове положення маятника було прийнято 10 град. Як правило у таких випадках, у тому числі [5], спочатку синтезують спеціальний алгоритм підйому маятника до положення, близького до верхнього. Далі синтезують регулятор верхнього положення у відповідності з лінеаризованою моделлю маятника.

У даній роботі:

алгоритм підйому виявився непотрібний, оскільки дуальний непараметричний регулятор (3) справляється з поставленою задачею;

непараметричний регулятор (3) одержано без використання лінеаризованої моделі маятника.

На рис. 1 показано процес стабілізації маятника у верхньому положенні (180 град.) з початкового значення 10 град. Параметри маятника взято із роботи [5]. Маятник знаходився практично у нижньому положенні. Верхнє положення впевнено утримується.



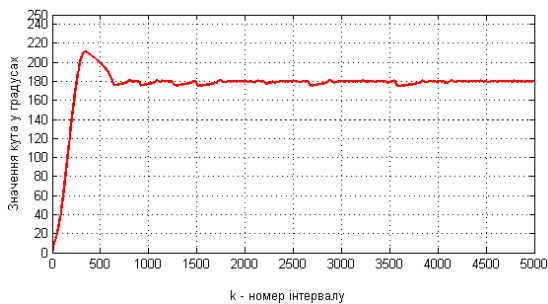
**Рис. 1.** Початкове відхилення 10 град., задане 180 град. (вертик. верхнє) параметри номінальні:  $B=37.555$ , інтервал дискретності 0,00025 с. Процес досяг заданого значення приблизно за 0,4 с. Спеціального алгоритму для попереднього підйому у верхнє положення не знадобилося

На рис. 2 показано процес стабілізації маятника, що відрізняється тим, що його момент інерції  $J$  (4) зменшено у 4 рази. Одночасно це означає прискорення процесів руху маятника. Регулятор залишався той самий, що у попередньому випадку. Додаткових налаштувань регулятора не знадобилося, оскільки ніяких коефіцієнтів він не містить.

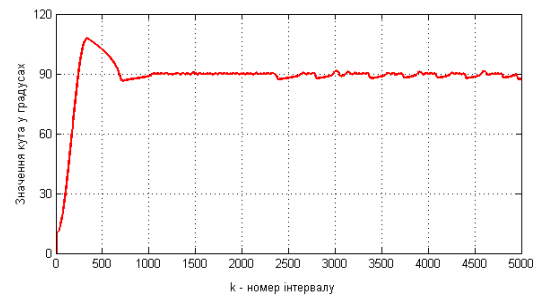
Результати стабілізації очевидно хороші.

На рис. 3 показано результати стабілізації маятника у горизонтальному положенні. Вважаємо, що це найважчий режим при зміщенні точки опори у горизонтальному напрямку.

Значення такого експерименту підкреслюється у роботі [6]. Показано, що академіком П.Л. Капицею запропоновано алгоритм стабілізації маятника у горизонтальному положенні, що досягається вібрацією його із частотою, що пов'язана з параметрами самого маятника.



**Рис. 2.** Початкове відхилення 10 град., задане 180 град. (вертик. верхнє) параметри збільшені у 4 рази:  $B=1472$ ,  $C=150,22$  (рівнозначно зменшенню моменту інерції у 4 рази), інтервал дискретності 0,00025 с. Процес досяг заданого значення приблизно за 0,2 с. Спеціального алгоритму для попереднього підйому у верхнє положення не знадобилося



**Рис. 3.** Початкове відхилення 10 град., задане 90 град. (горизонтальне) інтервал дискретності 0,00025 с. Процес досяг заданого значення приблизно за 0,2 с

У даному випадку регулятор (3) не потребує у своїй конструкції визначення такої частоти, забезпечуючи високу якість процесу стабілізації. Крім того, можна вказати, що деякі концептуальні питання дуального управління нелінійними системами розглядалися у роботах [7-15].

**Висновки.** На прикладі стабілізації перевернутого та горизонтального маятника підтвердилася ефективність застосування одного й того самого дуального непараметричного регулятора для випадку об'єкта [1] та маятника без зміни та налаштування параметрів регулятора.

Переваги регуляторів такого типу у тому, що вони не потребують знання параметрів та структури об'єкта керування, забезпечуючи ефективне керування «чорним ящиком».

#### Список літератури

1. А.А. Жосан Непараметрический регулятор нелинейных процессов / Вісник Криворізького національного університету, 2016. - Кривий Ріг: КНУ. - Вип. 42, . -С. 226-231.
2. С.С. Рюмкин, С.П. Круглов Вопросы управления робототехническими комплексами в условиях текущей неопределенности. / Научное творчество XXI века: Сборник трудов Ежегодной Всероссийской научной конференции учащихся, студентов и молодых ученых (2009). Т. 1. // Интернет-ресурс: <http://nkras.ru/nt/2009/Ryumkin.pdf>.
3. Жосан А.А. Концепція моделі динамічного об'єкта керування як потоку вхідних і вихідних даних / Вісник Криворізького технічного університету, 2008 // Кривий Ріг. - Вип. 22. - С. 154-157.
4. Anatoliy Zhosan, Sergey Lipanchikov. Numerical modeling of disintegration process dual control. Metallurgical and Mining Industry, 2015, No. 3, p.p 74-77.
5. Д.В. Баландин, С.Ю. Городецкй. Классические и современные методы построения регуляторов в примерах. Электронное учебно-методическое пособие / Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. С. 29-48.
6. Е. И. Бутиков. Маятник с осциллирующим подвесом (к 60-летию маятника Капицы). Интернет-ресурс: <http://butikov.faculty.ifmo.ru/Russian/ParamPendulum.pdf>.
7. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence // Lec. Notes in Math., 1981.V. 898. P. 366-381.
8. Wittenmark, B., 'An active suboptimal dual controller for systems with stochastic parameters', Automat. Control Theory Appl., 3,13-19 (1975).
9. Wittenmark, B. and C. Elevitch, 'An adaptive control algorithm with dual features', 7th IFAC/IFORS Symp. on Identification and Systems Parameter Estimation, York, U.K., 1985, pp. 587-592.
10. Filatov, N. and H. Unbehauen, 'Adaptive predictive control policy for nonlinear stochastic systems', IEEE Trans. Automat. Control, 40, 1943-1949 (1995).
11. Kalman R.Ye. Identification of systems with noise // Advances on mathematical science 1985. V. 40. № 4. 244 p.
12. Lindof, B. and J. Holst, 'Suboptimal dual control of stochastic systems with time-varying parameters', Technical report TFMS-3152, Department of Mathematical Statistics, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, 1997.
13. Kantz H., Schreiber T. Nonlinear time series analysis. Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
14. A. Banrejee and M. J. Nigam, "Designing of proportional sliding mode controller for linear one stage inverted pendulum," POWER ENGINEERING AND ELECTRICAL ENGINEERING, vol. 9, pp. 84-89, June 2011.
15. A. N. K. Nasir, R. M. T. R. Ismail, and M. A. Ahmad, "Performance comparison between sliding mode control (smc) and pd-pid controllers for a nonlinear inverted pendulum system," in International Conference On Control Automation, Robotics & Vision, 2010.

Рукопись постуила в редакцию 11.04.17

УДК 622.236-047.44:622.232.72

О. О. ВУСИК, аспірант, А. М. ПИЖИК, канд. техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## АНАЛІЗ СТАНУ І ПЕРСПЕКТИВ БЕЗВИБУХОВОЇ РОЗРОБКИ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИЙМАЛЬНО-НАВАНТАЖУВАЛЬНИМИ КОМБАЙНАМИ ФРЕЗЕРНОГО ТИПУ

**Мета.** На сьогоднішній час актуальним являється приділення уваги вивченню та дослідженню безвибухової розробки породного масиву в умовах залізорудних кар'єрів. Гірничодобувні підприємства перебуваючи в складних техніко-геологічних і гірничотехнічних умовах потребують нарощування об'ємів видобутку на значних глибинах, пошуку, дослідження і реалізації нових більш продуктивних технологічних схем виробництва.

**Методи.** Висвітлено аналіз стану і перспектив використання фрезерних комбайнів при відпрацюванні безвибуховим способом породних гірських масивів на кар'єрах шляхом обробки статистичних даних досвіду використання фрезерних комбайнів на гірничих підприємствах з метою визначення їх ефективності при розробці гірських порід. Проведено аналіз стану теоретичної і практичної ефективності перспектив використання безвибухового способу відпрацювання покладу гірських порід шляхом застосування гірничих комбайнів фрезерного типу. Розглянуто особливості руйнування гірських порід в залежності від фізико-механічних властивостей.

**Наукова новизна.** Виконано спробу обґрунтування способу використання фрезерних комбайнів при відпрацюванні гірських порід та їх ефективність, котрий дозволяє підвищити техніко-економічні показники роботи кар'єру. При адаптації безвибухової розробки породних масивів до діючої технології розробки родовища в умовах відпрацювання крутоспадних родовищ, що суттєво підвищує ефективність ведення відкритої розробки.

**Практична значимість.** Ефективність використання запропонованої технології розробки породних масивів на кар'єрах залежить від критеріїв оцінки вибору і застосування у відповідних умовах, оптимальної роботи виймально-навантажувальних комбайнів фрезерного типу на залізорудних кар'єрах та удосконалення технології розробки гірських порід. Гірничі комбайни фрезерного типу на сьогоднішній час можуть достатньо ефективно відпрацьовувати залізорудний масив з межею міцності на одноосьове стиснення до 80 МПа. В перспективі цей показник має тенденцію зростати.

**Результати.** Використання фрезерних комбайнів на залізорудних кар'єрах дає можливість ефективно відпрацьовувати тверді породи без попередньої підготовки порід до виймання вибухом. В перспективі пріоритетним напрямком являється оцінка механічного способу розробки гірських порід, підвищення ефективності його застосування, розробка технології відпрацювання залізорудних родовищ фрезерними комбайнами. Даний спосіб дозволяє підвищити техніко-економічні показники роботи кар'єру при адаптації безвибухової розробки породних масивів до умов відпрацювання крутоспадних родовищ, суттєво підвищити ефективність ведення відкритої розробки.

**Ключові слова:** масив, розробка, безвибуховий спосіб, фрезерний комбайн.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Сучасна ситуація вітчизняної гірничодобувної промисловості характеризується погіршенням гірничотехнічних умов видобутку, при одночасному зростанні енерговитрат та собівартості видобутку 1 т руди. Для зменшення собівартості видобутку руди зменшують коефіцієнт розкриття в наслідок чого консервується значна частина розкритих порід. Їх розконсервація буде вимагати значних інвестицій з тривалим періодом їх повернення при обмеженій ресурсній базі, значно погіршувати техніко-економічні показники розробки родовища.

Сучасний економічний стан гірничодобувної промисловості України потребує пошуку і освоєння нових технічних і технологічних рішень, котрі підвищать показники ефективності видобутку залізистих кварцитів [1].

Одним з напрямків вирішення даного питання є освоєння безвибухового способу розробки гірських порід із застосуванням виймально-навантажувальних комбайнів фрезерного типу. Останнє десятиліття проводяться наукові дослідження в напрямку механічного руйнування породного масиву з впровадженням у виробництво досягнутих результатів у вигляді рекомендацій і технологічних рішень.

Технічна можливість і економічна доцільність використання на кар'єрах різного виймально-навантажувального обладнання залежить від міцності порід, їх умов залягання, відповідної продуктивності однієї машини і кар'єру в цілому, виду механізації суміжних процесів (підготовка порід до виймання і транспортування гірської маси), кліматичних умов, способу виїмки (валової або селективної) та від інших факторів [4].

**Аналіз досліджень і публікацій.** Великий внесок у розвиток теорії і практики розробки гірських порід виймально-навантажувальними обладнаннями зробили багато вчених. Академік В.П. Горячкін показав, що сила різання (без втрат енергії на різноманітне тертя) пропорційна площині зрізу породної стружки, питомій протидії ґрунту різанню. Професор Н.Г. Домбровсь-

кий на основі багато чисельних експериментів встановив значення протидії різанню для різноманітних порід.

Щільність гірських порід визначає їх пористість, тріщинуватість, шаруватість. Ці фактори знижують протидію порід тертю, зчепленню, значно знижують міцність порід на розтягнення, вигинання і зсування. Міцність гірських порід залежить також від розмірів зерна, хоча і менш суттєво. Зі збільшенням розмірів зерна міцність гірських порід знижується, і навпаки дрібнозернисті гірські породи мають більш високу міцність [9].

Відомо, що гірські породи по різному протидіють руйнуванню в залежності від характеру прикладеного навантаження. Протидія гірських порід зрізу і відколу максимальна, а розтягненню і відриву – мінімальна. Однак практично у всіх виймальних машинах, за допомогою яких виконується екскавація, відділення породи від масиву засновано на зрізі і відколі різцем стружки певної товщини [8].

Розвиваючи теорію різання, Е.Р. Петерс вводить поняття про роботу підлягаючу втраті на перетворення одиниці об'єму породи в стружку і показує, що величина її залежить тільки від фізико-механічних властивостей породи. Роботи в області різання гірських порід дали можливість визначити зусилля, необхідні для робочих органів екскаватору та підійти обґрунтовано до створення раціональної форми ковша екскаватора.

Слід відзначити також роботи, що сприяли оптимальній організації екскаваторних робіт: професорів Е.Н. Барбот де Марні, П.І. Городецького і Е.Ф. Шешко та інших.

Декілька пізніше цьому питанню присвятили свої роботи І.П. Пономарев, А.І. Бунін, І.Р. Ворошилін, А.С. Фіделев та інші.

Над обґрунтуванням нових типів екскаваторів для гірничої промисловості багато працювали колективи інженерно-технічних робітників вугільної промисловості під керівництвом інженерів М.М. Соколовського, А.С. Чернегова, А.М. Шаркова, Ю.К. Бугославського, Ю.С. Подерні та інших, інженерно-технічні робітники кольорової металургії під керівництвом інженера А.І. Буніна і чорної металургії під керівництвом інженера С.М. Мелешкіна, а також колектив науково-дослідних робітників під керівництвом професора Н.Г. Домбровського.

Професором Н.Г. Домбровським запропонував розділити технологічний цикл роботи екскаватора на ряд операцій. Окрім цього була зроблена теоретична оцінка тривалості кожної операції і можливості їх поєднання.

Не менш важливий внесок у виявлення умов застосування колісних скреперів, бульдозерів і комбайнів зробили канд. техн. наук Ю.Б. Дейнего, А.Г. Даліна, А.І. Арсентьев, Н.Д. Аверін та інші. Було встановлено час сезону роботи гірничого обладнання при різних умовах застосування, заходи по його подовженню, вплив характеру порід на дальність перевезення, продуктивність устаткування [2]. Тривалі спостереження за роботою виймально-навантажувального обладнання дозволили виявити найбільш економічно доцільні технологічні схеми їх роботи при різних умовах застосування.

Серед різноманітних видів гірничого обладнання, яке використовується для розробки гірських порід на кар'єрах, на сьогоднішній час знаходить ефективне застосування виймально-навантажувальні комбайни фрезерного типу. Промислові випробування цих машин на кар'єрах Німеччини, Австралії показали їх достатню робочу спроможність і значну ефективність їх застосування в наслідок великої продуктивності, малої питомої енергоємності, простоти управління, відносно низької вартості обладнання.

Практичну цікавість представляє досвід роботи ряду закордонних рудників, котрі відпрацьовують крутоспадні родовища підземним способом поблизу рудних кар'єрів [5].

**Постановка задачі.** Аналіз літературних джерел і проектних розробок свідчить про високу ефективність відкритих гірничих робіт з використанням безвибухової розробки породного масиву з застосуванням механічного руйнування гірських порід та її великі технологічні можливості. Не дивлячись на свою беззаперечну ефективність, принцип механічного руйнування гірських порід не знайшов ще поширеного застосування в практиці відкритих гірничих робіт, що пояснюється недостатнім вивченням фізики самого процесу руйнування і його закономірностей, а також відсутністю ефективних технологічних схем розробки гірського масиву.

Робота присвячена аналізу і обґрунтуванню засад механічного способу руйнування гірських порід при відкритій розробці родовищ із застосуванням виймально-навантажувальних комбайнів фрезерного типу.

**Викладання матеріалу та результатів.** Сучасні комбайни відрізняються за принципом дії, конструкцією й розташуванням робочого органу. Вони виготовляються в Німеччині, США, Англії, Австралії, Японії та Швеції.

Комбайни з робочим органом у вигляді циліндричної фрези, розташованої в центрі в нижній частині опорної рами між передніми й задніми гусеницями. Фреза являє собою шнековий барабан, оснащений штировими зубцями, розташованими по гвинтовій лінії й армованими вставками з кобальт-вольфрамового твердого сплаву. Обертання фрези може здійснюватися як у напрямку руху, так і проти руху комбайну.

Кількість зубців, їх тип, відстань між ними залежить від фізико-механічних властивостей гірських порід, необхідного складу гірничої маси за крупністю й устанавлюються відносно конкретних природних умов родовища та міцності порід (табл. 1). Зруйнована гірська порода із середнім розміром куску до 300 мм конвеєром завантажується в транспортні засоби або в штабель уздовж смуги виймання, з якого гірнична маса навантажувачем або екскаватором завантажується в транспортний засіб.

Таблиця 1

Показники міцності деяких порід			
Гірська порода	Коефіцієнт міцності по М.М. Протодьяконова	Межа міцності на одноосьове стиснення, МПа	Контактна міцність, МПа
Гранітні породи. Дуже міцні пісковики та вапняки. Міцний конгломерат. Дуже міцні залізні руди.	8...10	80...120	1750...2450
Вапняки міцні. Неміцні граніти. Міцні пісковики. Доломіт.	6...8	70...80	1250...1750
Звичайний пісковик. Залізні руди.	5...6	50...70	900...1250
Піскуваті сланці. Сланцеві пісковики.	5	35...50	650...900

Найбільш відомі комбайни цього типу випускає німецька фірма «Віртген». Використовуючи досвід виготовлення дорожніх машин для фрезерування старого дорожнього покриття з бетону й асфальту, вони створили ряд комбайнів для кар'єрів із шириною фрези 1900-4200 мм, глибиною фрезерування за один прохід від 150 до 600 мм і теоретичною продуктивністю до 1700 т/год (табл. 2).

Таблиця 2

Продуктивність комбайнів Wirtgen (Віртген) в залежності від міцності порід (по матеріалам Wirtgen Group)							
Показники		Породи (відповідно до межа міцності на одноосьове стиснення, МПа)					
		м'які			тверді		дуже тверді
		<20	<40	<50	<70	<80	>80
Продуктивність, т/год (відповідно до моделі комбайна)	2200 SM	750	...	300	...	...	...
	2500 SM	1550	...	...	...	220	65
	3700 SM	2550	...	...	...	365	100
	4200 SM	3400	...	...	475	...	...

Термін служби комплексу різців при двозмінній роботі становить 2 місяці. Модель 4200SM/1600 оснащена автоматичною системою, що підтримує задану глибину різання. На різальному барабані розташовано датчики для виявлення відмінності між корисними копалинами й пустою породою, наприклад вугіллям і породним прошарком. Це дає змогу відрізнити кондиційну руду від некондиційної.

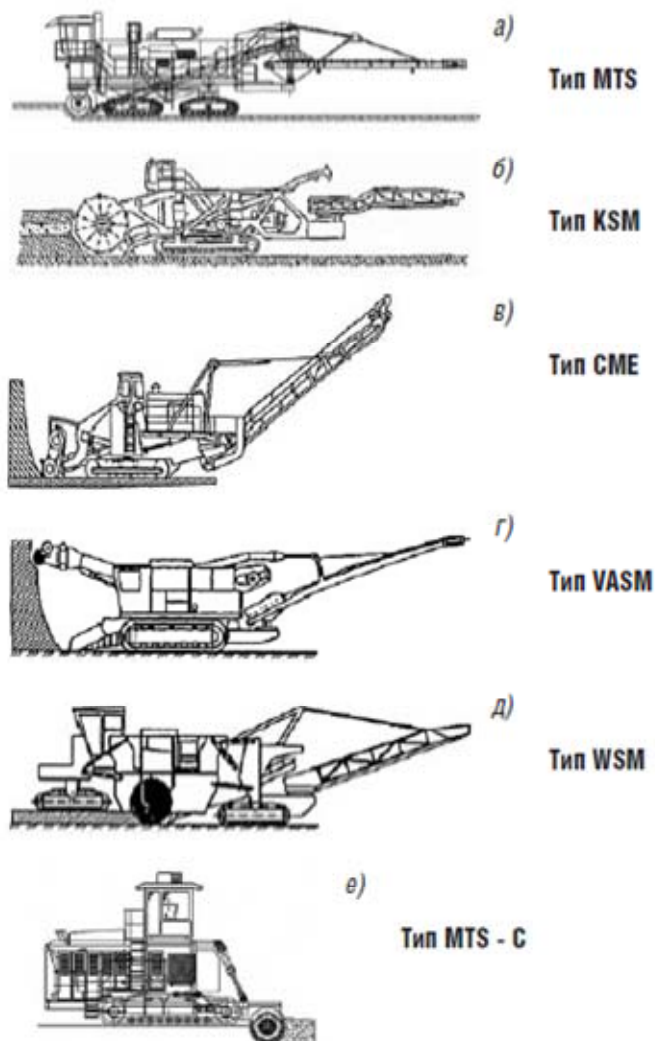
Слід відзначити, що на практиці контроль фактичних величин показників вилучення (втрата руди і її якості) і оцінка технічних і економічних наслідків для підприємств фактичних (отриманих в результаті контролю) величин показників вилучення руди і ефективності приймаючих технічних і технологічних рішень ведеться в строгій відповідності з «Інструкції по нормуванню показників вилучення руди по технічним, технологічним і економічним критеріям, їх прогнозування і врахування в процесі розробки родовищ» [6].

За даними фірми, комбайном більших моделей можна проводити роботи за наявності твердих вкраплень міцністю до 20 за шкалою проф. М.М. Протодьяконова.

Американська фірма «Х'юрон» випускає фрезерні комбайни, які використовуються для розробки щільних глин, сланців і угілля. Комбайни фірми EM-1224 відпрацьовують шар за товшки 0,6 м. Розташований у центрі машини барабан, оснащений різцями, відокремлює породу від масиву шляхом відколу під дією маси машини, подрібнює і передає її на навантажувальний конвеєр. Переміщується комбайн на чотирьох гусеницях, рівень яких установлюється гідроциліндрами. При роботі гусениці одного боку перебувають на поверхні шару, що відпрацьовується, іншого – на основі шару. При видобутку вугілля продуктивність комбайну складає 2360 т/год.

Модель «Юніматик» фірми «Юніт Клуно» (США) дозволяє відпрацьовувати шар гірських порід середньої міцності й вугілля 1,22-2,44 м по висоті й 4,6 м по ширині зі швидкістю 26,8 м/хв.

Фрезерні комбайни з переднім кріпленням робочого органу дозволяють розробляти масив гірських порід уступами заввишки 1,8-2,5 м, шириною захоплення 7,0-7,6 м і продуктивністю 550-2100 т/год (рис. 1).



**Рис. 1.** Принципові конструктивні схеми кар'єрних комбайнів: *a* – фрезерний фірми «Сі-Майнер»; *б* – роторний фірми «Саттервіт»; *в* – з консольним розташуванням робочого органу на рамі фірми «Рахко»; *г* – роздільно від приймального конвеєра-живильника фірми «Вест-Альпуне»; *д* – на рамі по центру кар'єрного комбайну фірми «Віртген»; *е* – у задній частині кар'єрного комбайну фірми «MAN TAKRAF»

Подібні комбайни серії «Континус Майнер» випускають німецькі фірми «Везерхютте» й «Порат». Різальний інструмент – різень зсувного типу, який зазвичай використовується в комбайнах для проведення підземних гірничих виробок. Тип і кількість різців на двосторонньому барабані встановлюється для конкретних порід.

Зрізана порода подається бічними частинами шнекового валика до середини робочого органу, звідки через отвір в упорному щиті надходить на навантажувальний конвеєр.

Робочий орган піднімається і за необхідності нахилиється в поперечному напрямку гідроциліндрами.

Передне розташування робочого органу дозволяє виконувати розробку горизонтів звичайною технологією – уступами, як і одноківшевою технікою, проходити траншеї, легко робити огляд стану робочого органу і заміну різців. Робота з конвеєрним транспортом забезпечує потокову технологію розробки

гірських порід середньої міцності [3].

Отже, ефективність використання гірничих комбайнів фрезерного типу в різноманітних умовах застосування, послідовність відпрацювання кар'єрного поля та інших факторів оптимальної і продуктивної роботи виймально-навантажувальних комбайнів може бути визначено на основі методичного підходу, який врахує всі позитивні і негативні наслідки їх роботи. На основі аналізу загальної моделі відпрацювання гірського масиву необхідно порівнювати всі можливі варіанти порівняння фрезерного комбайну і іншими видами виймально-навантажувального обладнання.

Повна собівартість видобутку 1 т корисної копалини при відкритих роботах складається із собівартості власне корисної копалини і собівартості виймання пустих порід, що видаляються для видобутку одиниці корисної копалини. Отже, повну собівартість видобування корисної копалини можна представити у вигляді формули, грн/м<sup>3</sup>

$$C = C_d + k C_p, \quad (1)$$

де  $C_d$  – собівартість видобутку корисної копалини без врахування розкривних порід, грн/м<sup>3</sup>;  $C_p$  – собівартість розкриву, грн/м<sup>3</sup>;  $k$  – коефіцієнт розкриву, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> [3].

Відомо, що економічні показники відкритих робіт залежать від капітальних витрат (витрати на підготовчі роботи, придбання і монтаж обладнання та ін.), експлуатаційних витрат (поточні витрати) і прибутку від реалізації (продажу) корисної копалини, що видобувається. Експлуатаційні витрати включають витрати на амортизацію, електроенергію матеріали тощо. Одним з ключових показників є також кількісна оцінка переміщених об'ємів розкривних порід та досягнутий рівень коефіцієнту розкриву [7].

Вирішальним фактором підвищення ефективності гірничих робіт на глибоких горизонтах кар'єрів, являється вибір найбільш оптимальних технологічних рішень, після ретельного аналізу техніко-економічних показників при порівнянні різних видів транспорту [11]. Що супроводжується розробкою ефективних технологічних схем роботи виймально-транспортного устаткування при раціональному виборі технологічних параметрів системи розробки.

Характерною особливістю крупних кар'єрів, за масштабами і технології робіт подібних залізородним кар'єрам Кривбасу, являється збільшення об'ємів розкриву до максимальних розмірів при визначеній глибині гірничих робіт. Для кар'єрів Кривбасу такою являється вже досягнута глибина 250-350 м, при якій робоча зона на поверхні досягає проектних контурів. В цих умовах сучасні способи і технологія відпрацювання кар'єрів постають недостатніми для стабілізації об'ємів розкривних робіт і не можуть в потрібній мірі вирішити економічні і екологічні проблеми відкритих гірничих робіт [10].

**Висновки.** Аналіз досвіду відпрацювання гірського масиву виймально-навантажувальними комбайнами фрезерного типу вказує на необмежену ефективність даної технології при відкритій розробці родовищ. В ній закладені значні перевагами у порівнянні з буро-вибуховим способом підготовки порід до виймання. Поряд з цим для її ефективного використання слід розв'язати комплекс питань стосовно її наступності та адаптації до гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов, що склалися у сучасних діючих кар'єрах при розробці крутоспадних родовищ.

#### Список літератури

1. **Вусик О.О.** Аналіз теоретичних основ застосування механічного способу розпушення гірських порід, котрий підвищує ефективність розробки залізородних родовищ / **О.О. Вусик, А.М. Пищик** // Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі: міжн. наук.-техн. інтер.-конф. – Кривий Ріг, 2016 – С. 81.
2. **Мельников Н.В.** Развитие горной науки в области открытой разработки месторождений / **Н.В. Мельников**. – М.: Углетехиздат, 1957. – 92 с.
3. Гірничі справа / **В.Г. Блізнюков, С.О. Луценко, А.М. Пищик** – 3-є вид., перероб. і доп. – Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О. – 2014. – 424 с., з іл.
4. **Технология, механизации и организация открытых горных работ / П.И. Томатов, И.К. Наумов**. – М.: Недра, 1986. – 312 с.
5. **Ступник Н.И.** Технология разработки рудных месторождений открыто-подземным способом / **Н.И. Ступник, Б.Н. Андреев, С.В.** // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, КНУ, 2012. – Вип. 33. – С.3-8.
6. **Колосов В.А.** Методы учета фактических величин показателей извлечения руды / **В.А. Колосов** // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, КНУ, 2012. – Вип. 33. – С.12-15.
7. **Темченко О.А., Вусик О.О.** Обгрунтування доцільності переходу від відкритого до підземного способу розробки родовищ корисних копалин / **О.А. Темченко, О.О. Вусик** // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, КНУ, 2012. – Вип. 33. – С. 294-297.
8. **Механика горных пород и устойчивость бортов карьеров Шапарь А.Г.** «Вища школа», К., 1973, с. 120.
9. **Комплексная разработка рудных месторождений / А.Д. Черных, В.А. Колосов, О.С. Брюховецкий и др.;** Под ред. А.Д. Черных. – К.: Техніка, 2005. – 376 с.
10. **Кумченко Н.Н.** Направления совершенствования технологии разработки вытянутых крутопадающих месторождений / Горный журнал. – М.: Недра, 1991. – Вип. 9. – С. 34-36.
11. **Гайсинский М.С.** Прогрессивные технические решения в проектах института / **М.С. Гайсинский, В.В. Шарин, В.Г. Драчев** // Горный журнал. – М.: Недра, 1991. – Вин. 8. – С. 6-9.  
Рукопис подано до редакції 17.03.17

УДК 621.22 (6.04)

О.М. ГОЛИШЕВ, д-р техн. наук, проф.,  
В.І. ДЕНЬГУБ, В.А. КОНОВАЛЮК, кандидати техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## ЕМПІРИКО-АНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ ГРАВІТАЦІЙНОЇ ШВИДКОСТІ ОСІДАННЯ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК

**Мета.** Вихідними даними для проектування і подальшої експлуатації систем вентиляції, аспірації, напірного і безнапірного гідротранспорту зернистих частинок є значення гравітаційної швидкості осідання (швидкості витання) в транспортних потоках. Через складну залежність коефіцієнта лобового опору частинок від числа Рейнольдса, яка визначається експериментально і подається в табличній або графічній формі, виникає необхідність проведення наближених розрахунків. Це створює певні незручності і потребує значного проміжку часу. Метою роботи є розробка зручного методу розрахунку гравітаційної швидкості осідання твердих частинок.

**Методи дослідження.** В роботі використано аналітичний метод дослідження, за допомогою якого встановлено математичну залежність між коефіцієнтом опору при русі частинок в рідині, числом Рейнольдса і гравітаційною швидкістю осідання.

**Наукова новизна.** Заміна табличної і графічної форми подання експериментальних даних емпіричною залежністю з подальшим використанням розрахункових параметрів з неперервною зміною розміру частинок і густини матеріалу.

**Практична значимість.** На основі проведених досліджень рекомендовано табличну або графічну форми експериментальних даних залежності коефіцієнта лобового опору ілюструвати емпіричною залежністю від чисел Рейнольдса. Вказано загальний вигляд емпіричної залежності, яку можливо застосувати для різних форм частинок подрібненого матеріалу. Використання емпіричної залежності в подальших розрахунках дозволяє аналітично розраховувати гравітаційну швидкість осідання частинок.

**Результати.** Рекомендований емпірично-аналітичний метод розрахунку дозволяє зменшити час розрахунків при більш широкому діапазоні зміни вихідних параметрів обчислень.

**Ключові слова:** Інженерна гідравліка, гравітаційне осідання частинок, метод розрахунку.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Кінцевою метою підготовки фахівців зі спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія» спеціалізацій «Теплогазопостачання і вентиляція» та «Водопостачання та водовідведення» є вміння проектувати і експлуатувати системи вентиляції, аспірації, безнапірного і напірного гідротранспорту на збагачувальних фабриках та комбінатах. Вихідними даними для ряду задач транспортування твердих частинок та оцінки інтенсивності їх осідання в потоках середовищ є визначення гравітаційної швидкості осідання в залежності від розмірів і форм частинок та густини матеріалу.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Питанню розрахунків гідравлічної крупності зернистих та шароподібних частинок присвячено цілий ряд досліджень [1-4,8,9,12-15]. Відомі як теоретичні, так і експериментальні залежності безпосереднього визначення гравітаційної швидкості осідання окремих видів зернистих частинок для обмеженого інтервалу зміни чисел Рейнольдса [5,6]. Але найбільш загальноновживаним і точним є метод послідовних наближень з використанням значень коефіцієнта лобового опору [5,7]. Через складну залежність лобового опору частинок різного виду відсутня універсальна аналітична залежність їх від чисел Рейнольдса.

**Постановка завдання.** Задачею цієї роботи є розробка аналітичного методу розрахунку гравітаційної швидкості осідання твердих частинок конкретного подрібненого мінералу або руди на основі використання експериментальних даних залежності коефіцієнта лобового опору від чисел Рейнольдса і представлення табличної і графічної форми у вигляді емпіричної залежності.

**Викладення матеріалу та результати.** Швидкість осідання частинок  $V_g$  розраховується за формулою, м/с

$$V_g = \sqrt{\frac{4(\rho_m - \rho)gd}{3\rho C_m}}, \quad (1)$$

де  $\rho_T$  і  $\rho$  – густина відповідно твердих частинок та середовища (повітря чи води),  $\text{кг/м}^3$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ;  $d$  – діаметр частинок,  $\text{м}$ ;  $C_T$  – коефіцієнт опору при русі частинок в рідині.

Формула (1) є рівнянням в неявному вигляді, так як коефіцієнт  $C_T$  залежить від швидкості  $V_g$ . Тому розв'язання рівняння (1) потребує застосування певних методів, наприклад методу послідовних наближень [7,8]. Для перетворення цього рівняння авторами проведені наступні дослідження.

При множенні лівої і правої частини на відношення  $(d/v)$ , де  $v$  – кінематична в'язкість середовища,  $\text{м}^2/\text{с}$ , отримано рівняння

$$\text{Re}_g = f[\rho_T, \rho, d, C_T(\text{Re}_g)] \quad (2)$$

Для його розв'язку в аналітичному вигляді необхідно було підібрати таку емпіричну залежність  $C_T(\text{Re}_g)$ , яка б дозволила отримати достовірний результат. Для твердих частинок правильної шароподібної форми Альтшулем А.Д. [5] запропонована залежність

$$C_T = 0,112 \left[ 1 + (1 + 214/\text{Re}_g)^{0,5} \right]^2 \quad (3)$$

Після підставлення значення  $C_T$  в залежність (2) і виконання необхідних перетворень, авторами отримано вираз для числа Рейнольдса, з врахуванням швидкості  $V_g$

$$\text{Re}_g = A^2 / (2A + 214), \quad (4)$$

де параметр  $A$  розраховується на основі вихідних даних

$$A = \frac{10,8d^{1,5}}{v} \left( \frac{\rho_T}{\rho} - 1 \right)^{0,5}. \quad (5)$$

Після обчислення  $\text{Re}_g$  гравітаційна швидкість осідання  $V_g$  визначається на основі залежності

$$V_g = v \text{Re}_g / d, \quad (6)$$

а коефіцієнт лобового опору  $C_T$  розраховується за формулою (3) на основі значення  $\text{Re}_g$ .

Для більш детальної перевірки метода розрахунку для подрібнених частинок була використана формула Клячко В.П. [2] залежності коефіцієнта лобового опору  $C_T$  від числа Рейнольдса

$$C_T = 24\text{Re}^{-1} + 4\text{Re}^{-1/3}. \quad (7)$$

Але через те, що її неможливо застосувати разом із залежністю (1), вираз (7) був трансформований у формулу яка подібна залежності (3) Альтшуля А.Д.

$$C_T = 0,112 \left[ 1 + (1 + 235/\text{Re}_g)^{0,5} \right]^2. \quad (8)$$

В табл. 1 наведено результати розрахунків за методом авторів на основі залежностей (3) та (8), а також визначена швидкість  $V_g$  за рекомендованою Гордоном Г.М. [3] формулою

$$V_g = \rho_m g d^2 (18\rho v)^{-1}. \quad (9)$$

Прийнявши  $g=9.81 \text{ Н/кг}$ ;  $\rho=1,2 \text{ кг/м}^3$ ;  $v=15,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  формула (9) спрощується і має вигляд

$$V_g = 3 \cdot 10^4 \rho_m d^2. \quad (10)$$

В табл. 1 також наведено значення швидкості вітання за номограмами [1].

Таблиця 1

Значення швидкості гравітаційного осідання частинок (швидкості вітання)  
при  $\rho=1,2 \text{ кг/м}^3$ ;  $v=15,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

Вихідні дані	Діаметр частинок d, мкм						
	10	20	50	100	150	200	250
	Густина матеріалу $\rho_T$ , $\text{кг/м}^3$						
	9000	6000	5000	4000	3000	2000	1500
Послідовність розрахунків	Значення швидкості вітання $V_g$ , $\text{см/с}$						
(3), (5), (4), (6)	3,2	10,0	38,0	101,0	146,0	156,0	167,0
(9), (5), (4), (6)	2,9	9,7	36,0	95,0	138,0	148,0	159,0
(10)	2,7	7,2	37,6	120,0	203,0	240,0	282,0
Графічний метод	2,5	7,0	32,0	62,0	82,0	84,0	88,0

Аналіз розрахунків показує, що для частинок малих діаметрів ( $d < 50$  мкм) запропонований авторами метод з використанням залежності Альтшуля і трансформованої залежності Клячко В.П. та графічний метод, дають майже однакові результати. Для частинок з діаметрами в інтервалі  $50 \div 250$  мкм спостерігається розбіжність в значеннях  $V_g$ , обчислених за емпірично-аналітичним методом авторів і графічним методом. Це пояснюється тим, що залежності (3) і (9) характеризують значення коефіцієнта  $C_T$  для частинок правильної кулеподібної форми. У номограмах не вказано, для якої форми частинок справедливі графічні залежності, тому вони дають розбіжність з графіко-аналітичним методом.

Залежність (10) в інтервалі  $d \in (10, 50)$  мкм також дає значення  $V_g$ , які дуже близькі з результатами емпірико-аналітичного та графічного методів. Але для діаметрів частинок  $d > 50$  мкм розрахунки за цією залежністю дають дуже завищені значення. Таким чином, залежність (10) можна використовувати як експрес оцінку швидкості  $V_g$  для частинок  $d \leq 50$  мкм.

В цілому для більш коректної оцінки швидкості  $V_g$  конкретної форми частинок при розмірах  $d > 50$  мкм слід використовувати експериментальні дослідження коефіцієнта лобового опору  $C_T$ , які потім замінити більш гнучкою емпіричною залежністю

$$C_T = 0,112 \left[ 1 + (a + b/Re_g)^{0,5} \right]^2 \quad (11)$$

Визначення параметрів  $a$  та  $b$  в емпіричній залежності (11) за експериментальними даними в матеріалах даної статті авторами не розглядається. Для їх знаходження рекомендується користуватися методиками, що викладені в довідниках з вищої математики [10,11].

В якості ілюстрації конкретного вигляду емпіричної залежності (11), авторами використана графічна залежність коефіцієнта  $C_T$  від числа Рейнольдса  $Re$ , що наведена в монографії Зегджа А.П. [6]. На основі цих даних отримано залежність (11) при визначених параметрах  $a=11$  і  $b=214$ , тобто

$$C_T = 0,112 \left[ 1 + (11 + 214/Re_g)^{0,5} \right]^2 \quad (12)$$

Вихідні графічні дані [5] та результат розрахунку за формулою (8), наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Графічні та емпіричні значення коефіцієнта лобового опору								
Число Рейнольдса $Re$	0,1	0,5	1,0	5,0	10,0	20,0	40,0	60,0
Коефіцієнт $C_T^{гр}$	за даними Зегджа А.П.							
	251,2	55,2	28,1	7,9	5,00	3,70	2,90	2,70
Коефіцієнт $C_T^e$	на основі розрахунків за формулою (12)							
	251,4	54,0	28,6	7,78	5,01	3,58	2,85	2,58
$\left( (C_T^{гр} - C_T^e) / C_T^{гр} \right) \cdot 100\%$	-0,08	2,17	1,78	1,52	-0,2	3,24	1,72	4,44

Аналіз результатів розрахунків, що викладені в табл.2., показує, що емпірична залежність (12) достатньо коректно характеризує експериментальні дані коефіцієнта. При цьому відносна похибка даних не перевищує 5 %, що дає можливість використовувати залежності (12) в подальших розрахунках.

Відповідно з вищевикладеним методом спочатку розраховується параметр  $A$  за формулою (5). На основі загального вигляду емпіричної залежності (11) після проведення необхідних перетворень отримано загальний розв'язок рівняння (2) з врахуванням залежності (11)

$$Re_g = -\frac{A+0,5b}{a-1} + \left[ \left( \frac{A+0,5b}{a-1} \right)^2 + \frac{A^2}{a-1} \right]^{0,5} \quad (13)$$

При значенні  $a=11$ ;  $b=214$ , розв'язок (13) приймає вигляд

$$Re_g = -\frac{A+107}{10} + \left[ \left( \frac{A+107}{10} \right)^2 + \frac{A^2}{10} \right]^{0,5} \quad (14)$$

Для порівняння результатів розрахунку за формулами (5), (14), (6) з даними інших авторів, нижче розглянутий наступний приклад.

*Приклад розрахунку.* Визначити швидкість осідання  $V_g$  для середнього діаметра частинок подрібненого матеріалу  $d=0,25 \cdot 10^{-3}$  м (250 мкм) густиною  $\rho_T=1800$  кг/м<sup>3</sup>, що осідають в водному середовищі  $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup>, з кінематичною в'язкістю  $\nu=1,0 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

Розрахунок.

1. За формулою (5) визначається параметр  $A$

$$A = \frac{10,8(0,25 \cdot 10^{-3})^{1,5}}{1,1 \cdot 10^{-6}} \left( \frac{1800}{1000} - 1 \right)^{0,5} = 38,18.$$

2. За формулою (10) обчислюється число  $Re_g$

$$Re_g = -14,52 + \left[ (14,52)^2 + 0,1 \cdot 38,18^2 \right]^{0,5} = 4,36.$$

3. На основі залежності (6) розраховується гравітаційна швидкість осідання  $V_g$  (гідравлічна крупність), м/с.

$$V_g = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 4,36 / (0,25 \cdot 10^{-3}) = 0,0174.$$

Результати розрахунку аналогічного прикладу, що наведений в джерелах [6,7], і який виконувався методом послідовних наближень, дають значення швидкості осідання  $V_{Г.К.} = 0,0182$  м/с.

Відносна похибка  $\delta$  розрахунків за методом авторів і методом послідовних наближень становить

$$\delta = \frac{V_{Г.К.} - V_g}{V_{Г.К.}} \cdot 100\% = \frac{0,0182 - 0,0174}{0,0182} \cdot 100\% \approx 4,18\%.$$

Відносна похибка розрахунків  $\delta = 4,18\%$  не перевищує граничне значення похибки для інженерних розрахунків  $\delta < 10\%$  і, навіть, менша. В зв'язку з цим запропонований авторами емпірично-аналітичний метод розрахунку швидкості гравітаційного осідання твердих частинок є достатньо коректним і може бути використаний як в учбовому процесі, так і в фаховій діяльності.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Складна залежність, яка подається в табличній або графічній формі, коефіцієнта лобового опору частинок від чисел Рейнольдса і необхідність використовувати цю залежність при розрахунках гравітаційної швидкості осідання вимушують використовувати метод послідовних наближень, що має певні незручності і потребує значні витрати часу.

Унаслідок проведених досліджень запропоновано експериментальну табличну або графічну залежність коефіцієнтів лобового опору від чисел Рейнольдса замінити емпіричною залежністю і вказано загальний вигляд такої залежності, що дозволяє в подальших розрахунках аналітичним методом розраховувати гравітаційну швидкість осідання частинок різноманітної форми.

Експериментальні дані, які отримані для частинок, що утворились при подрібненні певної гірничої маси, і які на основі рекомендацій авторів замінені емпіричною залежністю, дозволяють розширити діапазон розрахунків гравітаційної швидкості осідання як в газовому, так і в рідинному середовищі при неперервній зміні діаметрів і густини частинок, а також густини транспортного середовища.

### Список літератури

1. **Деньгуб В.І.** Алгоритм наближених розрахунків гідравлічної крупності зернистих зависів гідротранспорту // Науковий вісник будівництва. Х.: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2016. – № 3(85). – С. 171-173.
2. **Коузов П.А.** Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов – 3-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1987. – 263 с.
3. **Гордон Г.М.** Пылеулавливание и очистка газов / Г.М. Гордон, И.Л. Пейсахов. – М.: Металлургия, 1968. – 499 с.
4. **Криль С.И.** Напорные взвесенесущие потоки. – К.: Наукова думка, 1990. – 160 с.
5. **Альтшуль А.Д.** Гидравлические сопротивления – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Недра, 1982. – 224 с.
6. **Зегжа А.П.** Гидравлические потери на трение в каналах и трубопроводах – М.: Стройиздат, 1957. – 278 с.
7. **Константинов Ю.М.** Инженерна гідравліка / Ю.М. Константинов, О.О. Гіжа. Підручник для студентів ВНЗ – К.: Видавничий дім "Слово", 2006. – 432 с.
8. **Альтшуль А.Д.** Гидравлика и аэродинамика / А.Д. Альтшуль, П.Г. Киселев. Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1975. - 323 с.
9. **Гончаров В.Н.** Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеиздат, 1962, 374с.
10. **Алексеева І. В.** Довідник з вищої математики / І. В. Алексеева, В.О. Гайдей, О.О. Диховичний, Л.Б. Федорова. – Довідник. — К: НТУУ «КПІ», 2011. — 212 с.
11. **Валєєв К.Г.** Вища математика / К.Г. Валєєв, І.А. Джалладова: У 2 ч.– Ч.2. – К.: КНЕУ, 2002. – 451 с.
12. **Великанов М.А.** Динамика русловых потоков. 3 изд., т.1-2 – М.: Гостехиздат, 1954-1955г. – 646 с.

13. **Бызова Н.Л.** Экспериментальное исследования атмосферной диффузии и расчёты рассеивания примеси / **Н.Л. Бызова, Е.К. Гаргер, В.И. Иванов.** – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 280 с.
14. **Агроскин И.И.** Гидравлика – М.: «Энергия», 1964. – 352с.
15. **Левин И.И.** Динамика русловых потоков, 2 изд., – М.: Госэнергоиздат, 1957. – 224 с.

Рукопис подано до редакції 27.03.17

УДК 622.063.8

А.Л. ШИРИН, В.А. РАСЦВЕТАЕВ, кандидаты техн. наук, доц.,  
И.В. ИНЮТКИН, ассистент, ГВУЗ «Национальный горный университет»

## ОПЕРАТИВНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Цель.** Создание системы оперативно-производственного контроля технического состояния горнотранспортного оборудования шахт и карьеров для повышения его адаптационной способности в сложных условиях эксплуатации.

**Методы исследования.** Анализ и оценка показателей надежности основных агрегатов и узлов погрузочно-доставочных машин по частоте выхода их из строя и потребности запасных частей для ликвидации неисправностей. Формирование банка данных об условиях эксплуатации и показателей исправного состояния и нормального функционирования узлов и агрегатов.

**Научная новизна.** Координация предупредительных замен деталей и предотвращение крупных поломок в узлах и агрегатах достигается путем оперативного диагностирования и, имея достаточное количество статистических данных об отказах узлов и агрегатов погрузочно-доставочной машины, определяет зависимость потребности запасных частей по категории сложности их устранения с планируемым удлинением межремонтных периодов. Показателями, оценивающими надежность погрузочно-доставочной машины нового поколения, следует считать коэффициенты технического использования и снижения эффективности машины.

**Практическое значение.** Адаптация самоходного оборудования высокого технического уровня в специфических условиях шахты Новоконстантиновского месторождения и нерудных карьеров Украины, при соблюдении графиков технического обслуживания, позволит обеспечить оперативно-производственное определение технического состояния погрузочно-доставочных машин нового поколения и прогнозировать оптимальное функционирование технологических процессов добычи полезных ископаемых в сложных горнотехнических условиях эксплуатации.

**Результаты.** Установлено, что показатели надежности узлов и агрегатов погрузочно-доставочных машин нового поколения, определяются условиями их взаимодействия с характеристиками дорожного покрытия и элементами горных выработок. В этой связи исследования, направленные на установление рациональных параметров взаимодействующих элементов системы являются первоочередной задачей.

**Ключевые слова:** коэффициенты технического использования и снижения эффективности машины, транспортно-технологическая схема, техническое обслуживание, адаптация самоходного оборудования.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Современным курсом успешно развивающихся горнорудных предприятий, ведущих добычу полезных ископаемых подземным и открытым способами, является создание транспортно-технологических схем на базе применения оборудования, производства известных зарубежных фирм (Atlas Copco, Sandik, Volvo, JCB, Hitachi, Hyundai, Caterpillar). Типичными образцами такого оборудования, используемыми в горнодобывающих отраслях Украины, являются малогабаритные погрузочно-доставочные машины (ПДМ) для вывоза руды из очистных забоев и транспортирования ее по участковым выработкам, колесные погрузчики, мобильные дробильно-сортировочные комплексы, а также автомобили повышенной грузоподъемности.

Сравнительная оценка эксплуатационных параметров зарубежного самоходного оборудования, применяемого на отечественных предприятиях, с показателями работы аналогичных образцов за рубежом позволила выявить ряд проблем, характерных для предприятий использующих высокотехнологическое оборудование нового поколения. В процессе изучения причин нестабильной работы техники нового поколения (ТНП), факторы, определяющие те или иные проблемы, были систематизированы на технические, технологические и организационные.

К основным организационным факторам, влияющим на показатели работы горнотранспортного оборудования зарубежного производства, относятся ошибки по вине руководящего персонала. Например, отсутствие в учебных центрах предприятий и в системе профтехобразования программ специальной подготовки горнорабочих для изучения современных методов

диагностирования и обслуживания техники нового поколения, оснащенной автоматизированными системами управления технологическими процессами.

Технологические факторы, определяются особенностями эксплуатации транспортно-технологических схем в постоянно изменяющихся горно-геологических условиях конкретного предприятия и устанавливаются по результатам количественной оценки адаптационной способности применяемого оборудования в типичных, нетипичных и экстремальных ситуациях горного производства [1].

Технические факторы проявляются в результате несоблюдения или нарушения современных принципов диагностирования и оперативного анализа технического состояния горнотранспортного оборудования высокого технического уровня в процессе интенсивной его эксплуатации. Пример - технические ошибки обслуживающего персонала, обусловленные неправильной эксплуатацией горнотранспортного оборудования, т.е. при нагрузках больше допустимых.

Необходимо отметить, что отмеченные факторы в меньшей степени проявляются на рудных карьерах большой производственной мощности, где более 40 % транспортных процессов и операций выполняется с применением автомобилей повышенной грузоподъемности, техническое обслуживание и ремонт которых выполняют автотранспортные предприятия. Организация технического обслуживания в условиях автопредприятий базируется на применении системы планово-предупредительных ремонтов, в основу которой положен принцип принудительной замены узлов и деталей горнотранспортного оборудования в соответствии с установленным графиком. График и сроки замены планируются по результатам статистического анализа аварийных отказов с использованием методов и средств диагностирования. Однако даже на этих предприятиях в учебных центрах не формируются специальные группы для обучения приемам диагностирования техники нового поколения (ТНП).

**Анализ исследований и публикаций.** Проблемы повышения эффективности использования техники нового поколения в особой степени проявляются на предприятиях малой производственной мощности в структуре которых отсутствуют специализированные участки, оснащенные современными комплектами оборудования для выполнения диагностики того или иного вида транспорта. По этой причине при разработке месторождений нерудных полезных ископаемых затраты на транспортирование нерудного сырья составляют до 60% затрат на его добычу. Постоянное понижение глубины разработки приводит к увеличению протяженности трасс, изменению их профиля и высоты подъема горной массы. В результате несоблюдения условий эксплуатации технологического и транспортного оборудования значительную долю затрат на транспортирование добываемого сырья составляют затраты на техническое обслуживание и ремонт используемой техники. Например, в соответствии с действующими положениями о техническом обслуживании и ремонте карьерной техники, трудозатраты на выполнение плановых ремонтов в карьере колесных погрузчиков составляют около 40-50% всего объема технического обслуживания и ремонта [2].

Аналогичная ситуация наблюдается в условиях Новоконстантиновского рудника, где в участковых подземных выработках для вывоза руды из очистных блоков применяют колесные погрузочно-доставочные машины Atlas Copco «ST3.5». Отсутствие единой стратегии обслуживания зарубежной техники и технологии ее диагностирования с применением автоматизированных машинотестеров не позволяют реализовать потенциальные возможности погрузочно-доставочных машин нового поколения и способность их длительно работать без снижения эксплуатационных параметров в сложных условиях горного производства. Последнее обусловлено тем, что с появлением на предприятиях горнодобывающей отрасли техники нового поколения значительно увеличилась интенсификация производства. Поэтому, даже незначительные ее простои приводят к внушительным потерям добычи полезного ископаемого. В этой связи оперативный анализ технического состояния горнотранспортного оборудования, информация о режимах его работы в типичных и нетипичных производственных ситуациях, а также закономерности изменения частоты отказов за период эксплуатации оборудования и степень их тяжести приобретают особое значение.

**Постановка задачи.** Создание системы оперативно-производственного контроля технического состояния горнотранспортного оборудования шахт и карьеров для повышения его адаптационной способности в сложных условиях эксплуатации.

Идея работы заключается в использовании принципов автоматизированного сбора и обработки информации о техническом состоянии колесных погрузчиков для обеспечения оптимального функционирования технологических процессов добычи полезных ископаемых в условиях неопределенности.

**Изложение материала и результаты исследований.** Для достижения поставленной цели была выполнена оценка опыта эксплуатации горнотранспортного оборудования высокого технического уровня на предприятиях Восточного горно-обогатительного комбината, разрабатывающих урановое месторождение подземным способом, а также на нерудных карьерах Польши и Украины, добывающих сырье для производства строительных материалов с использованием колесных автопогрузчиков.

В качестве объектов исследования были выбраны транспортно-технологические схемы добычи полезных ископаемых (рис. 1) с использованием идентичных по функциональному назначению дизельных погрузочно-доставочных машин *а* и колесных автопогрузчиков *б*.



**Рис. 1.** Транспортно-технологические схемы добычи полезных ископаемых с использованием погрузочно-доставочных машин: *а* – погрузочно-доставочных машин в шахте; *б* – колесных автопогрузчиков в карьере

Предварительными исследованиями установлено, что нетипичные состояния горнотранспортного оборудования могут носить либо систематический, либо эпизодический характер [1]. Нетипичными состояниями транспортно-технологических схем, использующих оборудование повышенной адаптационной способности, принято считать совокупность показателей транспортного оборудования, характеризующих отказы системы и ее простои по причинам, зависящим и независящим от условий работы технологического оборудования.

В зарубежной практике добычи полезных ископаемых открытым способом, где автомобильный транспорт является одним из основных звеньев технологии, проверка технического состояния большегрузных автомобилей высокого технического уровня осуществляется с помощью бортовых систем диагностики, построенных на микропроцессорах. В процессе работы автомобиля такие системы позволяют обнаруживать неисправности, накапливать, регистрировать и передавать данные о причинах их возникновения.

На нерудных карьерах малой производственной мощности, ведущих добычу и переработку нерудного сырья для производства строительных материалов, по экономическим соображениям карьерная техника высокого технического уровня применяется реже. В подобных условиях эксплуатации горнотранспортное оборудование эксплуатируется до отказа, а его ремонт преимущественно проводится в условиях карьера.

С целью улучшения организации и качества работ по техническому обслуживанию и ремонту погрузочно-доставочных машин нового поколения была разработана программа и методика контроля технического состояния используемого самоходного горнотранспортного оборудования и проведения минимального объема ремонтов, обеспечивающих безаварийную работу в сложных условиях эксплуатации.

Сущность программы заключается в анализе и оценке показателей надежности основных агрегатов и узлов погрузочно-доставочных машин по частоте выхода их из строя и потребности запасных частей для ликвидации неисправностей. В соответствии с методикой исследований в процессе анализа показателей работы самоходного оборудования создавался банк данных об условиях его эксплуатации, описывались показатели исправного состояния и нормального функционирования его узлов и агрегатов, изучалась история возникновения и развития отказов. Программой исследований предусмотрено также, что накопленный банк данных предоставит возможность в дальнейшем определять на каком уровне эксплуатации погрузочно-доставочных машин целесообразно предупредить появление отказа в той или иной системе применяемого

оборудования. На рис. 2 приведена диаграмма распределения потребностей запасных частей для выполнения ремонтных работ погрузочно-доставочной машины ST3.5



**Рис. 2.** Диаграмма распределения потребностей запасных частей для выполнения ремонтных работ погрузочно-доставочной машины ST3.5

По результатам анализа данных, выполненных совместно со службой снабжения ГП «ВостГОКа» установлено, что более 50% потребностей в количестве запасных частей для проведения планового ремонта погрузочно-доставочной машины ST 3.5 приходится на гидравлическую систему. Это связано не только со сложностью самой системы и ее обслуживанием, но и с критическими условиями эксплуатации. На втором месте по потребностям

запчастей находится механическая передача, в которую были внесены запасные части с КПП, карданной передачи и мостов, а также ходовая часть машины, которая включает механизм передвижения и ведущие пневматические колеса с отдельными приводами.

Факторами, определяющими техническое состояние эксплуатируемого горнотранспортного оборудования, являются тип и характеристики системы неисправностей узла, наиболее часто встречающиеся при эксплуатации в типичных и нетипичных условиях, трудоемкость устранения отказа, доля трудоемкости устранения отказа узла в общем объеме текущего ремонта. По установленным таким образом типам и характеристикам неисправностей определяется выбор наиболее рациональных метода и средств технической диагностики колесных видов карьерного и шахтного автотранспорта. Используя зарубежный опыт диагностирования средств карьерного транспорта [3], разработана структура оценки технического состояния гидравлической и механической систем, а также кузовных частей погрузочно-доставочной машины Atlas Copco «ST3.5», которая приведена в табл. 1.

Таблица 1

Структура оценки технического состояния погрузочно-доставочной машины типа «ST3.5»

Оборудование	Системы, агрегаты, узлы	Виды и категории отказов	Основные причины	
Кузовные части	Рама	Передняя, задняя рамы	Нарушена параллельность осей, схождение колес	
		Шарнирный узел	Заклинивание пальца	
		Стрела	Износ пальцев, втулок	
	Колеса	Кабина	Стекла	Трещина или разбилась
		Диск	Лопнул или погнулся диск	Наезд на препятствие
			Шины	Износ или порез шины
Гидросистема	Система питания гидравлическим маслом	Гидравлический радиатор	Протечки гидравлической жидкости	
		Распределители	Заклинивание золотников, трещина корпуса	
		Главный гидравлический насос	Заклинивание, износ плунжеров, качающейся пластины	
		Рукава высокого давления	Протечки, перетерся или порвался рукав	
	Рулевое управление	Гидроусилитель руля	Заклинивание золотников, протекание	
		Гидроцилиндр поворота	Обрыв, задиры штока, не держит давления	
Механическая передача	КПП	Гидротрансформатор	Повышенные шумы, нагревание	
		Карданная передача	Вибрирование или постукивание, выход из строя крестовин	
	Мосты	Дифференциалы мостов	Повышенные шумы, нагревание	
		Полуось	Прокручивание в редукторе	
		Планетарный редуктор	Повышенные шумы, нагревание	

Для повышения эффективности предлагаемой методики диагностирования и технического обслуживания самоходного оборудования погрузочно-доставочная машина рассматривается как система, условно разделенная на взаимодействующие подсистемы (узлы, агрегаты). Характерные отказы узлов и агрегатов ПДМ были классифицированы по категориям сложности их устранения на легкие, средние и тяжелые. В качестве критерия оценки сложности были приняты время устранения отказов и количество рабочих, привлекаемых для их восстановления. Установление факторов, характеризующих отказы узлов, простои или отклонения в режимах работы погрузочно-доставочной машины при эксплуатации ее в реальных условиях, осуществлялось визуальными средствами диагностирования.

По результатам экспертной оценки режимов работы погрузочно-доставочной машины в реальных условиях эксплуатации к категории тяжелых отказов были отнесены длительные (более 1 часа) остановки транспортно-технологической системы рудника, требующие привлечения дополнительных ресурсов и высококвалифицированных специалистов или более двух рабочих для их ликвидации.

Следует отметить, что приведенные в табл. 1 виды и категории отказов, а также тяжесть их устранения отражают результаты трехмесячных исследований режимов работы погрузочно-доставочной машины Atlas Copco «ST3.5» в реальных условиях эксплуатации. Естественно, что такого объема информации недостаточно для разработки технологических указаний и требований к состоянию проверяемого агрегата, узла или элемента. Поэтому, для составления банка исходных данных, достаточных для оперативного принятия решений по диагностике технического состояния погрузочно-доставочных машин, совместно с компанией «РиноПарт» была разработана программа оперативного прогнозирования технического состояния шахтного и карьерного самоходного оборудования. Алгоритм программы позволяет получать у заказчика запасных частей дополнительные признаки неисправностей, то есть информацию о причинах выхода из строя узлов и деталей, историю развития отказов и тяжесть их устранения, а также прогнозировать дальнейшее поведение машины на уровне агрегата, узла или элемента.

Используя банк данных, приведенных в табл.1, а также принципы инженерной логики, применяемые в системе сервисного обслуживания и отраслевые методики выбора диагностических параметров для непрерывных объектов, представляемых логическими моделями, возможно в процентном отношении определить степень отказа  $k_o$  погрузочно-доставочной машины, который равен

$$k_o = \frac{\sum n_i}{N} 100\%, \quad (1)$$

где  $n_i$  – число отказов данного вида оборудования;  $N$  - число отказов всех видов оборудования.

Процент отказов позволил выявить наиболее ненадежные агрегаты и системы обслуживаемого оборудования. К ним относятся кузовные части ( $k_o=4,42$ ), системы двигателя ( $k_o=5,18$ ); механическая передача ( $k_o=5,84$ ); гидравлическая система ( $k_o=7,56$ ).

Для погрузочно-доставочной машины трудоемкость устранения отказов гидравлического оборудования и механической системы составляет около 30%, а кузовных частей и металлоконструкций более 12%. Результаты обработки статистических данных позволили сформировать для каждого агрегата и узла ПДМ алгоритмы поиска характерных неисправностей.

Показателями, оценивающими надежность погрузочно-доставочной машины нового поколения, следует считать коэффициенты технического использования  $k_u$  и снижения эффективности машины  $k_s$ .

Соответственно с комплексной программой исследований параметров ПДМ и колесных погрузчиков, указанные коэффициенты определяются по результатам типовых испытаний их в реальных условиях шахты или карьера и используются для установления эксплуатационной производительности машин нового поколения:

$$k_u = \frac{t_o + t_b}{t_{по}}, \quad k_s = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{пз} + t_k)}{T}, \quad (2)$$

где  $t_o$  - основное технологическое время, в течение которого осуществляется погрузка, мин;  $t_b$  - вспомогательное технологическое время, необходимое для осуществления безостановочной

работы машины, мин;  $t_{по}$  - продолжительность цикла или смены, мин.  $t_{пз}$  - подготовительно-заключительное время, мин;  $t_k$  - время простоев по причинам, зависящим от конструкции и качества машины (ремонт, регулировка, наладка), мин;  $T$  - время наблюдений, мин.

$$T = \sum_{i=1}^n (t_{пз} + t_o + t_b + t_k), \quad (3)$$

где  $n$  – число хронометрируемых смен.

Среднее время восстановления работоспособности машины, мин.

$$T_b = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n (t_k)_i, \quad (4)$$

где  $m$  - количество неисправностей за время испытаний;  $(t_k)_i$  – время устранения  $i$ -ой неисправности, мин.

Имея достаточное количество статистических данных об отказах узлов и агрегатов погрузочно-доставочной машины с помощью стандартных программ можно теоретически определить закон распределения того или иного отказа и прогнозировать время восстановления ПДМ. Координация числа предупредительных замен деталей и предотвращение крупных поломок в узлах и агрегатах путем оперативного диагностирования снижает затраты на приобретение запасных частей и материалов. Экспериментально установлено, что практически все показатели надежности узлов и агрегатов погрузочно-доставочных машин нового поколения, отмеченные на диаграмме (рис. 2), определяются условиями их взаимодействия с характеристиками дорожного покрытия и элементами горных выработок. В этой связи исследования, направленные на установление рациональных параметров взаимодействующих элементов системы являются первоочередной задачей.

Следует отметить, что на зарубежных рудниках и карьерах большой производственной мощности для поддержания исправного состояния самоходного оборудования высокого технического уровня созданы и широко применяют автоматизированные системы управления технологическими процессами, а также бортовые системы диагностирования, технического обслуживания и ремонта. Адаптация подобных систем в специфических условиях шахты Новокопанинского месторождения и нерудных карьеров Украины, при соблюдении графиков технического обслуживания, позволит обеспечить оперативно-производственное определение технического состояния погрузочно-доставочных машин нового поколения и прогнозировать оптимальное функционирование технологических процессов добычи полезных ископаемых в сложных горнотехнических условиях эксплуатации.

#### Список литературы

1. **Ширін Л.Н., Інюткін І.В.** «Особенности формирования транспортно-технологических систем подземных рудников с учетом адаптационных возможностей самоходного оборудования// Науковий вісник. – 2009. – №9. – С. 66–68.
2. **Ширин А.Л.** Транспортные проблемы производительной работы подготовительных забоев и перспективы их решения / А.Л. Ширин, Л.Н. Посушко, В.А. Расцветаев // Materiały Krakowskiej konferencji młodych uczonych. – Kraków: PATRIA, 2011. – P. 505 – 512.
3. **Artem Shyrin.** Informatywne wskaźniki niezawodności pracy schematów technologicznych transportu wspomagającego podczas drążenia wyrobisk przygotowawczych// Conference proceedings Krakow conference of young scientists, September 26–28, 2013, Grupa Naukowa Pro Futuro, Krakow: PATRIA. P. 83–87.
4. **А.В. Денищенко, О.О. Юрченко** «Совершенствование транспортных комплексов гранитных карьеров» [Электронный ресурс]: irNMUU Institutional Repository National Mining University of Ukraine // Персональні колекції підрозділів та співробітників. – 2013. – Режим доступу: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/1580>.
5. Положение о техническом обслуживании и ремонте карьерных автомобилей БелАЗ грузоподъемностью 75 т и более. – ИГД им. А.А.Скочинского, 1985.
6. **К.Р.Монсини** Фирма «Катерпиллар» – концепция технического обслуживания горных машин// Горный журнал, – 1998. – № 11-12, С. 66-69.
7. **J. Farrell, T. Givargis,** Differential GPS reference station algorithm - Design and analysis. Ieee Transactions on Control Systems Technology, 2000. 8(3): p. 519-531.
8. **К.Ч.Кожоголов, Н.А. Калдыбаев** «Проблемы освоения малых месторождений нерудных строительных материалов КЫРГЫЗСТАНА» // Современные проблемы механики сплошных сред – 2010 г. – Вып.№12, стр.27-32.
9. **А.В. Денищенко** «Повышение эффективности шахтного вспомогательного транспорта» // Науковий вісник НГУ. – 2007. – №10. – С. 21 – 26.
10. **К.Р.Монсини** Фирма «Катерпиллар» – концепция технического обслуживания горных машин// Горный журнал, – 1998. – № 11-12, С. 66-69.

Рукопись поступила в редакцию 04.04.17

УДК 622.834: 622.862.3

И.В. ИОРДАНОВ, канд. техн. наук, Д.А. ЧЕПИГА, аспирант,  
Н.Н. ВЛАСЕНКО, канд. техн. наук, С.В. ПОДКОПАЕВ, д-р техн. наук,  
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» МОН Украины, г. Покровск

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ БОКОВЫХ ПОРОД ПРИ ДЕЙСТВИИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

**Цель.** Целью данной работы является изучение движения боковых пород при действии динамических нагрузок, проявляющихся в результате обрушений кровли разрабатываемого угольного пласта, с учетом особенностей проявления горного давления в углепородном массиве, вмещающем горные выработки.

**Методы исследований.** Для изучения особенностей опасных проявлений горного давления в углепородном массиве, вмещающем горные выработки, были проведены лабораторные эксперименты на моделях из оптически чувствительных материалов и аналитические исследования, с привлечением основных положений прикладной механики, теории упругости и теории колебаний.

**Научная новизна.** В результате проведенных исследований впервые установлено, что при обрушении боковых пород в горную выработку и их соударении с породами непосредственной кровли, представленных в виде длинной балки, величина ударного импульса не зависит от массы ударяемого тела и не изменяется при постоянных значениях скорости и массы обрушившихся пород. В таких условиях, при расчете на устойчивость пород непосредственной кровли, критическая нагрузка всегда подобна разрушающей при расчете балок на изгиб.

**Практическое значение.** Рекомендуется, при разработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях, для предотвращения аварийных ситуаций от действия динамических нагрузок и повышения безопасности труда горнорабочих, ориентироваться на способ управления кровлей – закладкой выработанного пространства.

**Ключевые слова:** оптические материалы, динамическое напряжение, колебания, ударный импульс, критическая нагрузка, управление кровлей.

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** Общеизвестно, что при добыче полезных ископаемых в подземных условиях приходится считаться с целым рядом факторов, приводящих к повышенной опасности для людей и объектов. Опыт работы шахт Донбасса показывает, что с ростом глубины горных работ в углепородном массиве начинает проявляться такой негативный фактор как расслоение боковых пород, оказывающий существенное влияние на состояние горных выработок и приводящий к возможному травматизму, в результате обрушений нарушенной толщи пород. В реальных условиях разработки угольных пластов, подработанные и расслоившиеся породы основной кровли, оседающие на хаотически обрушенные слои непосредственной кровли, представляют собой блочный массив, состоящий из балок различной длины. Причем породы кровли, представленные в виде породной консоли, одновременно изгибаются и неконтролируемо перемещаются позади очистного забоя, создавая неблагоприятную геомеханическую обстановку в углепородном массиве, вмещающем горные выработки. Внезапность возникновения таких ситуаций содействует проявлению динамических нагрузок на породы кровли и почвы разрабатываемого пласта, обрушению и возможному завалу горных выработок.

**Анализ исследований и публикаций.** Изучение особенностей проявления горного давления в выработках на большой глубине [1] позволило установить, что характер его опасных проявлений определяется не только напряженным состоянием массива горных пород и их физико-механическими свойствами, но и спецификой формирования последнего, обусловившей неупругое деформирование при объемном сжатии, а так же способность деформироваться и разрушаться при разгрузке.

Как показало изучение процесса сдвижений и деформаций боковых пород [2], в зависимости от горно-геологических условий, зона расслоения боковых пород составляет по нормали к напластованию, в кровлю и почву разрабатываемого пласта, 4-8 м. Негативные последствия такой геомеханической обстановки могут проявляться в том, что расслоившиеся породы обрушаются и неконтролируемо перемещаются по длине лавы разрабатываемого угольного пласта. Характерной особенностью проявляющихся в подобных условиях динамических нагрузок, являются нестационарные колебания боковых пород [3]. На динамику и параметры такого процесса, в значительной степени влияет способ управления кровлей в лаве и охраны горных выработок.

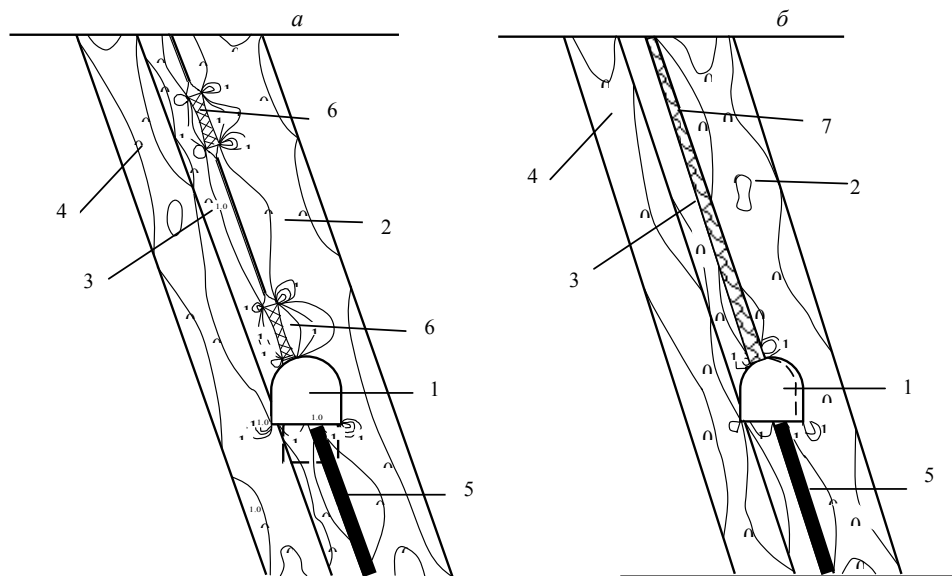
**Постановка задания.** Для изучения движения боковых пород при действии динамических нагрузок, проявляющихся в результате обрушений кровли разрабатываемого угольного пласта, были изучены особенности проявления горного давления в углепородном массиве, вмещающем горные выработки, с использованием лабораторных экспериментов и аналитических исследований.

**Изложение материала и результаты.** Исходя из задачи исследований, для изучения состояния боковых пород при различных способах управления кровлей и охраны штреков, нами были выполнены лабораторные исследования на моделях из оптических материалов. Исследования проводились на экспериментальных моделях, в которых моделируемая глубина принималась равной  $H=800$  м и  $H=1200$  м, угол падения пласта, соответственно,  $\alpha=10^\circ$  и  $\alpha=60^\circ$ , мощность пласта  $m=1,0$  м. Мощность пород непосредственной почвы в случае крутого залегания пласта, составляла 2 м, основной кровли - 3 м, а пород кровли - 4 м. При пологом залегании угольного пласта, мощность пород непосредственной кровли и почвы составляла 4 м. При этом породы кровли и почвы по своим свойствам соответствовали породам типа глинистый сланец средней устойчивости. В качестве оптически чувствительного материала использовали игдантин. Моделирование выполнялось в соответствии с рекомендациями [4,5].

При решении рассматриваемой задачи с помощью оптического метода, нами была установлена исходная картина распределения напряжений в массиве, которая формируется во вмещающих породах в первый период времени после выемки угля. Результаты моделирования представлены на рис. 1а,б.

На рис. 1 изображены изолинии главных касательных напряжений в углепородном массиве при крутом залегании угольного пласта с подготовительной выработкой, охраняемой накатными кострами из шпал при способе управления кровлей в лаве удержанием на кострах (а) и охране штрека широкой податливой опорой, в виде закладки выработанного пространства (б).

Как видно из рис. 1а при способе управления кровлей удержанием на кострах, в окрестности штрека максимальная концентрация напряжений приурочена к области изгиба породных слоев. Породы кровли и почвы изгибаясь, обгрызают оставленные над штреком охранные сооружения. Очевидно, имея ограниченную податливость (до 10%) и малые размеры (в натуре  $2,0 \times 2,0$  м), накатные костры выполняют роль опоры в окрестности которой концентрируются напряжения. Причем, расстояние между опорами и их податливость, определяют величину касательных напряжений в боковых породах из-за неравномерного изгиба породных слоев.



**Рис. 1.** Статическое поле касательных напряжений на глубине 1200м в окрестности подготовительной выработки с крутым залеганием угольного пласта при способе управления кровлей: а - полным обрушением; б - закладкой выработанного пространства. 1 – подготовительная выработка; 2 – кровля угольного пласта; 3 – непосредственная почва; 4 – основная почва угольного пласта; 5 – угольный пласт; 6 – накатные костра из шпал; 7 – закладочный массив – широкая податливая полоса

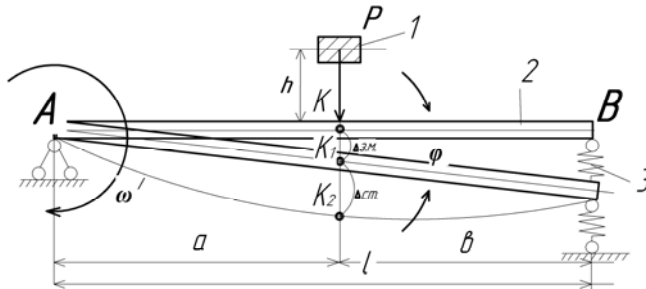
Совершенно иная исходная картина распределения напряжений в углепородном массиве имеет место при наличии в окрестности штрека податливой опоры, представленной в виде закладочного массива (рис. 1б). Экспериментально установлено, что при податливости до 40% создается минимальная концентрация напряжений в массиве. Однако, при этом, следует отметить незначительное (до 5-10%) уменьшение сечения поддерживаемой подготовительной выработки, произошедшее в результате плавного прогиба боковых пород из-за усадки закладочного массива.

Такая же геомеханическая обстановка, как было установлено в результате проведения экспериментов, имеет место и в случае пологого залегания угольного пласта ( $\alpha=10^\circ$ ), когда горная выработка охраняется накатными кострами из шпал или широкой податливой опорой, в виде закладочного массива, с усадкой до 40 %.

Применительно к решаемой задаче, следует учитывать анализ результатов исследований [6], когда было доказано, что концентрация напряжений в углепородном массиве приводит к пластическим деформациям, а с течением времени, в местах концентрации сжимающих и растягивающих напряжений имеет место разгрузка (разрушение) осадочного массива. Подтверждением этого является анализ механических процессов, имеющих место в углепородном массиве с горной выработкой [7], поскольку напряженное состояние горных пород по мере удаления от контура выработки изменяется от состояния близкого к обобщенному растяжению и сдвигу, до состояния сжатия в глубине массива.

В сложных горно-геологических условиях разработки угольных пластов, когда возможны внезапные обрушения боковых пород, необходимо учитывать динамический вид нагружения горных выработок при расчетах их устойчивости. Для этого в полученное решение соответствующей задачи вводится динамический коэффициент [8-11].

На рис. 2 породы непосредственной кровли разрабатываемого угольного пласта представлены в виде балки длиной  $l$ , (м).



**Рис. 2.** Расчетная схема к определению напряженно-деформированного состояния пород непосредственной кровли пласта при опирании балки на податливую опору.  $\varphi$  – угол отклонения балки, (рад); 1 –  $P=mg$ , (Н) вес обрушившихся пород; 2 – балка, длиной  $l$ , (м); 3 – податливая опора, жесткостью  $C$ , (Н/м)

Считаем, что в одном случае балка свободно лежит на двух опорах, а в другом, для уменьшения действия удара, свободно

бодный конец балки опирается на податливую опору В, жесткостью  $C$ , (Н/м) (см. рис.2). С высоты  $h$ , (м) на балку падает груз массой  $m$ , (кг).

Для случая, когда балка лежит на двух опорах, динамический коэффициент  $K_d$ , согласно [8,9,14] равен

$$K_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\Delta_{cm}}} \quad (1)$$

где  $\Delta_{cm}$  – статический прогиб балки под действие веса обрушившихся пород, м.

Ранее было установлено [14], чем меньше величина статического прогиба, тем жестче балка, а следовательно, тем быстрее остановится падающий груз после касания. С тем, чтобы уменьшить негативные воздействия динамических нагрузок, применяют податливые опоры [8].

Исходя из приведенной схемы (рис. 2) при наличии податливой опоры на свободном конце балки полное перемещение точки  $K$ , в месте соударения породы о балку, соответствует величине полного перемещения балки (прогиб несущей конструкции) в точке удара. Динамическая составляющая  $\Delta_n$ , (м) прогиба несущей конструкции балки отражает динамическую добавку  $\Delta_{3,м}$ , (м) по отношению к статическому действию нагрузки. Тогда, с учетом этого, динамический коэффициент при ударе  $K_d$  можно определить как

$$K_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\Delta_{cm} + \Delta_{3,м}}} \quad (2)$$

а величину наибольших динамических напряжений  $\sigma_{\max}^{\partial}$ , (МПа) в сечении балки – по выражению

$$\sigma_{\max}^{\partial} = \sigma_{\max}^{cm} \cdot K_{\partial}, \quad (3)$$

где  $\sigma_{\max}^{cm}$  - величина максимальных напряжений при действии статических нагрузок, МПа.

В результате проведенных исследований, нами установлено, что для балок, длина которых не превышает 30 м, размещение на их свободном конце податливой опоры, ослабляет эффект удара и уменьшает величину действующих в ее сечении напряжений на 30-35 % (по сравнению со случаем с неподвижной шарнирной опорой).

В динамических задачах, в частности в задачах о колебаниях, положение точек рассматриваемой системы изменяется с течением времени, и установленные координаты являются функциями времени [12,13]. Поэтому основная задача динамического исследования состоит в нахождении этих функций, т.е. в определении закона движения системы.

В случае, когда породы непосредственной кровли представлены в виде балки, один конец которой опирается на податливую опору, колебания рассматриваемой системы, согласно рекомендаций [13], можно представить в виде следующего уравнения

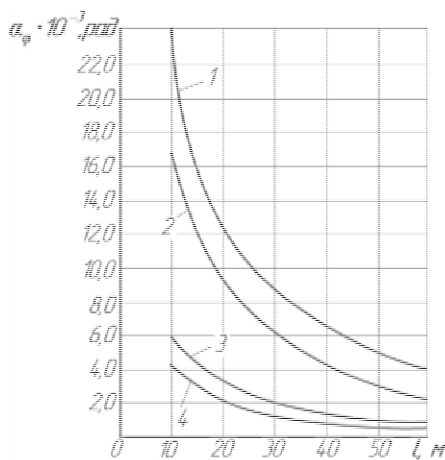
$$\varphi = \alpha_{\varphi} \sin pt = \frac{\omega'}{p} \sin pt, \quad (4)$$

где  $\alpha_{\varphi}$  - амплитуда колебаний, рад;  $p$  – круговая частота колебаний, 1/с;  $\omega'$  - угловая скорость балки после удара, 1/с;  $t$  – время, с.

Круговую частоту колебаний  $p$ , (1/с) можно определить с учетом жесткости податливой опоры  $C$ , (Н/м<sup>2</sup>), как в [3,19].

На рис. 3 показано изменение амплитуды колебаний балки  $\alpha_{\varphi}$ , (рад) от ее длины  $l$ , (м). Одновременно учитывалось место соударения обрушенных пород с балкой относительно опор А и В. В случае, когда  $a=0,9l$  соударение происходило ближе к податливой опоре В. При  $a=0,2l$  событие совершалось ближе к жесткому закреплению балки, т.е. опоре А (см. рис. 2).

**Рис. 3.** Изменение амплитуды колебаний балки  $\alpha_{\varphi}$ , (рад) от ее длины  $l$ , (м) при различных значениях коэффициента восстановления при ударе  $k$ :  $k=0,7$  – кривые 1,3;  $k=0,2$  – кривые 2,4; при  $a=0,9l$  – кривые 1,2; при  $a=0,2l$  – кривые 3,4



В результате выполненных исследований установлено, что во всех рассматриваемых случаях, амплитуда колебаний балки уменьшается с увеличением ее длины (см. рис. 3). Однако наибольшие отклонения колеблющегося тела от положения равновесия имеют место при ударе, близком к упругому, когда  $k=0,7$  и  $a=0,9l$  (рис.3, кривая 1). В случае, когда удар считается близким к неупругому ( $k=0,2$ ), размах колебаний уменьшается на 25-30% (рис.3, кривая 2). Очевидно и то, что при увеличении длины балки с  $l=10$ м до  $l=60$ м, амплитуда уменьшается почти в 4

раза за счет демпфирования колебаний (наличия податливой опоры) и, когда при больших значениях статического прогиба, динамические перемещения меньше [8].

При внезапных обрушениях расслоившихся боковых пород в горную выработку, необходимо принимать во внимание нагрузку, отличающуюся от обычной прежде всего внезапностью ее приложения и кратковременностью действия [12-14]. Величину ударного импульса, при этом, можно определить по выражению [15,16]

$$S = \frac{m \cdot m_1}{m + m_1} v \cos \alpha. \quad (5)$$

где  $m$  – масса балки (наклонной площадки), кг;  $m_1$  – масса обрушившихся боковых пород, кг;  $v$  – скорость соударения твердых тел, м/с;  $\alpha$  – угол падения пласта, град.

Используя выражение (5) установлены зависимости, отражающие изменение величины ударного импульса при соударении падающего тела с балкой, с учетом изменения ее длины. В качестве влияющих на этот процесс параметров, которые нами изменялись, были выбраны ско-

рость соударения падающего твердого тела и его масса. В результате выполненных исследований было установлено, что при длинных балках величина ударного импульса не изменяется при постоянных значениях скорости и массы обрушившихся на балку боковых пород. В таких условиях, при соударении твердых тел, когда расслоившиеся породы основной кровли ударяются о балку – породы непосредственной кровли, величина ударного импульса остается постоянной и не зависит от массы ударяемого тела.

При этом породы непосредственной кровли разрабатываемого угольного пласта должны деформироваться в установленных пределах, когда выполняются соответствующие условия прочности для определённого типа и вида нагружения боковых пород. Величину критических напряжений в таком случае, определяют исходя из формулы Эйлера [9].

Однако ее применение имеет ряд ограничений, которые должны учитывать момент потери устойчивости балки, когда действующие в любом ее сечении напряжения не превышают предела пропорциональности. В тех случаях, когда такие условия не выполняются, разрушение балок будет происходить от действующих изгибных напряжений.

Для таких условий пределы применимости формулы Эйлера, можно установить исходя из понятия предельной гибкости балки, величина которой зависит от физико-механических свойств пород непосредственной кровли, т.е.

$$\lambda_{np} = \pi \sqrt{E/[\sigma_{изг}]}, \quad (6)$$

где  $[\sigma_{изг}]$  - предел прочности пород непосредственной кровли на изгиб, Н/м<sup>2</sup>;  $E$  - модуль упругости пород непосредственной кровли, Н/м<sup>2</sup>.

Очевидно, что для рассматриваемых условий, с учетом формулы Эйлера, при расчете на устойчивость пород непосредственной кровли, в результате обрушений боковых пород в выработку, критическая нагрузка всегда подобна разрушающей, при расчете балки на изгиб.

Учитывая динамические критерии разрушения боковых пород, величину напряжений, возникающих в балке при соударении расслоившихся пород при их обрушении, можно определить как в [17,18]

$$\sigma = v \cdot \cos \alpha \sqrt{E\rho/2} \quad (7)$$

где  $v$  – скорость соударения твердых тел, м/с;  $\alpha$  – угол падения пласта, град;  $\rho$  – плотность пород непосредственной кровли, кг/м<sup>3</sup>.

С использованием выражения (7) можно установить зависимость изменения величины напряжений в породах непосредственной кровли – балки, с учетом вариации скорости соударения твердых тел. Эта зависимость позволит определить величину критических напряжений, при которых происходит потеря устойчивости пород непосредственной кровли при различной скорости соударения обрушившихся пород. Не исключено, что напряжения, возникающие в ударяемом теле с учетом значений скоростей соударения более  $v=15-30$  м/с, могут существенно изменить механические характеристики пород кровли и оказать существенное влияние на природу разрушения боковых пород.

Таким образом, при разработке угольных пластов на больших глубинах в результате расслоения боковых пород, опасность возникновения аварийных ситуаций исходит от обвалов и обрушений пород кровли.

При определенных параметрах породной консоли и отсутствии ее эффективного подпора со стороны выработанного пространства, при действии внезапных динамических нагрузок, вероятность завала горных выработок всегда возрастает.

Применение закладки выработанного пространства в таких условиях позволит существенно изменить геомеханическую обстановку в окрестности поддерживаемых в углепородном массиве горных выработок и улучшить состояние боковых пород, а также повысить безопасность труда горнорабочих и ведения горных работ.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** При разработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях, для предотвращения аварийных ситуаций в результате обрушения расслоившейся породной толщи, вмещающих горные выработки, необходимо ориентироваться на способ управления кровлей – закладкой выработанного пространства.

Это позволит повысить безопасность труда горнорабочих и эффективность отработки угольных пластов на больших глубинах в сложных горно-геологических условиях.

## Список літератури

1. Николин В.И. Снижение травматизма от проявлений горного давления / В.И. Николин, С.В. Подкопаев, А.В. Агафонов, Н.В. Малеев. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 232 с.
2. Селезень А.Л. Поддержание подготовительных выработок при разработке крутых угольных пластов / А.Л.Селезень, А.Г.Томасов, В.Ф.Андрушко – М.: Недра, 1977. – 205с.
3. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У. Унвер – М.: Машиностроение, 1985. – 472с.
4. Методические указания по изготовлению моделей из оптически чувствительных материалов для исследования проявлений горного давления. – Л.: ВНИМИ, 1970. – 180 с.
5. Хаимова-Малькова Р.И. Методика исследования напряжений поляризационно-оптическим методом. – Наука, 1970. - 194 с.
6. Баклашов И.В. Деформируемость и разрушение породных массивов / И.В. Баклашов – М.:Недра, 1988. – 271с.
7. Норель Б.К. Изменение механической прочности угольного пласта в массиве / Б.К. Норель – М.: Наука, 1983. – 201 с.
8. Тимошенко С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер – М.: Наука, 1979. – 560с.
9. Циглер Ф. Механика твердых тел и жидкостей. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002. – 912с.
10. Gross D., Ehlers W., Wriggers P, Schroder I, Muller R. Dynamics – Formulas and Problems: Engineering Mechanics. Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, 2017. – 249p. – ISBN: 3662534363
11. Varuh H. Applied Dynamics. Taylor Francis Group. LLS., 2015. – 872p. – ISBN:148225073X
12. Richard F.E., Whitman R.V. Comparison of footing vibration with theory. – I. Soil Mech. And Found. Div. ASCE, 1967. - №93,6 – p.143-168
13. Ильин М.М. Теория колебаний / М.М. Ильин, К.С. Колесников, Ю.С. Саратов – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 271 с.
14. Подкопаев С.В., Иорданов И.В., Чепига Д.А. О динамических нагрузках при внезапных обрушениях боковых пород // Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький нац. ун-т ім. М.Остроградського: Кременчук: КрНУ, 2016. – Вип.2(18) – с.99-112.
15. Тригуб А.М., Штагер Е.В. Приближенные способы оценки коэффициента восстановления при соударении твердых тел // Современные наукоемкие технологии. – 2014. - №5. – 1. – с.91-93; URL: <https://www.top.technologies.ru/ru/article/view?id=33723>.
16. Ginsberg I. Engineering Dynamics. Cambridge University Press. 2008. – 726p. – ISBN:0521883032.
17. Кочетков А.В., Федоров П.В. Некоторые вопросы теории удара // Наукоедение. Интернет-журнал. №5. 2013 – с.1-15 / <http://publ.naukovedemie.ru>
18. Лапшин В.В. Удар тела о препятствие // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. – Вып.12. – 17с. URL: <http://engjournal.ru/catalog/eng/teormech/1134.html> DOI: 10.18698/2308-6033-2013-12-1134.
19. Bottega W.I. Engineering Vibrations. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006. – 727 p. – ISBN: 0849334209

Рукопись поступила в редакцию 07.04.17

УДК 624.012.45

П.І. ГЕРБ, канд. техн. наук., доц., О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук., проф.  
Криворізький національний університет

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ГЗК, ЯК ЗАПОВНЮВАЧА В БЕТОНАХ, ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ПРИ ПІДСИЛЕННІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК

**Мета.** Метою даної роботи є порівняння експериментальних і розрахункових значень ширини розкриття тріщин підсиленних у розтягнутій зоні залізобетонних балок на відходах збагачення залізних руд при малоциклових навантаженнях.

**Методи дослідження.** Для експериментальних досліджень були виготовлено п'ять серій залізобетонних балок з бетону на відходах збагачення залізних руд. Всі серії балок, крім першої, були попередньо навантажені зусиллям яке становило 0,7...0,8 від руйнівного навантаження першої серії. Після чого балки були розвантажені та підсилені нарощуванням у розтягнутій зоні шаром бетону. Балки підсилювалися нарощуванням у розтягнутій зоні шаром бетону на відходах збагачення залізних руд.

**Наукова новизна.** вперше отримано експериментальні дані щодо тріщиностійкості підсиленних у розтягнутій зоні згинальних залізобетонних елементів з бетону на заповнювачах із відходів збагачення залізних руд, які зазнають дії малоциклових навантажень високих рівнів. Виявлено закономірність характеру утворення й розкриття тріщин від

початкових рівнів монотонно зростаючого навантаження і до руйнування, а також при дії високих рівнів малоциклового навантаження, у балках виготовлених і підсиленіх бетоном з відходів збагачення залізних руд.

**Практична значимість.** виявлена ефективність використання бетонів на заповнювачах з відходів збагачення магнітної сепарації ГЗК при підсиленні залізобетонних конструкцій, у розтягнутій зоні. Експериментально доведено можливість використання наявних методик розрахунку міцності для непідсиленіх і підсиленіх залізобетонних згинальних елементів виготовлених з бетонів на заповнювачах із відходів збагачення залізних руд з прийнятною для практичних задач точністю.

**Результати.** Результати розрахунку ширини розкриття нормальних тріщин підсиленіх і непідсиленіх балок позитивно відображають дослідні дані. При цьому теоретична ширина нормальних тріщин завжди більша за експериментальну, що свідчить про стійкість і надійність розрахункових формул. Чинні норми коефіцієнтами  $\phi_1$  та  $\psi_b$  забезпечують належний запас міцності при розрахунку ширини розкриття тріщин для елементів, що піддаються циклічним навантаженням, але не відображають залежність збільшення ширини розкриття тріщин від рівня максимального навантаження й кількості циклів. Експериментально доведено, що використання бетонів на відходах ГЗК в непідсиленіх та підсиленіх балках показує момент тріщиноутворення відповідно на 16 та 3% більший за розрахунковий.

**Ключові слова:** бетон, випробування, навантаження, відходи, тріщиностійкість, підсилення

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** В останній час у будівництві виникла проблема дослідження напружено-деформованого стану конструкцій при високому рівні напруг, особливо з урахуванням змін у процесі експлуатації.

Для забезпечення надійності підсиленіх залізобетонних конструкцій необхідно знати режими навантаження, закономірність зміни міцності і деформативності матеріалів, процеси тріщиноутворення і розвитку тріщин при дії малоциклового навантаження. Наявні методики розрахунку не завжди показують достовірні результати

У той же час використання більш економічних матеріалів є пріоритетним напрямком розвитку будівництва. Зменшення вартості будівельних конструкцій досягається шляхом економії засобів, будівельних матеріалів і природних ресурсів, тому пропонується ширше використовувати матеріали побічного видобутку гірничодобувної промисловості для виробництва будівельних конструкцій.

Широке використання відходів гірничодобувної промисловості дозволяє забезпечити будівельну галузь надійними і більш економічними матеріалами і буде сприяти рішенню важливих проблем, таких як: відновлення земельних площ, що використовуються під відвали; більш дбайливе використання природних ресурсів; стабільність постачання якісних і дешевих заповнювачів для бетону.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Дослідженням особливостей роботи залізобетонних конструкцій, виготовлених з бетонів на дрібних заповнювачах - відходах ГЗК займалися ГН. Бондаренко, О.І. Валовой, Г.Т. Стороженко, Л.І. Стороженко, Б.Н. Шевченко й інші [1-6].

Вивченню роботи підсиленіх залізобетонних конструкцій присвятили свої роботи Л.В. Афанасьєва, А.Я. Барашиков, С.В. Бондаренко, Б.А. Боярчук, О.І. Валовой, Г.В. Гетун, О.Б.Голишев, А.Ю.Еременко, О.Д.Журавський, П.И. Кривошесєв, Е.Ф. Лисенко, Г.А. Молодченко, Л.А. Мурашко, Й.П. Новаторський, П.О. Сунак, Г.Н. Хайдуков, О.Л. Шагин, В.С. Шмуклер, А. Касассбех, Г.В. Чанг, Л.М. Чи, М.А. Максур й ін. [7-8].

Дослідженню роботи бетонних і залізобетонних елементів при дії малоциклових навантажень присвятили свої роботи Е.М. Бабич, А.Я. Барашиков, Н.М. Битько, О.І. Валовой, А.В. Войцеховський, А.В. Гергель, А.Б. Григорчук, О.Б. Гурківський, О.О. Заречанський, А.С.Залісів, В.В. Караван, Н.И. Карпенко, А.М. Кокарев й ін. [9-14].

У той же час вивчення роботи конструктивних елементів з бетону на відходах збагачення залізних руд, підсиленіх у розтягнутій зоні при дії повторних навантажень дотепер не проводилося.

**Постановка завдання.** В дослідженні потрібно порівняти експериментальні і розрахункові значення ширини розкриття тріщин підсиленіх у розтягнутій зоні залізобетонних балок на відходах збагачення залізних руд при малоциклових навантаженнях.

**Викладення матеріалу та результати.** Для експериментальних досліджень були виготовлено п'ять серій залізобетонних балок з бетону на відходах збагачення залізних руд [15]. Усі серії балок, крім першої, були попередньо навантажені зусиллям яке становило 0,7-0,8 від руйнівного навантаження першої серії. Після чого балки були розвантажені та підсилені нарощуванням у розтягнутій зоні шаром бетону

Балки першої та другої серії є контрольними і випробовувалися монотонним навантаженням до руйнування. Випробування третьої, четвертої та п'ятої серії балок проводилося циклічним навантаженням. Максимальний рівень повторного навантаження приймався наступним: для балок третьої серії – 0,75, четвертої – 0,85 та для п'ятої – 0,9 від руйнівного. Зусилля приклали протягом 10 циклів після чого навантаження доводили до руйнівного.

Момент утворення тріщин у балці та подальший розвиток ширини розкриття визначали візуально мікроскопом з 24-х кратним збільшенням, а також на підставі показів тензорезисторів.

За момент руйнування підсилених балок було прийнято момент перевищення ширини нормальних тріщин та поздовжнього прогину над нормативними значеннями і руйнування балки у верхній частині середньої третини прольоту.

При випробуванні балок на повторні навантаження, вимірювання ширини розкриття тріщин ( $a_{crc}$ ) проводилися як на півциклі навантаження, так і на півциклі розвантаження. Така методика дозволила прослідкувати за виникненням та розвитком тріщин у всьому діапазоні роботи зразків, визначити динаміку розкриття і закриття тріщин при зміні повторних навантажень. За результатами проведених дослідів з визначення ширини розкриття тріщин складена табл. 1, у якій наведені відомості про зусилля тріщиноутворення непідсилених та підсилених серій балок.

Таблиця 1

Середні експериментальні значення ширини розкриття тріщин при рівні навантаження 0,7-0,8 від руйнівного

Марка балки	Зусилля, кН		Середня дослідна ширина розкриття тріщин $a_{crc}$ , мм	$a_{crcl}/a_0$	$a_{crcl}/a_0$	Допустима ширина розкриття тріщин за нормами $[a_{crc}]$ , мм	$a_{crcl}/[a_{crc}]$
	руйнівне $P_u$	при визначенні ширини розкриття $P_i$					
Контрольна непідсилена	93	70	0,099	1	-	0,40	0,25
Контрольна підсилена	137	103	0,092	0,93	1,00	0,40	0,23
Дослідна з максимальним рівнем навантаження в циклі	0,75	141	0,111*	1,12	1,21	0,40	0,28
	0,85	143	0,125*	1,26	1,36	0,40	0,31
	0,9	144	0,131*	1,32	1,42	0,40	0,33

\*-значення на останньому півциклі

Після 10 циклів навантаження ширина розкриття тріщин в усіх серіях, що випробовувалися циклічним навантаженням, збільшилася у 1,35-1,45 рази в порівнянні з першим циклом. У балках режимних серій стабілізація зміни  $a_{crc}$  відбулася після 7-8 циклу. Це дещо швидше ніж у дослідях над балками без підсилення проведених іншими авторами [9-14].

Циклічне прикладання навантаження збільшує ширину розкриття тріщин в порівнянні з тим же рівнем навантаження балок, випробуваних монотонним навантаженням на 21, 36 та 42% відповідно серіям з максимальним рівнем навантаження циклу 0,75, 0,85 та 0,9 (табл.1).

В процесі проведення дослідів були проведені спостереження за ступенем закриття тріщин на кожному півциклі розвантаження. При цьому визначалася залишкова ширина розкриття тріщин після повного зняття навантаження. За результатами дослідження, після десятого циклу спостерігається збільшення залишкової ширини розкриття тріщин у 2,5-3,5 рази. При цьому стабілізації не спостерігається, а ступінь закриття залежить від максимального рівня навантаження і номера циклу.

Аналізуючи розрахункову ширину розкриття тріщин, отриману для серій балок, випробуваних циклічним навантаженням, (див. рядки 3-5 табл. 2), можна сказати, що чинні норми забезпечують належний запас міцності, але не відображають залежність збільшення ширини розкриття тріщин від рівня максимального навантаження і кількості циклів.

Циклічне прикладання навантаження збільшує ширину розкриття тріщин у порівнянні з тим же рівнем балок, випробуваних монотонним навантаженням від 20 до 65 % (табл. 2). При цьому спостерігається доволі повільна стабілізація величини  $a_{crc}$ .

Таблиця 2

Результати розрахунку максимальної ширини розкриття тріщин і їх порівняння з експериментальними значеннями

Серія балок		$a_{crc}^{meop}$ , мм	$a_{crc}^{експ}$ , мм	$a_{crc}^{експ} / a_{crc}^{meop}$	$a_{crc,i} / a_o$
Контрольна непідсилена		0,21	0,17	0,80	–
Контрольна підсилена		0,24	0,2	0,84	1
Дослідна з максимальним рівнем навантаження в циклі	0,75	0,35	0,24	0,69	1,2
	0,85	0,35	0,28	0,81	1,4
	0,9	0,35	0,33	0,95	1,65

Примітка:  $a_o$  – експериментальне значення ширини розкриття тріщин для балок контрольної підсиленої серії.

За результатами проведених дослідів з визначення моменту утворення тріщин складена табл. 3, у якій наведені відомості про зусилля тріщиноутворення непідсилених та підсилених серій балок.

Таблиця 3

Середні експериментальні значення зусиль тріщиноутворення

Марка балки	Зусилля тріщиноутворення, $P_{crc}$ , кН	Відносне значення тріщиноутворення, $P_{crci}/P_u$	Момент тріщиноутворення, $M_{crc}$ , кН·м
2	3	4	4
БК	21	0,23	6,31
БКП	26,5	0,19	7,95
БП-0,75		0,19	
БП-0,85		0,19	
БП-0,9		0,18	

Слід зазначити, що усі підсилені зразки перед підсиленням піддавали попередньому навантаженню, яке складало 0,7-0,8 від руйнівного. На цьому етапі випробувань момент утворення тріщин у середньому в усіх зразках відповідав зразкам контрольної серії БК.

Як видно з колонки 4 табл. 2, результати випробувань балок показали, що тріщиностійкість непідсилених зразків близько 0,21-0,24 від руйнуючого навантаження, а підсилених - 0,17-0,20.

Похили тріщини з'явилися при навантаженнях, які становили 80-85% від руйнуючого. Тобто значно перевищували навантаження тріщиноутворення. Крім того ці тріщини до рівня  $(0,9-0,95)P_u$  практично не розвивалися. Звідси очевидно, що похили тріщини для стадії експлуатації конструкції небезпеки не являють.

Деформації розтягу у момент утворення тріщин на рівні крайнього розтягнутого волокна балок контрольної серії БК склали  $(13-15) \cdot 10^{-5}$ , а контрольної підсиленої серії БКП -  $(15-18) \cdot 10^{-5}$ . Деформації режимних балок у момент тріщиноутворення на першому циклі рівні деформаціям контрольної серії БКП. Зазначені величини деформацій практично співпадають з граничною розтягуваністю бетонів ( $11 \cdot 10^{-5}$ -для бетону В20 та  $13 \cdot 10^{-5}$  для В25) отриманою при випробуванні призм з відповідних бетонів на розтяг при згині.

Наведені результати свідчать про високу ефективність підсилення для відновлення тріщиностійкості балок у випадку, коли у неї вже були тріщини, викликані дією зовнішнього навантаження.

Відновлення та підвищення тріщиностійкості балок, підсилених у розтягнутій зоні можна пояснити такими причинами:

шар підсилення має вищий опір розтягувальним зусиллям та дещо підвищену граничну деформативність при розтязі (бетон підсилення приймається на клас вище бетону підсилюваної конструкції);

наявність шару підсилення створює кращі умови деформування при розтязі в зоні контакту підсилення з бетоном підсилюваної балки, оскільки цей шар відіграє роль суцільного матеріалу, який сприяє більш рівномірному розподілу деформацій, особливо там де були заін'єктовані тріщини;

шар підсилення вирівнює різні дефекти та концентратори напружень, які знаходилися на нижній поверхні підсилюваного елемента;

Данні про кількість тріщин і відстань між ними в процесі повторного навантаження в балках підсиленних серій наведені в табл. 4.

Кількість тріщин в нижній частині підсиленних балок та відстані між ними

Серія і номер зразка	Кількість тріщин по довжині балки		Число тріщин в середній треті прольоту балки	Середнє значення відстаней між тріщинами по довжині балки, см	
	при навантаженні на першому циклі	в кінці спостереження		по зразках	по серії
БКП-1	-	17	15	4,29	5,10
БКП-2	-	18	13	5,00	
БКП-3	-	16	11	6,00	
БП-0,75-1	9	12	10	6,89	7,07
БП-0,75-2	11	13	11	7,25	
БП-0,85-1	11	15	12	6,00	6,33
БП-0,85-2	9	14	10	6,67	
БП-0,9-1	13	20	13	4,47	5,57
БП-0,9-2	11	18	11	6,67	

Характерним для усіх цих серій є поява майже всіх тріщин в зоні чистого згину на першому циклі навантаження. У серіях БП-0,75 та БП-0,85 в процесі циклічної роботи на перших семи циклах, збільшення числа тріщин не було зафіксовано, а на останніх циклах кількість тріщин в середній третині прольоту збільшилася на 7-10 %, з одночасним зменшенням середньої відстані між тріщинами від 7,5 до 7,07 см та від 6,85 до 6,33 см відповідно, це відбулося за рахунок ділення великих відстаней між сусідніми тріщинами. В серії БП-0,9 такого збільшення не відмічалось, хоча на першому і останньому циклі кількість тріщин була найбільша, з відстанню між ними 5,57 см. Остаточне число тріщин сформувалося лише при 0,85-0,95 від руйнуючої під час довантаження балок до руйнування за рахунок утворення похилих тріщин.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Результати розрахунку ширини розкриття нормальних тріщин підсиленних і непідсиленних балок позитивно відображають дослідні дані. При цьому теоретична ширина нормальних тріщин завжди більша за експериментальну, що свідчить про стійкість і надійність розрахункових формул. Чинні норми коефіцієнтами  $\phi_1$  та  $\psi_2$  забезпечують належний запас міцності при розрахунку ширини розкриття тріщин для елементів, що піддаються циклічним навантаженням, але не відображають залежність збільшення ширини розкриття тріщин від рівня максимального навантаження й кількості циклів.

Підсилення залізобетонних балок в розтягнутій зоні має позитивний вплив на тріщиностійкість конструкції. Підвищується на 25 % зусилля тріщиноутворення, зменшується висота розвитку тріщин, а ширина розкриття, на рівні експлуатаційних навантажень, зменшується на 7 %. Повторні навантаження в залежності від максимального рівня циклу по-різному впливають на кількість та характер розвитку тріщин у підсиленних зразках. Ширина розкриття та висота розвитку тріщин збільшується зі збільшенням кількості циклів та максимального рівня навантаження. Після десяти циклів  $a_{crc}$  зросла у 1,35, 1,38, 1,45 та  $h_{crc}$  у 1,32, 1,6, 1,91 рази відповідно серіям балок БП-0,75, БП-0,85 та БП-0,9.

Експериментально доведено, що використання бетонів на відходах ГЗК в непідсиленних та підсиленних балках показує момент тріщиноутворення відповідно на 16 та 3% більший за розрахунковий. Основною причиною цього явища є, підвищена міцність на розтяг таких бетонів. Зважаючи на значний статистичні розбіжності і нестійкість фізичних величин розрахунку моменту тріщиноутворення, описаний спосіб визначення  $M_{crc}$  можна вважати задовільним, він дає досить стабільні результати.

#### Список літератури

1. Шевченко Б.Н. Исследование прочности и деформативности предварительно напряженных железобетонных элементов, изготовленных из бетонов на мелких заполнителях – отходах горно-обогатительных комбинатов : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 “Будівельні конструкції, будівлі та споруди” / Б.Н. Шевченко. – Киев, 1980. – 20 с.

2. **Шевченко Б.Н.** Конструкции из бетонов на отходах обогащения железных руд / Б.Н. Шевченко – К.: Высш. шк., 1989. – 192 с.
3. **Шевченко Б.Н.** Предварительно напряженные конструкции из бетона на мелких заполнителях – отходах обогащения железных руд / Б.Н. Шевченко, А.И. Валовой, Н.П. Стаханов // X Международный конгрессе ФИП : 16-20 февраля 1986 г., Дели. : М.: ФИП, НК СССР, 1986. – 12 с.
4. **Стороженко Г.Т.** Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов из бетонов на местных материалах Кривбасса : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / Г.Т. Стороженко –Кривой Рог, 1971. – 19 с.
5. **Стороженко Г.Т.** Конструктивные элементы на местных материалах / Стороженко Г.Т. // Будівельні матеріали і конструкції. – 1971. № 1. – С.12.
6. **Бондаренко Г.Н.** Обычные и высокопрочные бетоны на заполнителях из отходов ГОК / Г.Н. Бондаренко // Бетон и железобетон. – 1975. – № 3. – С.10-12.
7. **Бондаренко С.В.** Усиление железобетонных конструкций при реконструкции зданий / С.В. Бондаренко, Р.С. Санжаровский. – М.: Стройиздат, 1990. – 352 с.
8. **Боярчук Б.А.** Експериментальні дослідження прогинів згинальних елементів підсилених різними способами / Боярчук Б.А. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції та споруди : Зб. наук. праць. – Рівне: УДУВПІ, 2000. – Вип. 8. – С.64-67.
9. **Гурківський О.Б.** Міцність, жорсткість та тріщиностійкість згинаних залізобетонних елементів при режимних навантаженнях: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 “Будівельні конструкції, будівлі та споруди” / О.Б. Гурківський. - К., 2004. - 20 с.
10. **Залесов А.С.** Расчет деформаций железобетонных конструкций по новым нормативным документам / А.С. Залесов, Т.А. Мухамедиев, Е.А. Чистяков // Бетон и железобетон. – 2002. – №5. – С. 15-19.
11. **Заречанський О.О.** Особливості роботи стиснуто-зігнутих залізобетонних елементів при одноразових і повторних малоциклових навантаженнях: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 “Будівельні конструкції, будівлі та споруди” / О.О. Заречанський. – Львів, 2008. – 20 с.
12. **Валовой А.И.** Влияние кратковременных переменных нагрузок на прочность, деформативность и трещиностойкость железобетонных элементов из бетоном на отходах обогащения железных руд. Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Киев: КИСИ, 1980. – 20 с.
13. **Московитин В.В.** Циклическое нагружение элементов конструкций. – М.: Наука, 1981.
14. **Гордеева Т.Ф.** Исследование изгибаемых железобетонных элементов при повторных статических нагрузках. Автореф. дис. канд. техн. наук. – Киев, 1970, – 20 с.
15. **Герб П. И.** Задачи и методика экспериментальных исследований железобетонных балок, усиленных наращиванием в растянутой зоне бетоном из отходов обогащения железных руд / П. И. Герб // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. – Рівне : НУВПІ, 2009. – Вип. 18. – С. 477–482.

Рукопис подано до редакції 17.03.17

УДК 621.879

А. В. ВЕСНІН, канд. техн.наук., доц., Криворізький національний університет  
І. В. КРУПКО, канд. техн.наук., доц., В. В. СЕГІН, магістр,  
Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, Україна

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕСУВАННЯ ЕКСКАВАТОРА З ЧОТИРЬОХОПОРНИМ КРОКУЮЧИМ РУШІЄМ

**Мета.** Метою даної роботи є розробка методики експериментальних досліджень працездатності крокуючого чотирьохопорного механізму пересування екскаваторів та пошук шляхів його удосконалення. Крокуючі механізми пересування знайшли широке застосування в гірничій промисловості, особливо на машинах з малою швидкістю пересування. Крокуючі механізми, як правило, застосовують на потужних екскаваторах-драглайнах з ковшем місткістю 4 м<sup>3</sup> і більше.

**Методи дослідження.** В роботі використані експериментальні методи дослідження механічних систем, включаючи фізичне моделювання механізму пересування та експериментальні дослідження при різних режимах пересування. Конструкція фізичної моделі чотирьохопорного крокуючого візка дозволяє проводити експериментальні дослідження в умовах, що моделюють процес переміщення такого механізму у гірничих виробках. Експериментальні дослідження були сплановані таким чином, що практично вдалося виключити вплив чинників, що не підлягають контролю і обліку. Метод експериментальних досліджень за допомогою фізичних моделей дозволяє отримати необхідні дані для оцінки надійності механізму і його структурних елементів і з достатнім ступенем вірогідності судити про працездатність досліджуваного об'єкта.

**Наукова новизна.** Крокуючий чотирьохопорний механізм пересування відноситься до нових конструкцій ходового обладнання екскаваторів, а дослідження величини і характеру зміни параметрів для таких механізмів мають визначне значення для їх подальшого застосування.

**Практична значимість.** Отримані результати експериментальних досліджень дозволяють визначити фактичні силові і кінематичні параметри процесу пересування крокуючого механізму пересування. Стримуючим фактором його реального застосування є відсутність обґрунтованих рекомендацій щодо визначення його раціональних параметрів з урахуванням конструктивних особливостей конкретної машини, для чого проводиться цілий ряд експериментальних досліджень на фізичній моделі чотирьохопорного механізму пересування з метою підвищення ефективності його використання.

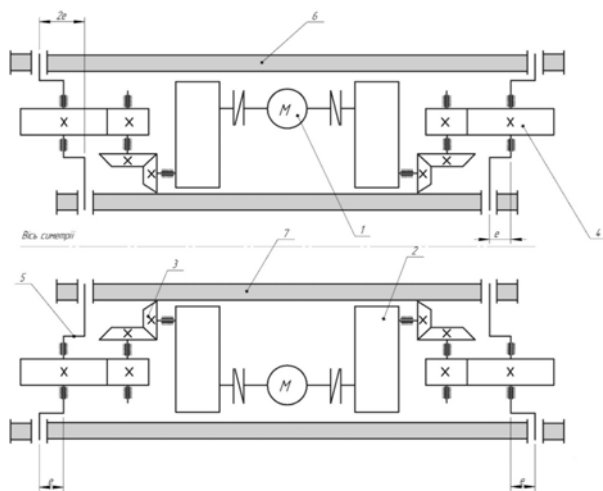
**Результати.** Встановлено раціональні параметри ексцентрика та характер зміни кінематичних і силових параметрів за один його повний оберт та визначені зміни тиску на ґрунт і способи його зменшення на діючих екскаваторах.

**Ключові слова:** екскавація в гірничих виробках, екскаватор-драглайн, крокуючий механізм пересування, фізична модель, ексцентрик, експериментальні дослідження,

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Для підвищення технічного рівня екскаваторів однією з важливих науково-технічних задач є удосконалення існуючих і створення нових конструкцій виконавчих механізмів. Так на кафедрі ПТМ проводяться теоретичні і експериментальні дослідження механізмів пересування екскаваторів.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Порівняно з гусеничним ходовим обладнанням крокуючі рушії мають такі переваги як: більш низькі вимоги, щодо несучої здатності ґрунтової поверхні, оскільки вони, за рахунок значної поверхні опорних елементів, можуть забезпечити низькі питомі тиски на ґрунт від 0,05 до 0,15 МПа; відсутність швидкозношуваних шарнірних з'єднань, які притаманні гусеничним передачам; відсутність внутрішніх складових опорів пересуванню машини [2-7]. Серед недоліків можна відзначити значну потужність приводу, так як протягом кожного циклу виникає необхідність підйому всієї машини. Чотирьохопорний крокуючий механізм пересування був вперше розроблений для кар'єрного екскаватора ЕКГ-10 [1], але він потребує подальших досліджень з метою пошуку раціональних геометричних, силових і кінематичних параметрів.

**Постановка завдання.** Оригінальністю конструкції відрізняється новий чотирьохопорний крокуючий хід для кар'єрних екскаваторів кінематична схема якого представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Кінематична схема моделі крокуючого чотирьохопорного механізму: 1 – електродвигун із двома вихідними валами; 2 – редуктори; 3 – конічні передачі; 4 – відкриті зубчасті передачі; 5 – вали; 6, 7 – опорні лижі

Відмінною рисою такого механізму є відсутність опорної бази, функції якої беруть на себе чотири лижі, а основними перевагами порівняно з трьохопорним механізмом є: менша питома металоємність; відсутність зношеної кромки бази; постійне значення тиску на ґрунт при пересуванні; менші динамічні навантаження при пересуванні. До недоліків такого ходового обладнання, по відношенню до трьохопорного, можна віднести: меншу маневреність, наявність окремого приводу.

Відмінною особливістю чотирьохопорного крокуючого механізму є наявність у такому рушії двох пар опорних лиж, внутрішніх і зовнішніх, що приводяться до руху двома парами ексцентриків. У процесі руху в такому механізмі відбувається підйом і опускання візка за рахунок внутрішніх і зовнішніх опорних елементів, які попарно піднімаються та опускаються [9].

При роботі екскаватора у вибої вага машини рівномірно розподіляється на всі чотири опорні лижі. З огляду на конструкцію такого рушії, в якому відсутня значна кількість швидкозношуваних деталей (наприклад, в порівнянні з гусеничним ходом), а також менша маса (порівняно з крокуючим трьохопорним механізмом, зважаючи на відсутність опорної бази), можна припустити, що в процесі експлуатації таких рушіїв виявляться більш ефективними, ніж існуючі. Для промислового використання чотирьохопорного крокуючого механізму, тим не менш, слід досліджувати: особливості переміщення рушіїв для різних умов роботи; вплив на енергоємність процесу переміщення силових, геометричних і кінематичних параметрів ходового обладнання; зміну навантажень на елементи ходового обладнання в процесі переміщення.

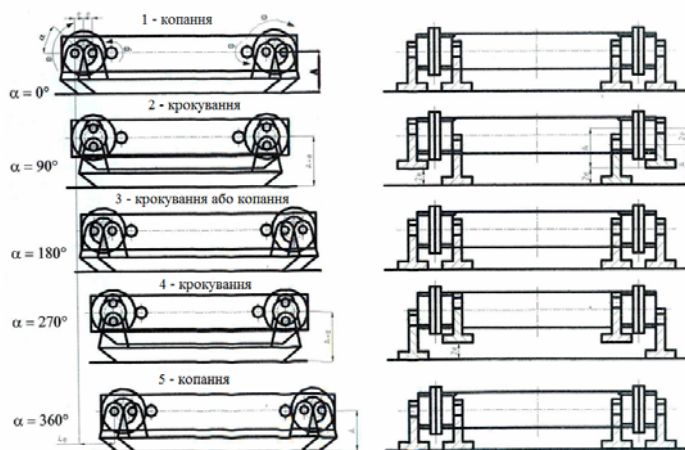
**Викладення матеріалу та результати.** Конструкція ходового обладнання передбачає, що по відношенню до рами опорні поверхні всіх лиж можуть бути тільки паралельні площині рами. Таким чином, якщо опорні поверхні підшви забою під лижами лівого боку машини будуть не паралельні опорним поверхням підшви забою під лижами правого боку машини, то повного прилягання лиж не буде. У цьому випадку машина буде спиратися на три точки, причому можливо і на дві, а при роботі можливо і виникне ефект «похитування», що є відчутним недоліком, втім такі ж недоліки притаманні і в гусеничному ході, особливо з багатоопорними жорсткими гусеницями без балансирів.

Поворот машини може здійснюватися наступними способами, рис. 2:

за рахунок включення одного приводу, тобто за рахунок роботи лижами однієї бічної сторони машини;

за рахунок включення приводів правого і лівого боку машини з різними швидкостями в одному напрямку;

шляхом переміщення лиж на кожній з бічних сторін машини в протилежні сторони.



**Рис. 2.** Чотирьохопорний механізм крокування

Це дозволяє в лабораторних умовах провести експериментальні дослідження [9] крокуючого механізму і опорної частини, виявити параметри, які мають найбільший вплив на процес переміщення і вибрати їх раціональне значення для різних умов роботи, дослідити вплив силових і кінематичних параметрів на енергоємність процесу переміщення екскаватора і обґрунтувати раціональне співвідношення цих параметрів.

Для вивчення процесу переміщення кар'єрного екскаватора з таким рушієм на етапі теоретичних досліджень з урахуванням відомих законів теорії механізмів і машин і динамічних процесів спочатку прийняті наступні допущення:

рівнодіюча сили тяжіння екскаватора перебувати на перетині поздовжньої і поперечної осей симетрії рушія і машини і рівномірно розподіляється на обидві пари лиж;

сили тяжіння лиж в розрахунку не враховуємо;

опорні башмаки вільно переміщуються вгору-вниз і вперед-назад, тобто вплив опору ґрунтів переміщенню машини не враховується;

жорсткість системи на першому етапі не враховуємо;

екскаватор робить рухи, ідентичні рухам осі ексцентрика, тобто вісь ексцентрика жорстко пов'язана з ходовою рамою і корпусом екскаватора;

ККД рушія і приводу передавального механізму на даному етапі досліджень не враховується.

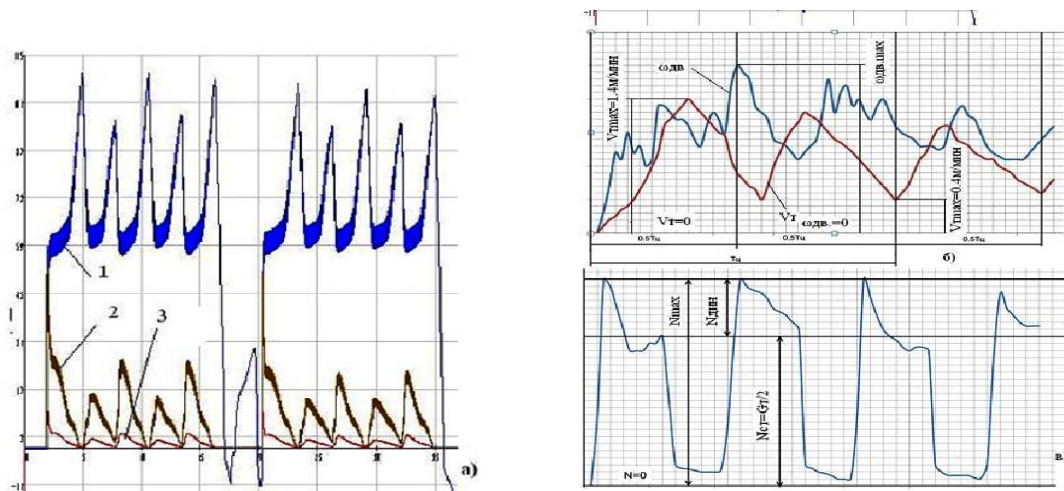
Таблиця 1

Методика експериментальних досліджень чотирьохопорного механізму крокування

Позначення експерименту	Режим руху	Вимірювальні параметри і способи їх вимірювання, кількість циклів
1	Вихідне положення: - настил (лабор. устат. в крайньому положенні)	Налаштування для вимірювання: струму $I$ , напруги $U$ , швидкості пересування
2	2в Рух по прямій «вперед»	Вимірюємо струм, напругу правого боку по ходу вперед, частоти обертання двигуна і швидкості пересування
	2н Рух по прямій «назад»	
3	3вв Рух з поворотом «вперед-вправо» «вперед-вліво»	Вимірюються електричні параметри струм і напруга, обчислюється потужність $P$

Знвл	Рух з поворотом «назад-вліво» «назад-вправо»	
5	Рух по прямій з ухилом по настилу $\alpha=10^\circ$	Кут нахилу опорної поверхні $\alpha=5-10^\circ$ . Вимірюються електричні параметри I, U, P.
6	Рух по прямій з додатковим вантажем $Q=2\text{кН}$	Вимірюються електричні параметри I, U, P. Частота обертання двигуна і швидкості пересування
7	Рух по прямій з вантажем $Q=2\text{кН}$	Вимірюються електричні параметри I, U, P.

Основні завдання, які вирішувалися при проведенні експериментальних досліджень такі: перевірка працездатності чотирьохопорного крокуючого рушія; вивчення характеру (закона) руху візка; вивчення динаміки процесу переміщення; визначення потужності приводу на різних етапах і умовах руху (вперед, назад, поворот вправо, поворот вліво); дослідження впливу нерівностей і ухилів опорної поверхні на величину потужності приводу; встановлення енергоємності процесу переміщення і пошук параметрів, що дозволяють їх знизити. Для вирішення поставлених завдань на фізичній моделі чотирьохопорного крокуючого механізму відомими методами, проводилися дослідження і вимірювання силових, кінематичних параметрів ходового обладнання та електричних параметрів приводу. До досліджуваних силових і кінематичних параметрам відносяться (рис. 3): навантаження на опори і опорні елементи (3а); кутова швидкість приводного вала з ексцентриком (3б); лінійна швидкість візка (3б). У процесі переміщення вимірювалися електричні параметри - напруга, струм і потужність електродвигунів.



**Рис. 3.** Осцилограми вимірювання електромеханічних параметрів моделі чотирьохопорного крокуючого механізму: а - електричні величини, напруги 1, струму 2, потужності 3; б - швидкості візка  $V$  і кутової швидкості валу двигуна  $\omega_{дв}$ ; в - зусиль на опорних елементах  $N$

Аналіз процесу переміщення показує (див. рис. 3), що при повороті ексцентрика від початкового положення на кут  $\alpha=\pi/2$ , значення крутного моменту змінюється з  $M_{кр(max)}^e$  до  $M_{кр(0)}^e$ .

При  $\alpha=\pi/2$  до  $\alpha=\pi/2$  крутний момент - реактивний і привід може працювати в рекуперативному (генераторному) режимі, а в точці відбувається стрибкоподібний перехід режиму роботи двигуна приводу з рекуперативного в руховий режим, а потім характер руху ексцентрика повторюється.

Отже, рух чотирьохопорного рушія і всього екскаватора змінюється за законом косинуса і має особливість різко змінювати значення моменту при  $\alpha=\pi/2$ . Ця особливість може позначитися на величині динамічних навантажень на привід рушія.

Поворот візка з чотирьохопорним механізмом крокування можливий при наступних варіантах: «загальмовані» опорні елементи з одного боку з внутрішньої сторони щодо центру обертання і поворот відбувається за рахунок переміщення опорних елементів з зовнішньої сторони; опорні елементи внутрішні і зовнішні переміщуються в різних напрямках.

Аналіз характеру руху візка, при різних способах переміщення опорних елементів, дозволяє зробити висновок про працездатність чотирьохопорного крокуючого механізму при різних станах ґрунтової поверхні, але при цьому враховувалося, що глибина занурення опорних башмаків, викликана піддатливістю (тобто низькою несучою здатністю ґрунту), не повинна перевищувати величини ексцентриситету  $e$ .

Прямолінійний рух здійснювався двома способами, причому обидва способи практично рівноцінні з енергетичних витрат. Поворот ходового візка можна проводити так само двома способами, але енергетичні витрати для цих способів слід оцінити окремо.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** В результаті проведених експериментальних досліджень були отримані осцилограми, обробка яких дозволила встановити справжню величину і характер зміни параметрів в процесі переміщення моделі при різних режимах роботи, що представлено на графіку зміни електромеханічних параметрів.

Так, було встановлено довжину шляху, а також характер зміни лінійної швидкості моделі і частоти обертання приводного валу протягом циклу переміщення. Один цикл переміщення  $T_{\text{ц}}$  в середньому становить 4,75с, при коливаннях  $\Delta T_{\text{ц}} \approx \pm 0,5$  с, а середнє значення шляху за один цикл склало  $L_{\text{е}}=0,128$  м при теоретичному значенні  $L_{\text{т}}=0,140$  м, величина проковзування склала  $\Delta L=0,012$  м, тобто практично  $\Delta L=8,5$  % до розрахункового значення. При цьому значення величини  $\Delta L$ , при зміні ґрунтової підстави становило від  $\Delta L_{\text{min}}=4,7$  % (на твердій основі у вигляді статі із цементною крихти) до  $\Delta L_{\text{max}}=15,4$  % (на м'якій податливій підставі з піску). Швидкість пересування за один цикл переміщення змінювалася від  $V_{\text{max}}=1,4$  м/хв, при середньому значенні  $V_{\text{ср,max}}=1,357$  м/хв до  $V_{\text{min}}=0,4$  м/хв, при середньому значенні  $V_{\text{ср,min}}=0,38$ .

Середня лінійна швидкість моделі склала в середньому значенні  $V_{\text{ср,е}}=1,05$  м/хв при розрахунковому значенні швидкості в середньому значенні  $V_{\text{р}}=1,162$  м/хв, тобто  $\Delta V=V_{\text{р}}-V_{\text{ср,е}}=0,11$  м/хв,  $\Delta V=9,46$  %. Отже, різниця між розрахунковим і експериментальним значенням склала 9,4 %.

Аналіз наведених результатів експериментальних і розрахункових даних показує, що максимальне відхилення становить не більше 15 %, як для кроку, так і лінійної швидкості пересування.

Ця різниця викликана проковзуванням опорних башмаків по ґрунтовій підставі і величина її може змінюватися залежно від виду підстави, коефіцієнта тертя опор по ґрунту і це необхідно враховувати в розрахунках.

### Список літератури

1. **Марченко А. І., Буренко О. Г., Калашников О. Ю., Литвинов Л. І.** Крокуючий хід важких кар'єрних екскаваторів – лопат. Патент України №46019 кл. E02F9/04 опублікований 15.05.2002 бюл. №5.
2. Машины для земляных работ: учебник для вузов / **Ю.А. Ветров, А.А. Кархов, А.С. Кондра, В.П. Станевский**; под общ. ред. Ю.А. Ветрова. – 2-е изд., дораб. и доп. – К.: Вища шк., 1981. – 384с.
3. **Домбровский, Н.Г.** Экскаваторы. Общие вопросы теории, проектирования, исследования и применения / Н.Г. Домбровский. – М.: Машиностроение, 1969. – 318 с.
4. **Гальперин, М.И.** Строительные машины: учебник для вузов / **М.И. Гальперин, Н.Г. Домбровский**. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1980. – 344с.: ил. – ISBN 000-000-000-000-0.
5. **Подэрни, Р.Ю.** Горные машины и комплексы для открытых работ: учеб. пособие: В 2 т. Т. 1. – 4-е изд., стер. – М.: Изд-во МГГУ, 2001. – 422 с.
6. Проектирование машин для земляных работ: учеб. пособие для вузов / под ред. **А.М. Холодова**. – Харьков: Вища шк., 1986. – 271с.:
7. **Шеффлер, М.** Основы расчета и конструирования подъемно-транспортных машин / **М. Шеффлер, Г. Пайер, Ф. Курт**; сокр. пер. с нем. – М.: Машиностроение, 1980. – 255с.: ил. – ISBN 000-000-000-000-0.
8. **Баловнев, В.И.** Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин: учеб. пособие для вузов / **В.И. Баловнев**. – М.: Высш. школа, 1981 – 335с.9. **Крупко І. В.** Експериментальні дослідження чотирьохопорного ексцентрикового крокуючого механізму. Підійомно-транспортна техніка. – Дніпропетровськ: 2009-№4 (32)-с. 75-81.

Рукопис подано до редакції 21.03.17

УДК 681.513.6

А.С. КУЗЬМЕНКО, старший викладач, М.Л. БАРАНОВСЬКА, канд. техн. наук, доц.,  
Г.В. КОЛОМІЦ, асистент, Криворізький національний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ З ЗАПІЗНЮВАННЯМИ ДЛЯ ПОДАЛЬШОЇ КОМПЕНСАЦІЇ ЇХ ВПЛИВУ НА ЗАМКНУТІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

**Мета.** Метою даної роботи є виконання аналізу проблеми регулювання в системах автоматичного управління, що містять протяжні транспортні лінії, які викликають запізнювання. Аналіз проведено на прикладі ідентифікації даного об'єкта з запізнюванням для подальшої настройки типового промислового регулятора. Результатом даного дослідження є отримання порівняльних характеристик, а не абсолютних значень, і оцінка якості регулювання процесу з використанням даного методу та представлених типів промислових регуляторів.

**Методи.** При виконанні теоретичних досліджень прийнято метод математичного моделювання об'єктів регулювання другого порядку. Розроблено і вдосконалено математичні моделі об'єктів регулювання та обґрунтовано основні і малозначимі параметри, що впливають на їх роботу.

**Наукова новизна.** Докладно вивчено питання теорії управління складними об'єктами, зроблено висновки та наведено практичні рекомендації по вибору систем регулювання об'єктів з чистим запізнюванням.

**Практична значимість.** Інтерес до систем управління з запізнюванням завжди був і залишається на досить високому рівні. Цей факт пояснюється рядом причин. Більшість виробничих процесів мають запізнювання, вплив яких на динамічні властивості системи дуже великий. Ряд об'єктів має приховані запізнювання, які в порівнянні з швидкодією процесів на об'єкті не великі. Такими запізнюваннями найчастіше нехтують. Але в ряді випадків вони є важливою властивістю об'єкта, яка вимагає її врахування при аналізі динамічних властивостей об'єкта.

**Результати.** Для деяких процесів динамічні характеристики об'єкта мають такі властивості, що найкращий (відносно якості перехідних процесів) спосіб регулювання буде неекономічним, тому в майже статичному режимі регулююча дія має бути або відсутньою, або мати мінімальне можливе значення. Проте у ряді випадків економічна доцільність отримання навіть невеликого приросту критерію якості може бути основою для використання складних систем управління, особливо для складних об'єктів з запізнюванням.

**Ключові слова:** регулювання, запізнювання, ідентифікація об'єкта, налаштування регулятора, вибір способу регулювання.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Питання систем управління з запізнюваннями є актуальним. Це пояснюється рядом причин. Системи управління виробничими процесами мають запізнювання, які значно впливають на динамічні властивості систем. Приховані запізнювання, в порівнянні зі швидкодією процесів, не великі, тому ними часто нехтують. У ряді випадків при аналізі динамічних властивостей об'єкта запізнювання є його важливою складовою, яку необхідно враховувати. До таких об'єктів належать транспортні системи або об'єкти, побудовані за аналогічним принципом. У таких об'єктах запізнювання може проявлятися в двох видах:  $a$  - запізнювання по входу - запізнювання інформації про стан об'єкта, запізнювання по вимірюванню;  $b$  - запізнювання по виходу - запізнювання керуючого впливу на об'єкт, запізнювання з управління. Чим більше відношення величини запізнювання до найбільшої постійної часу об'єкта, тим складніше домогтися необхідної якості регулювання.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Системам керування з запізнюванням присвячена велика кількість робіт. Перші проаналізовані публікації датовані 1974 роком, їх автор - Х.М. Гурецький [1]. З часом складність об'єктів регулювання та автоматичних систем регулювання зростала, з'являлися нові способи та методи регулювання, які розглянуті авторами А.А. Ашимовим, У. Рейем та В.Я. Ротачем у посібниках [2-4].

**Постановка задачі.** Провести теоретичні дослідження об'єктів регулювання з запізнюванням за основними відомими теоріями. В результаті даного дослідження отримати порівняльні характеристики і оцінити якості регулювання процесу з використанням різних відомих методів.

**Викладення матеріалу та результати.** Кожна система із запізнюванням має часові властивості, які можна наочно продемонструвати на прикладі аперіодичної ланки першого порядку із запізнюванням -  $\tau$ , яке описується диференціально-різницевою рівнянням виду

$$T \frac{dy}{dt} + y = kx(t - \tau). \quad (1)$$

Позначимо  $x'(t) = x(t - \tau)$ , тоді рівняння (1) запишемо у вигляді

$$T \frac{dy}{dt} + y = kx'(t). \tag{2}$$

Отже, його перехідна характеристика відповідає аперіодичній ланці (рис. 1а), але затримана на  $\tau$  с, що визначено затримкою дії  $x'(t)$  (рис. 1б).

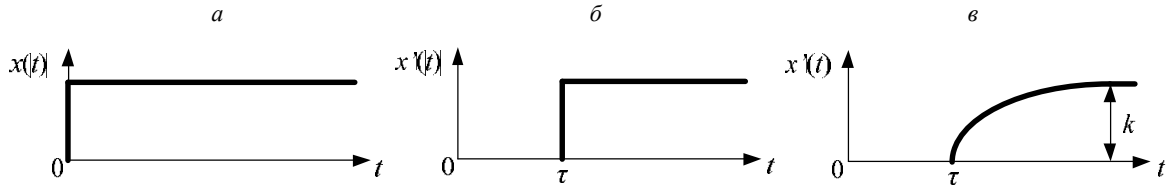


Рис.1. Перехідна характеристика аперіодичної ланки із запізнюванням

Отже, об'єкт з наявністю запізнювання характеризується наступними властивостями часової характеристики [1]:

часова характеристика будь-якої ланки із запізнюванням буде така ж, як у відповідної звичайної ланки, але тільки зрушена по осі часу вправо на величину запізнювання -  $\tau$ ,

величину запізнювання  $\tau$  в ланці можна визначити експериментально, шляхом зняття часової характеристики;

наявність ланки із запізнюванням не міняє значення модуля, а лише вносить додаткове фазове зрушення ( $-\omega\tau$ ).

В якості прикладу для розгляду впливу стійкості систем із запізнюванням можна привести замкнуту систему (рис. 2).

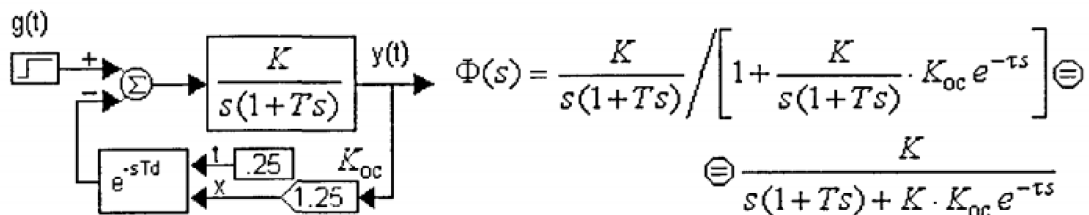


Рис. 2. Замкнута система з інтегруючою ланкою з уповільненням в якості об'єкту управління

Перехідна функція замкнutoї системи і частотна характеристика матимуть вигляд

$$\Phi(s) = \frac{\frac{k}{S(1+Ts)}}{1 + \frac{k}{S(1+Ts)} \cdot k \cdot k_{33} e^{-\tau s}} = \frac{k}{S(1+Ts) + k \cdot k_{33} e^{-\tau s}} \tag{3}$$

$$\Phi(j\omega) = \frac{k}{-T\omega^2 + j\omega + k \cdot k_{33} (\cos(\omega\tau) - j \sin(\omega\tau))} = \frac{k}{(-T\omega^2 + k \cdot k_{33} (\cos(\omega\tau)) + j(\omega - k \cdot k_{33} \sin(\omega\tau)))} \tag{4}$$

По знаменнику перехідної функції видно, що характеристичне рівняння матиме множник  $e^{-\tau s}$ , який визначає можливість наявності нескінченної кількості коренів (див. петлі годографа Михайлова  $D(j\omega)$  (рис.3б)).

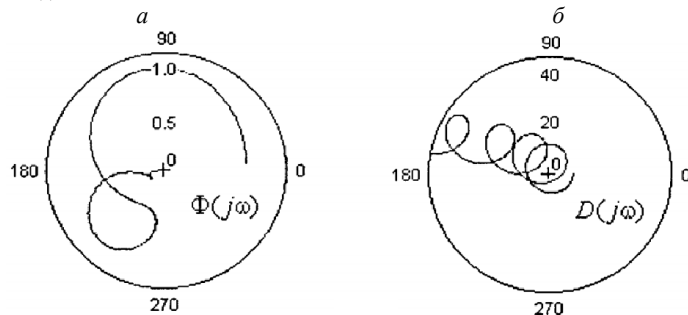


Рис. 3. а - годограф замкнutoї системи ; б - годограф Михайлова  $D(j\omega)$

Для стійкості усі вони повинні мати від'ємні дійсні частини. Отже, стійкість об'єктів за наявності запізнювання характеризується наступним:

- для стійкості систем 1-го і 2-го порядку із запізнюванням не досить додатніх коефіцієнтів;
- для систем 3-го і більше порядку не застосовуються критерії Вишнеградського, Гауса, Гурвіця.

Для визначення стійкості застосовано частотні критерії Михайлова і Найквіста, оскільки в них характеристичний вираз не розглядається в якості полінома.

Питанню регулювання об'єктів із запізнюванням присвячена значна кількість вітчизняних і зарубіжних робіт. Підвищений інтерес до проблеми регулювання об'єктів цілком виправданий, оскільки наявність в контурі регулювання чистого запізнювання істотно ускладнює завдання побудови ефективних САК. Із існуючих нині методів регулювання об'єктів із запізнюванням можна виділити наступні [2; 3]:

- типів закони регулювання;
- імпульсне регулювання;
- каскадне і комбіноване регулювання;
- регулювання з попередженням;
- регулювання на основі продукційних правил нечіткої логіки.

Для багатовимірних систем з багатьма запізнюваннями завдання синтезу регулятора з компенсацією запізнювання істотно ускладнюється. Розглянемо багатовимірну систему, в якій залежність між  $m$ -мірним вектором управлінь  $\mathbf{u}(s)$  і  $l$ -мірним вектором виходів  $\mathbf{y}(s)$  задається передавальною матрицею  $G(s)$

$$\mathbf{y}(s) = G(s) \cdot \mathbf{u}(s), \tag{5}$$

а залежність між  $y(s)$  та  $n$ -мірним вектором збурень  $\mathbf{d}(s)$  - за допомогою передавальної функції  $G_d(s)$ :

$$\mathbf{y}(s) = G_d(s) \cdot \mathbf{d}(s) + G(s) \cdot \mathbf{u}(s). \tag{6}$$

При цьому передавальні матриці мають вигляд

$$G(s) = \begin{bmatrix} g_{11} & \dots & g_{1m} \\ \dots & \dots & \dots \\ g_{n1} & \dots & g_{nm} \end{bmatrix}, \quad G_d(s) = \begin{bmatrix} g_{11}^d & \dots & g_{1k}^d \\ \dots & \dots & \dots \\ g_{n1}^d & \dots & g_{nk}^d \end{bmatrix}. \tag{7}$$

У багатьох практичних задачах, особливо, якщо передавальна функція відновлюється за результатами експериментів,  $G(s)$  і  $G_d(s)$  зазвичай мають простий вигляд.

Розглянемо систему регулювання, блок-схема якої показана на рис.4. Нехай  $G_c$  - передавальна функція регулятора,  $H$  - передавальна функція вимірювального пристрою, а  $d(s)$  - уставка. Вихід замкнутої системи задається виразом

$$\mathbf{y}(s) = (I + G \cdot G_c(s) \cdot H)^{-1} \cdot (G \cdot G_c(s) \cdot \mathbf{y}_d(s) + G_d \cdot \mathbf{d}(s)). \tag{8}$$

При наявності запізнювань в системі вибір закону регулювання більш обмежений у порівнянні з системами без запізнювань. Тому оптимальною методикою синтезу регулятора буде наступна: спочатку будь-яким чином побудуємо блок компенсації запізнювання або прогнозатор, а потім скористаймося одним зі стандартних прийомів побудови САК. Блок компенсації можна будувати як в безперервній, так і в дискретній формі.

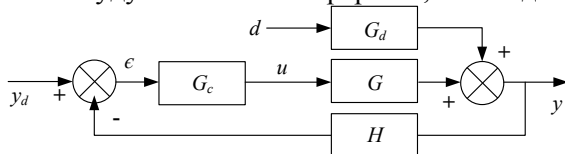


Рис.4. Блок-схема системи регулювання для багатовимірного об'єкта управління

Як було зазначено вище, є багато способів представлення систем з запізнюванням. Так, в разі лінійної системи з постійними запізнюваннями, вона має такий вид

$$x = \sum A_i x(t - \rho_i) + \sum B_i u(t - \beta_i) + \sum D_k d(t - \delta_k), \tag{9}$$

$$y = \sum C_i x(t - \gamma_i) + \sum E_i u(t - \varepsilon_i), \tag{10}$$

де  $x$  -  $n$ -мірний вектор станів;  $\rho_i, \beta_i, \delta_k, \gamma_i, \varepsilon_i$  - постійні запізнювання.

Відповідне представлення в частотній області отримаємо, беручи перетворення Лапласа від (9) та (10)

$$y(s) = G_d(s) \cdot \bar{d}(s) + G(s) \cdot u(s), \quad (11)$$

де

$$G(s) = \sum E_j e^{-\alpha_j s} + \left[ \left( \sum C_i e^{-\gamma_i s} \right) \left( sI - \sum A_i e^{-\rho_i s} \right)^{-1} \right] \left( \sum B_j e^{-\beta_j s} \right), \quad (12)$$

$$G_d(s) = \left[ \left( \sum C_i e^{-\gamma_i s} \right) \left( sI - \sum A_i e^{-\rho_i s} \right)^{-1} \right] \left( \sum D_k e^{-\delta_k s} \right). \quad (13)$$

Відзначимо, що передавальні функції (12) та (13) мають набагато більш складний вид, ніж зазвичай буває в реальних задачах. Це характерно для тих, порівняно рідкісних на практиці випадків, коли модель об'єкта управління з самого початку задається у вигляді системи диференціальних рівнянь і немає необхідності відновлювати її за результатами експериментів.

Для багатовимірних систем з запізнюванням можна побудувати компенсатор, аналогічний прогнозатору Сміта [6,7], який приводить до того, що члени з запізнюванням в характеристичному рівнянні замкнутої системи зникають. Однак, на відміну від одновимірної задачі, де синтез компенсатора зводиться до прогнозу виходу на час запізнювання, в багатовимірному випадку компенсація пов'язана з прогнозом деяких «фіктивних» змінних стану в задані моменти часу. Структура багатовимірної системи з запізнюванням, охопленої зворотним зв'язком з компенсатором в контурі регулювання, зображена на рис.5.

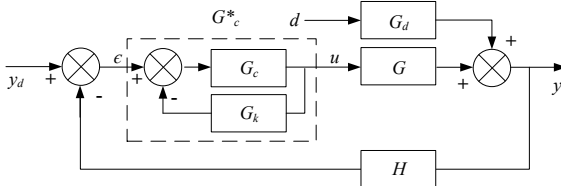


Рис. 5. Блок-схема системи регулювання з компенсатором запізнювань для багатовимірного об'єкта управління

Ця структура аналогічна розглянутому вище одновимірному випадку, тобто, власне, регулятору Сміта. Передавальну функцію компенсатора можна вибрати різними способами [10,11].

При

$$G_k = H^* G^* - H G \quad (14)$$

(де  $H^*, G^*$  - відповідні  $H$  та  $G$  передатні функції без запізнень) усувається запізнювання по виходах і запізнювання в характеристичному рівнянні замкнутої системи. Передавальна функція внутрішнього контуру  $G^*$  на схемі рис.5 має вигляд

$$\bar{u} = G_c^* \bar{\epsilon} \quad \text{або} \quad G_c^* = (I + G_c G_k)^{-1} G_c. \quad (15)$$

Повна передавальна функція системи в цьому випадку задається виразом:

$$\bar{y} = (I + G G_c^* H)^{-1} (G G_c^* \bar{y}_d + \bar{G}_d \bar{d}). \quad (16)$$

Багатовимірний компенсатор (13) дозволяє усунути запізнювання в характеристичному рівнянні замкнутої системи (15). Підстановка дає вираз

$$\bar{y} = (I + G R^{-1} G_c H)^{-1} (G R^{-1} G_c \bar{y}_d + \bar{G}_d \bar{d}), \quad (17)$$

де  $R = I + G_c (H^* G^* - H G)$ ;  $G$  - квадратна невироджена матриця.

Скориставшись теоремою про обернення матриць, отримаємо

$$(I + G R^{-1} G_c H)^{-1} = G (R + G_c H G)^{-1} R G^{-1}. \quad (18)$$

З виразу (16) випливає співвідношення  $R + G_c H G = I + G_c H^* G^*$ . Підставивши вирази для  $(I + G R^{-1} G_c H)^{-1}$  та для  $R + G_c H G$  в (18), знайдемо

$$\bar{y} = G (I + G_c H^* G^*)^{-1} G_c \bar{y}_d + G (I + G_c H^* G^*)^{-1} R G^{-1} \bar{G}_d \bar{d}. \quad (19)$$

Стійкість замкнутої системи визначається коренями характеристичного рівняння

$$|I + G_c H^* G^*| = 0. \quad (20)$$

Як видно з (20), члени із запізнюваннями в характеристичному рівнянні відсутні, і, отже, запізнювання не впливають на стійкість замкнутої системи. Це вірно, однак, лише в тому випадку, коли модель керованого процесу абсолютно адекватна йому. На практиці, зазвичай, цього досягти не вдається та завжди залишається деяка неточність - помилка апроксимації об'єкта обраною моделлю, тому компенсація запізнювання не є повною, і при налаштуванні параметрів регулятора доводиться бути обережними [16,17].

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Якість регулювання в системі з компенсацією запізнювань виявляється значно вищою, ніж без неї. Тому ефективність типових законів регулювання недостатня, в зв'язку з чим, потрібне їх адаптивне налаштування [4; 5].

У ряді випадків позитивний ефект дає імпульсне регулювання. Значення інтегральних критеріїв якості досягаються приблизно такі ж, як і при безперервному регулюванні, що може служити засобом стабілізації.

Ефективність каскадного і комбінованого регулювання припускає, що є можливість виміру збурень, діючих на об'єкт, або, принаймні, можливість вибору менш інерційної контрольованої проміжної точки в об'єкті, інакше їх застосування невиправдане.

При одних і тих же параметрах налаштування регуляторів запас стійкості САК з регулятором Сміта вище, ніж звичайних САК. Це значить, що при однаковому запасі стійкості САК (наприклад, при одній і тій же мірі загасання перехідних процесів) для регулятора Сміта можна прийняти більший коефіцієнт посилення, що забезпечить кращу якість регулювання. До недоліків регулятора Сміта, окрім складності його структури і апаратної реалізації, відноситься висока чутливість до параметрів налаштування моделі. Помилки в налаштуванні моделі, викликані неточністю апріорних знань про характеристики об'єкту або нестационарних його властивостей, можуть привести не лише до погіршення якості перехідних процесів, але й до втрати стійкості системи керування.

Застосування нечітких алгоритмів регулювання не дає явних переваг перед класичними методами управління, а проблема стійкості в системі з нелінійним алгоритмом регулювання істотно ускладнюється.

#### Список літератури

1. **Гурецкий Х.** Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. Пер. с польского. – М.: Машиностроение, 1974;
2. **Ашимов А.А.** Системы автоматического управления с изменяющейся конфигурацией для объектов с запаздыванием – Алматы: Галым, 1995г.-628с.;
3. **Рей У.** Методы управления технологическими процессами. Пер. с англ.-М. Мир. 1983 – 368С.;
4. **Ротач В.Я.** Автоматизация настройки систем управления. –М.: Энергоатомиздат. 1984;
5. **Ротач В.Я.** Теория автоматического управления тепловыделительными процессами. -М.: Энергоатомиздат, 1985 – 296С.;
6. Пат. 1270350/18-24 Способ компенсации запаздывания в системах автоматического регулирования / **А. Боровиков, А.П. Инешин, Г.В. Логинов**, Заявлено 13.10.1968: Опубликовано 04.11.1970. Бюллетень №7;
7. **Асанов А.З., Каримов В.С.** Синтез САУ для многосвязного объекта с запаздываниями на основе закона управления состоянием // Мехатроника, автоматизация, управление – 2008 - С.3336;
8. **Копысов О.Ю., Прокопов Б.И.** Построение алгоритма перестройки параметров и запаздывания в методе настраиваемой модели. М.: МГИЭМ, 1999;
9. **Осадчий С.И. Федотова М.А. Скрынник И.А.** Упредитель Сміта как средство компенсации запаздываний зерносушилки каскадного типа с кипящим слоем // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2014. - №27;
10. **Осадчий С.И. Калита М.О. Скринник І.О.** Визначення структури і параметрів математичної моделі зерносушильної установки з кипящим шаром в реальних експлуатаційних умовах // Збірник наукових праць КНТУ.- Кіровоград: КНТУ, 2008 - С. 345-349;
11. **Азарсков В.Н. Блохин Л.Н. Житецкий Л.С.** Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации - Киев: Книжное издательство Национального авиационного университета, 2006 - 438 с.
12. **Асанов А.З. Каримов В.С.** Решение задачи синтеза системы автоматического управления многосвязным объектом с запаздываниями // Вестник УГАТУ, Управление. ВТИИ - Уфа: УГАТУ, 2009 - т.13, №2(35) - С.24-35;
13. **Щокін В.П., Щокіна О.В., Кузьменко А.С.** Метод параметричного синтезу асимптотично-стійких, інтелектуальних систем кування динамічними об'єктами // Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції «Наука і освіта 2005».-Дніпропетровськ.-2005. - №63. – С. 80-81;
14. **Щокін В.П., Кузьменко А.С.,** Результати розробки алгоритму нечіткого логічного виводу ModifyMamdani // Вісник КТУ. – Кривий Ріг. -2007.- №17. – С.129-132;
15. **Кузьменко А.С., Коломіц Г.В., Сушенцев О.О.** Результати розробки методу еквівалентування функціональних особливостей fuzzy-контролерів // Автоматика. Автоматизация. Електротехнические комплексы и системы. – Херсон. -2008. - №1(21). –С.111-117;
16. **Кузьменко А.С., Щокін В.П.** Синтез нейронной сети для имитации и управления сложными объектами с распределенными во времени параметрами // Материали конеренции «Topical Issues of Rational Use of Natural Resources» April 20 – 22, 2011;
17. **Щокін В.П., Кузьменко А.С.** Компенсація запізнювання обекта керування в ARMABiS-системах // Матеріали конференції «Сталій розвиток промисловості та суспільства» - № 30 – 2012.

Рукопис подано до редакції 17.04.17

А.С. КУЗЬМЕНКО, ст. викладач, Г.В. КОЛОМІЦ, асистент  
Криворізький національний університет

## ПОРІВНЯННЯ МОДЕЛЕЙ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЗМІННОГО ТА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ КАР'ЄРНОГО САМОСКИДУ

**Мета.** Одним з актуальних питань в гірництві є оптимальне використання існуючого обладнання та механізмів з мінімальними витратами на його ремонт та обслуговування. У статті наведено результати дослідження роботи моделі тягового електроприводу кар'єрного самоскиду з урахуванням характеру технологічної траси для виявлення можливого перегріву електроприводу та оптимізації роботи самоскиду або кар'єрної траси. Основною задачею при створенні моделі було виявити можливі перевантаження електроприводу самоскиду і як наслідок цього перегрів синхронного генератора або приводних двигунів при роботі на технологічній трасі.

**Методи дослідження.** Базовими складовими моделі є некерований діодний міст та двигуни постійного струму, синхронний генератор, модель навантаження на валах двигунів. Проведений розрахунок параметрів моделі електроприводу. Розробка електроприводу кар'єрних самоскидів не стоїть на місці, впроваджуються більш сучасні та ефективні електроприводи. Модель дозволяє відстежувати електричні та температурні перевантаження в роботі електроприводу в залежності від характеру технологічної траси.

**Наукова новизна.** В статті наведені приклади моделювання руху БілАЗу при рідних умовах траси.

**Практична значимість.** Моделювання роботи сучасного електроприводу самоскиду дає можливість виявити перевантаження та неоптимальне його використання на технологічній трасі. Це дає змогу оптимізувати саму трасу кар'єру чи відвалу, визначити оптимальні маршрути руху транспорту що дасть можливість зекономити паливе та зменшити собівартість відпрацювання кар'єру. Створення моделі та її подальший аналіз проводився в математичному пакеті MatLab.

**Результати.** Створенню моделі тягового електроприводу кар'єрного самоскиду присвячена серія робіт, включаючи цю.

**Ключові слова:** кар'єрний самоскид, електропривод, модель, технологічна траса.

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами.** Моделювання тягового електроприводу кар'єрного самоскиду БілАЗ-75131 з урахуванням характеру технологічної траси та кліматичних умов дає можливість оптимально використовувати машину без перевантаження його електроприводу, що в свою чергу зменшує витрати на її ремонт та обслуговування.

Основною задачею при створенні моделі було виявити можливі перевантаження електроприводу самоскиду і як наслідок цього перегрів синхронного генератора або приводних двигунів при роботі на технологічній трасі. Створення моделі та її подальший аналіз проводився в математичному пакеті MatLab.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Кар'єрні самоскиди БелАЗ-7513 вантажопідйомністю 130 т призначені для перевезення гірської маси і сипучих вантажів на відкритих розробках корисних копалин по технологічних дорогах в різних кліматичних умовах. Машини можуть бути укомплектовані централізованою системою змащення, кондиціонером, зважують пристроєм, системою автоматичного пожежогасіння. Найбільша ефективність досягається при роботі в комплексі з екскаваторами і навантажувачами з місткістю ковша 20 м<sup>3</sup>.

При створенні автосамоскиду БелАЗ-75131 були використані найсучасніші технічні рішення, спрямовані на значне поліпшення його техніко-економічних показників.

Аналізуючи в цілому показники, що характеризують ефективність використання самоскидів, можна зробити висновок: експлуатація БелАЗ-75131 забезпечує якісно високі техніко-економічні показники.

У машині нового покоління застосована електрична трансмісія змінно-постійного струму з пуско-регулюючою апаратурою на базі мікроелектроніки, встановлений більш потужний, надійний і економічний двигун КТА-50С фірми Cummins, встановлені об'єднана гідросистема, дискові гальма з гідроприводом, кабіна з елементами системи ROPS. Значно підвищено ефективність системи електродинамічного гальмування, яка дозволяє сповільнити рух самоскида аж до повної зупинки. В електроприводі БелАЗ-75131 впроваджені електронні блоки, що спрощують виявлення несправності електроприводу і їх усунення. Винесенні назовні робочих гальмів-

них механізмів забезпечив зручність заміни та обслуговування деталей гальмівних систем, як робочої, так і стоянки. Із застосуванням системи автоматичного змащування Lincoln значно підвищена надійність ходової частини і рульового управління. Необхідно відзначити значне поліпшення умов праці водія в новому самоскиді: значно знижений рівень вібрації і шуму в кабіні, всі машини обладнані кондиціонерами, надійно працюють опалювачі.

**Постановка задачі.** Залежно від комплектації 130-тонні самоскиди в даний час випускаються двох модифікацій - 75131 і 75132, хоча їх модельний ряд передбачає до десятка одиниць.

**Викладення матеріалу і результати.** На вимогу замовника самоскиди можуть випускатися для різних кліматичних умов, комплектуватися кузовами для перевезення порід різної щільності, оснащуватися системою комп'ютерної діагностики.

Аналізуючи в цілому показники, що характеризують ефективність використання самоскидів, можна зробити висновок: експлуатація БелАЗ-75131 забезпечує якісно високі техніко-економічні показники.

За пропозиціями фахівців транспортних служб ГЗК заводчанами постійно проводяться вдосконалення конструкції самоскида і поліпшення його експлуатаційних характеристик, а саме:

встановлено, що зарекомендував себе з кращого боку, електродвигун ТЕД-6 виробництва АТ «Електросила» (Санкт-Петербург);

доопрацьований шкворневої вузол передньої осі;

збільшена ходимість гальмівних накладок гальм;

здійснено більш ретельний технічний контроль складання вузлів гідросистеми і редуктора мотор-колеса;

виконана доробка контролюючих датчиків системи зважування вантажу, що перевозиться, тиску в гідросистемі рульового управління, рівня масла в гідробаку;

проводиться установка системи обліку і контролю рівня палива в баку.

Сьогодні можна сказати, що БелАЗ-75131 є сучасним самоскидом з виразною зовнішністю і індивідуальним характером, що втілює в собі прогресивні технічні рішення.

**Характеристики кар'єрного самоскиду БелАЗ-75131:**

номінальна маса вантажу :  $Q = 130100$  кг

повна маса самоскида  $G = 105100$  кг

радіус кочення шини:  $R = 1,46$  м

передавальне число редуктора мотор-колеса:  $u = 30,36$

коефіцієнт тертя в підшипниках:  $f = 0.02$ ;

діаметр цапфи приводного колеса:  $d = 0.1$  м;

коефіцієнт тертя кочення колесу:  $k = 50 \cdot 10^{-4}$ ;

коефіцієнт додаткових втрат:  $k_p = 5$ ;

номінальна швидкість руху:  $V = 35$  км/год;

кількість приводних двигунів:  $z = 2$ ;

ККД механічної передачі:  $\eta = 0.9$

**Характеристики складових моделі тягового електроприводу самоскиду.** Синхронний генератор ГСН 500/8 УХЛ 2 має такі номінальні дані :  $U = 600$  В,  $I = 2 \times 565$  А,  $n = 1500$  об/хв.

Максимальна короткочасна потужність 1000 кВт. Генератор допускає максимальний струм до 1200 А при тривалості не більше 30с, та струм до 765 А при тривалості не більше 2 хв. У повторно-короткочасному режимі (ПВ 60% при тривалості циклу 40 хв) напруга на виводах випрямлячів допускається  $2 \times 1000$  В. Максимально допустима частота обертання без ушкоджень до 2280 об/хв, тривалістю не більше 2 хв [1].

В якості тягових електродвигунів використовуються двигуни постійного струму типу ЄК-590А УХЛ2 послідовного збудження. Номінальні дані двигунів:  $P = 590$  кВт,  $U = 830$  В,  $I = 760$  А,  $n = 910$  об/хв, к.к.д. = 93.6 %,  $R_{\Sigma} = 0.0112$  Ом.

Електрична схема електроприводу виконана за принципом «силового диференціалу», в якій послідовне включення тягових двигунів забезпечує примусову рівність їх струмів та моментів [2].

**Проектування моделі електроприводу.** Базовими складовими моделі є некерований діодний міст та двигуни постійного струму з бібліотеки SimPowerSystem, спрощений синхронний

генератор, спрощена модель навантаження на валах двигунів. Розрахунок невідомих параметрів моделі двигуна проведений за формулами наведеними в літературі [3].

Модель БілАЗу синтезується з наступних залежностей та формул

Загальний коефіцієнт втрат:

$$\omega_0 = \frac{f \cdot d + z \cdot k}{D} k_p \quad (1)$$

Опір руху по горизонтальній поверхні:

$$W_1 = g \cdot (Q + G) \cdot \omega_0 \quad (2)$$

Додатковий опір при русі під кутом:

$$W_2 = g \cdot (Q + G) \cdot \sin(\alpha) \quad (3)$$

Відповідно сумарний опір руху:

$$W = W_1 \pm W_2 \quad (4)$$

$$M = \frac{W \cdot V}{z \cdot \eta \cdot 10^3} \quad (5)$$

Момент на валу двигунів:

$$V = \frac{\omega \cdot R}{u} \quad (6)$$

Швидкість руху БілАЗу

Залежно від поточної споживаної потужності розраховується спрощена температурна характеристика двигуна.

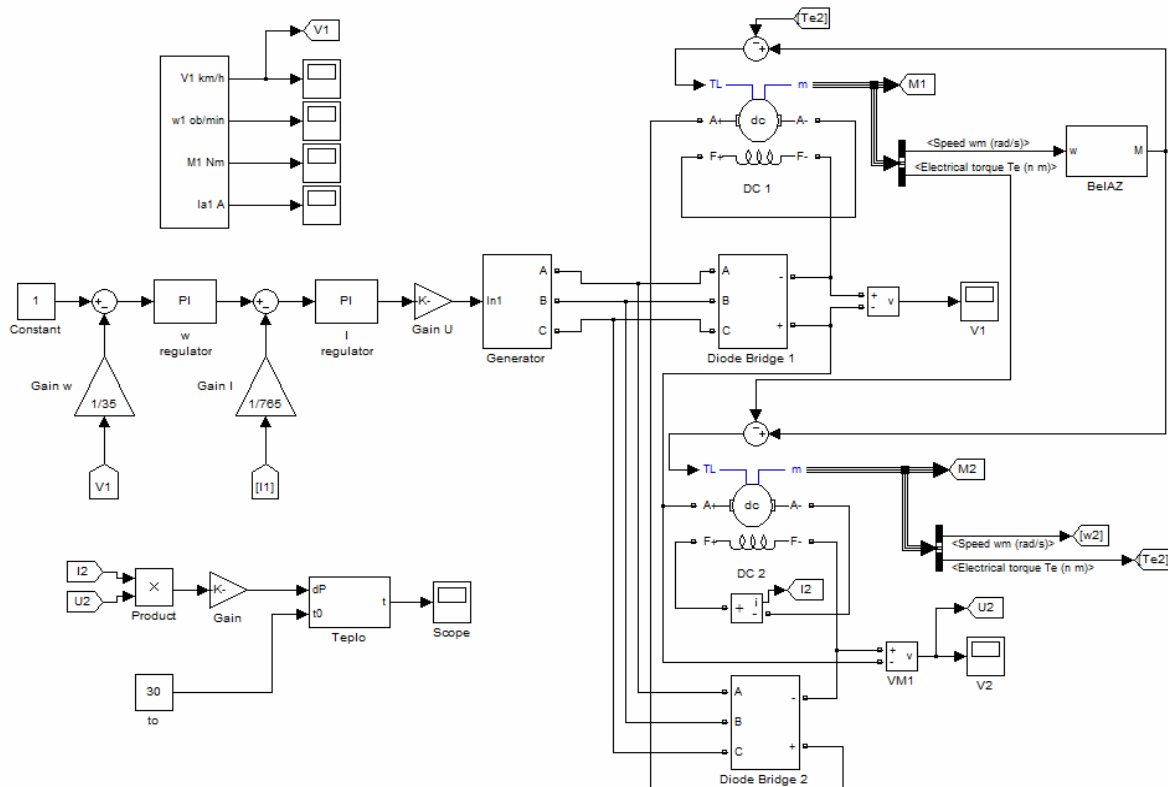


Рис. 1. Модель електроприводу БілАЗ-75131

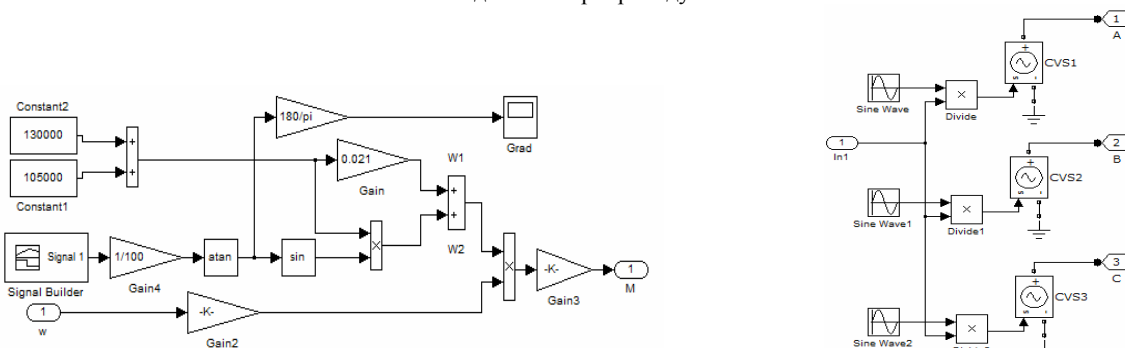


Рис. 2. Модель навантаження двигунів та спрощена модель дизель-генератора

Модель дозволяє відстежувати електричні та температурні перевантаження в роботі електроприводу в залежності від характеру технологічної траси. В якості приклада моделювання приведений рух БілАЗу при геодезичному уклоні 14 %, протягом однієї хвилини. На підсумкових графі-

ках представлені: завдання геодезичного ухилу, струм приводних двигунів, температурна характеристика двигуна.

За результатами моделювання, які наведені в табл. 1, можна вважати що у тяговому режимі, в залежності від поздовжнього ухилу технологічної траси електропривод забезпечує при русі самоскиду з повною масою на підйом наступні максимальні відстані транспортування гірської маси, обмежені нагрівом тягових електричних машин.

Таблиця 1

Результатами моделювання тягового режиму БілАЗу						
Ухил, %	6	7	8	10	12	14
Відстань, м	$\infty$	$\infty$	$\infty$	1000	500	300

Результати моделювання руху БілАЗу по технологічній трасі з ухилом в 12 % протягом хвилини ухилу представлені на рис. 3.

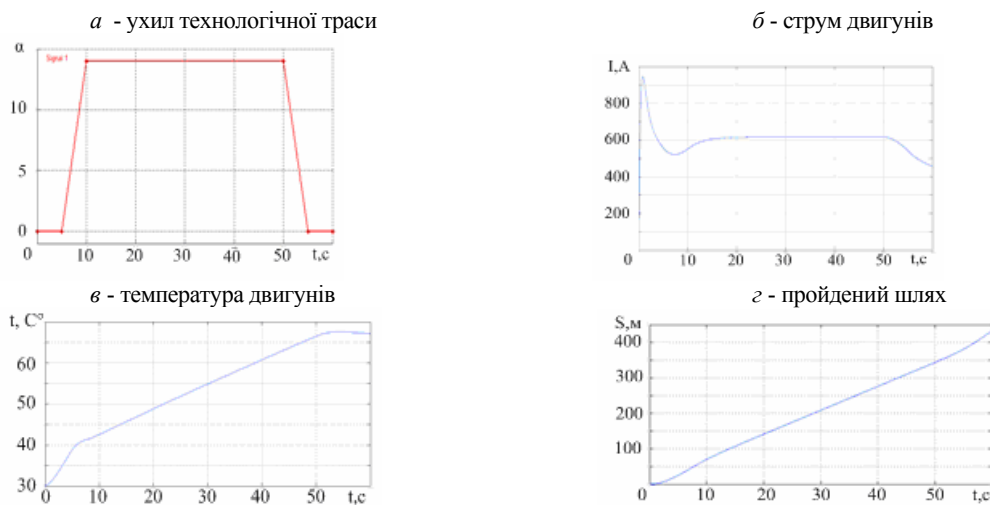


Рис. 3. Результати моделювання електроприводу БілАЗу

**Висновки і напрямок подальших досліджень.** Спрощена модель, на даному етапі створення, адекватно відображає електричні та теплові процеси в приводних двигунах БілАЗу. При аналізі роботи самоскиду на технологічних трасах кар'єру ІнГЗК були виявлені місцеві перевантаження електричної системи автосамоскида при тривалій роботі.

Плануються наступні етапи роботи з моделлю: створення адекватної моделі дизель генератора, ускладнення моделі навантаження двигунів, створення моделі системи керування дизель-генераторної установки.

*Список літератури*

1. **О.П. Хорольський, А.С.Кузьменко, Г.В.Коломіц** Дослідження та моделювання тягового електроприводу кар'єрного самоскиду Білаз-75131 з урахуванням характеру технологічної траси Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. Випуск 28. Кривий Ріг-2011. С.30
2. **П.А. Морнев, А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов.** Карьерный автотранспорт. СПб, «Наука», 2004;
3. **Єфремов И.С.** Теория и расчет тягового привода электромобилей., Москва: Высшая школа, 1984;
4. **Герман-Галкин С. Г.** Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MatLab 6.0: Учебное пособие. – СПб.: Корона принт, 2001.
5. <http://www.mining-media.ru/ru/article/transport/1629-130-tonnye-samosvaly-belaz-v-karerakh-rossii>
6. **М.Г. Потапов, В.И. Белозеров.** Направления развития карьерного автотранспорта. Горный информационно-аналитический бюллетень. Том 10, 2000 г., с. 288
7. **О.Н. Вуейкова, О.Н. Ларин.** Вопросы повышения эффективности работы карьерного автотранспорта. Вестник Оренбургского государственного университета. Том 10, 2011 г., с.20;
8. **Ларин О.Н.** Факторный анализ производительности карьерного автотранспорта // Транспорт: наука, техника, управление. – 2011. - №1. –С.29.
9. **Марнев П.Л.** Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / **П.Л. Марнев, А.А. Кулешов, А.Н. Егоров.** – СПб.: Наука, 2004. – 429с.
10. **Васильев М.В.** Транспорт глубоких карьеров – М.: Недра, 1981. – 295с.

11. **Резниченко С.С.** Математические методы и моделирование в горной промышленности – М.: МГТУ. 2001. – 400 с.

Рукопис подано до редакції 17.04.17

УДК 519.218.2: 616.98

О.Є. ЛАПШИН, д-р техн. наук, проф., Криворізький національний університет,  
Т.А. ЧЕРНЯЄВА, О.А. ВОЗНІКОВА, Т.Ю. ТОКАР, С.В. НАУМЕНКО, Л.І. КОТОК  
ВСП «Криворізький міський відділ лабораторних досліджень»  
ДУ «Дніпропетровський обласний центр лабораторних досліджень МОЗ України»

## ЕПІДЕМІОЛОГІЧНИЙ НАГЛЯД ЗА ЕНТЕРОВІРУСНИМИ ІНФЕКЦІЯМИ НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ В МІСТІ КРИВОМУ РОЗІ

Автори діляться своїм практичним досвідом по організації практичного нагляду за ентеровірусними інфекціями, надають дані про частоту позитивних лабораторних вірусологічних досліджень на ентеровіруси у людей, зовнішньому середовищі.

**Основні положення** про поліомієліт, розкрито окремі профілактичні заходи, що здійснюються з метою попередження захворювання. Приведені дані про випадки інфікування дітей вірусом поліо- у Закарпатській області та моніторингу циркуляції поліо- та інших ентеровірусів у навколишньому середовищі. Розглянуто державну програму захисту дітей від захворювання, смерті, інвалідизації шляхом проведення рутинної імунізації.

**Метою** епідеміологічного нагляду за ентеровірусними інфекціями є попередження підвищеного ризику спалаху поліомієліту в Україні та елімінації вірусу в державі шляхом створення колективного імунітету, що зупинить циркуляцію вірусу.

**Основним методом досягнення мети** є проведення рутинної імунізації – програми, яка проводиться для всього населення, зокрема для всіх дітей, щоб забезпечити захист від смерті, інвалідизації та захворювань, які можуть викликати інфекції. Проведення турової імунізації (або додаткові заходи з імунізації, кампанія з додаткової імунізації) передбачають введення додаткових доз вакцини для великої кількості населення протягом короткого періоду.

**Науковою новизною** є запровадження інформаційної підсистеми як основного елемента епідеміологічного нагляду, яка забезпечує отримання даних щодо епідемічної ситуації і базується на результатах вірусологічних досліджень.

**Здійснення епідеміологічного нагляду** за ентеровірусними інфекціями не можливо без належного вірусологічного лабораторного забезпечення. Вірусологічний моніторинг ентеровірусних інфекцій є провідною складовою інформаційної підсистеми епідеміологічного нагляду за цими хворобами. Від його результативності залежить ефективність його функціонування аналітично-діагностичної та організаційно-виконавчої підсистем. Велике значення має створення колекції ентеровірусів, її належне зберігання, що є запорукою для розвитку молекулярної епідеміології ентеровірусних інфекцій, прогнозування перебігу їх епідемічного процесу.

**Ключові слова:** ентеровірусні інфекції, поліовіруси, елімінація поліомієліту, імунопрофілактика

Епідеміологічний нагляд за інфекційною хворобою – це система динамічної комплексної оцінки стану і тенденцій розвитку епідемічного процесу в просторі та часі серед різних груп населення з урахуванням впливу на його активність соціальних та природних факторів, кінцевою метою якого є розробка і реалізація науково - обґрунтованих профілактичних та протиепідемічних заходів.

У той же час, визначені на підставі аналізу даних епідеміологічного нагляду особливості епідемічного процесу інфекції на певному етапі його розвитку вимагають внесення змін до системи епідеміологічного нагляду з метою підвищення його інформативності та ефективності профілактичних заходів.

В місті Кривому Розі здійснюється моніторинг циркуляції поліо- та інших ентеровірусів відповідно до Програми лабораторно-інструментального контролю факторів навколишнього середовища з державного замовлення. Дослідження проводяться на базі Відокремленого структурного підрозділу «Криворізький міський відділ лабораторних досліджень ДУ «Дніпропетровський обласний лабораторний центр МОЗ України» у мікробіологічній лабораторії.

Вірусологічні дослідження, виконані мікробіологічною лабораторією ВСП «Криворізький міський відділ лабораторних досліджень ДУ «Дніпропетровський обласний лабораторний центр МОЗ України» за 2013-2016 роки надані в таблиці

Територія	Нозоформи	Вид дослідження	Об'єкти дослідження	2016 рік усього обстежено осіб	З них позитивних		Вид вірусу	Роки		
					абс.	%		2015	2014	2013
Кривий Ріг	Ентеровіруси	Вірусологічні та молекулярно-генетичні	хворі	313	-	-	-			
			вода питна	78				125	69	138
			вода річкова	27				46	46	40
			вода стічна	92				92	77	66
			змиви з предметів побуту	10				10	20	4
			грунт	-				24	1	5
			контактні	67	5	5,1		98	83	9
			діти ДДЗ	112				45	45	45
			секційний матеріал	-				-	1	-

Таким чином, у 2016 році виявлено аденовіруси серед контактних осіб, у 2015 р. - ентеровіруси; у 2013-2014 рр. – відсутні позитивні знахідки.

Ентеровірусні інфекції є особливою групою інфекційних хвороб, унікальність яких визначається наступними позиціями:

велика кількість серологічних типів збудника (73 типи), здатність збудника до тривалого виживання в об'єктах довкілля; можливість утворення змінених варіантів вірусу та їх участі в епідемічному процесі; широкі межі адаптаційної мінливості збудника до високовірулентних варіантів; висока контагіозність; поліморфізм клінічних проявів захворювання (від безсимптомних форм до важких неврологічних уражень; значна і не до кінця з'ясована роль ентеровірусів у соматичній патології. Поліомієліт - гостре вірусне захворювання, що може викликати невиліковний параліч і призвести до смерті. Хворобу викликають поліовіруси, відносяться до роду ентеровірусів родини пікорнавірусів.

Поліовіруси потрапляють до організму через немиті руки та іноді через брудну воду. Вони розмножуються в епітеліальних клітинах горла й кишечника і може вражати нервову систему. Інфікована людина може виділяти вірус навіть за 7-10 днів до початку захворювання і залишається заразною впродовж 3-6 тижнів після інфікування. Зовні більшість носіїв вірусу неможливо виявити вчасно - через відсутність взагалі будь-яких ознак хвороби. Через це вірус створює особливу небезпеку для тих, хто оточує його носія, бо присутність і швидке поширення смертельно небезпечної інфекції лишаються непоміченими.

Інкубаційний період після зараження людини може тривати від 4 до 35 днів, після чого може розвинутиися поліомієліт. При цьому прояви хвороби можуть бути різними:

жодних симптомів – без будь-яких проявів хвороба протікає у понад 70% випадків.

В такому разі вірус створює особливу небезпеку для тих, хто оточує його носія, оскільки присутність і швидке поширення смертельно небезпечної інфекції лишається непоміченою; грипоподібні симптоми: лихоманка, головний біль, біль у животі та горлі, нудота і блювання.

Протягом кількох днів може проявлятися один чи кілька з них.

За такої форми хвороби, яка виникає у 25% випадків, вірус розповсюджується найактивніше, залишаючись непомітним через схожість з симптомами грипу; рухові розлади: сильний біль у вражених м'язах і рухові розлади аж до повного паралічу, який може розвинутиися за кілька годин.

Параліч може вразити ноги, руки, плечі, груди, живіт, обличчя. Ураження дихальних м'язів часто призводить до смерті. Дуже рідко симптомом ураження поліовірусом центральної нервової системи також буває менінгіт.

Ліків проти захворювання не існує і єдиним захистом є вакцинація.

Зупинити всесвітнє поширення небезпечного вірусу вдалося завдяки вакцинації. Ще у 1988 році поліомієліт виявляли у 350 000 людей у 125 країнах світу. До 2014 р. кількість випадків інфікування вірусом вдалося скоротити на 99% - до 243.

Але поки вірус поліомієліту існує хоча б в одній точці світу, заразитися ним ризикують усі, хто не отримав усіх щеплень, незалежно від свого географічного розташування. Інфіковані ві-

русом люди подорожують і контактують з іншими - і поліомієліт знову розповсюджується серед невакцинованого населення планети.

Ризик спалаху хвороби зростає у періоди соціальних негараздів та військових дій через проблеми з дотримання гігієнічних норм та недостатню увагу до щеплень у перевантаженій системі охорони здоров'я, перерозподіл фінансування, нестачу медичних працівників, тощо.

Попередження про підвищений ризик спалаху поліомієліту Україна отримала ще 2010 року від Європейської регіональної комісії з сертифікації ліквідації поліомієліту.

У жовтні 2013 р. Незалежна рада з моніторингу Всесвітньої Організації Охорони Здоров'я та Глобальна ініціатива з ліквідації поліомієліту віднесли Україні до «червоного» списку країн із найвищим ризиком спалахів хвороби.

Станом на жовтень 2014 р. Україна залишалась єдиною європейською країною в цьому списку - через катастрофічно низький рівень охоплення населення вакцинацією.

1 вересня 2015 р. Міністерство охорони здоров'я України повідомило про те, що два випадки інфікування вірусом поліо вакцинного походження були підтверджені у регіональній референтній лабораторії ВООЗ, де провели аналіз калу двох дітей в Закарпатській області України. Дві дитини (одна - віком 4 роки, друга - 10 місяців) не мали щеплень від поліо та отримали паралітичну форму поліомієліту.

Рівень охоплення вакцинацією в Україні є найнижчим за останні 20 років. Мінімальні вимоги для захисту від поліо не дотримуються. Спалаху поліо у будь-якій країні можна запобігти лише у тому випадку, якщо вакцинацією охоплено не менше 95% дітей.

Державою передбачено проведення рутинної імунізації - програми, яка проводиться для всього населення, зокрема для всіх дітей, щоб забезпечити захист від смерті, інвалідизації та захворювань, які можуть викликати інфекції. В Україні діти отримують безкоштовні щеплення від 10 захворювань протягом перших півтора року життя. Рутинна вакцинація від поліо є однією зі складових цього календаря.

Турова імунізація (або додаткові заходи з імунізації, кампанія з додаткової імунізації) передбачають додаткові дози вакцини для великої кількості населення протягом короткого періоду. Вони організуються, якщо є ризик розповсюдження вірусу та у відповідь на спалах. Метою таких заходів є не тільки захист кожної дитини, але і створення колективного імунітету, що зупинить циркуляцію вірусу.

На особливості епідемічного процесу ентеровірусних інфекцій значно вплинули заходи, спрямовані на елімінацію поліомієліту, та їх наслідки. Планова імунопрофілактика поліомієліту живою вакциною, широкомасштабні заходи одномоментної масової імунізації призвели, з одного боку, до інтенсивної циркуляції вакцинних поліовірусів, що приймають участь в епідемічному процесі ентеровірусних інфекцій загалом, з іншого – до припинення циркуляції «диких» поліовірусів. Зазначене сприяло появі ряду нових проблем, а саме:

подальший вибір безпечних шляхів створення надійної несприйнятливості населення до поліомієліту: випадки вакциноасоційованого поліомієліту на фоні застосування живої вакцини, що супроводжується інвалідизацією щеплених; можливість персистенції вакцинного поліовірусу в організмі імунокомпромісних осіб з поступовим набуттям вірулентних властивостей; спалахи поліомієліту, викликані вакциноспорідненим поліовірусом зі зміненими властивостями, що почали реєструватися в окремих країнах; можливість потрапляння «дикого» поліовірусу до людської популяції через недотримання його безпечного зберігання; на фоні припинення циркуляції «дикого» поліовірусу активація інших ентеровірусів і, як наслідок, спалахи ентеровірусних менінгітів, іноді з кількістю хворих декілька сот осіб; поява ентеровірусів – претендентів на заміщення екологічної ніші, що залишається після елімінації «дикого» поліовірусу; можливість еволюції ентеровірусів певних серотипів у бік набуття властивостей вірулентного поліовірусу.

На підставі багаторічного аналізу епідемічної ситуації з ентеровірусних інфекцій визначено наступні особливості їх епідемічного процесу, притаманні сучасному періоду:

тенденція до зменшення кількісних проявів епідемічного процесу за рахунок низьковірулентних серотипів вірусів ЕСНО; збільшення кількості серотипів, здатних викликати неврологічну патологію, на фоні зменшення серопейзажу циркулюючих ентеровірусів. Зростання ролі ентеровірусів у виникненні серозного менінгіту; важливість приховано перебігаючого компоненту епіпроцесу ентеровірусних інфекцій, активність якого визначається широким розповсю-

дженням персистенції ентеровірусів в кишечнику людини; виражена циклічність у зміні епідемічно актуальних серотипів ентеровірусів; пріоритетність водного шляху передачі збудника при ентеровірусних інфекціях з клінічними проявами з боку респіраторного, кишкового тракту та активізація крапельного – при спалахах серозних менінгітів; зсув сезонності в бік весняних та зимових місяців.

Зміна епідеміологічних особливостей ентеровірусних інфекцій потребує корекції щодо структури та обсягу лабораторних досліджень. Ураховуючи широкий поліморфізм клінічних проявів (від лихоманки. Гострих респіраторних синдромів, пневмонії, новонароджених, гострого гепатиту, геморагічного кон'юнктивіту, герпетичні ангіни, епідемічної міальгії, діареї до клініки гострого поліомеліту, полірадикулонейропатій, серозного менінгіту та широкий спектр збудників (близько 70 типів), поставити діагноз лише за клінічними проявами захворювання надзвичайно важко. Необхідним є вірусологічне підтвердження діагнозу.

Структура епідеміологічного нагляду за ентеровірусними інфекціями, наукові та практичні стратегічні напрямки епідеміологічного нагляду за ентеровірусними інфекціями Оптимізація вірусологічного моніторингу:

визначення об'єктів дослідження, визначення обсягу досліджень; стандартизація методів; акредитація лабораторій; впровадження молекулярно-генетичних методів дослідження; підвищення ефективності оперативного аналізу: співпраця епідеміологів, інфекціоністів, педіатрів, дитячих неврологів, вірусологів; інформаційний зворотній зв'язок між зацікавленими спеціалістами всіх адміністративних рівнів.

Протиепідемічні та профілактичні заходи, спрямовані на:

джерело інфекції: своєчасне виявлення, ізоляція, лікування; диспансерний нагляд з метою запобігання розвитку соматичної патології; моніторинг циркуляції ентеровірусів серед здорового населення.

Фактори передачі збудника:

визначення оптимальних параметрів застосування нових дезінфекційних засобів: розробка нових методів знезараження стічної та питної води; моніторинг циркуляції ентеровірусів в об'єктах довкілля.

Сприйнятливий організм:

підтримка належного рівня охоплення щепленнями (поліомієліт); поступовий перехід на застосування лише інактивованої поліомієлітної вакцини; моніторинг стану популяційного імунітету (поліомієліт); розробка засобів неспецифічної профілактики.

Схема епідеміологічного нагляду за ентеровірусними інфекціями.

Із сучасних позицій цілісна система епідеміологічного нагляду визначається як ряд послідовних, пов'язаних між собою підсистем: інформаційної, аналітично-діагностичної та організаційно-виконавчої. Інформаційна підсистема є основним елементом епідеміологічного нагляду, яка забезпечує отримання даних щодо епідемічної ситуації і базується на результатах вірусологічних досліджень. Оцінка основних проявів епідемічного процесу, причин і умов його розвитку входить до функцій аналітично-діагностичної підсистеми. Контроль над активністю епідемічного процесу забезпечується належним функціонуванням організаційно-виконавчої підсистеми, що можливо лише за умов налагодженої роботи двох інших підсистем.

В інформаційній підсистемі епідеміологічного нагляду за ентеровірусними інфекціями доцільно виділити діагностично значимі інформаційні потоки. 1-й потік характеризує епідемічний процес як результат взаємодії збудника і сприйнятливого організму. Цей потік несе інформацію щодо проявів епідемічного процесу ентеровірусних інфекцій на популяційному та організаційно-виконавчому рівнях, сприйнятливості населення та біологічних властивостей популяції збудника. 2-й потік містить інформацію про фактори довкілля, що впливають на активність епідемічного процесу.

**Висновок.** Враховуючи велику кількість серотипів ентеровірусів, поліморфізм клінічних проявів ентеровірусних інфекцій, вплив заходів щодо елімінації поліомієліту на їх епідемічний процес, здійснення епідеміологічного нагляду за ентеровірусними інфекціями не можливо без належного вірусологічного лабораторного забезпечення. Вірусологічний моніторинг ентеровірусних інфекцій є провідною складовою інформаційної підсистеми епідеміологічного нагляду за цими хворобами. Від його результативності залежить ефективність його функціонування аналітично-діагностичної та організаційно-виконавчої підсистем. Велике значення має ство-

рення колекції ентеровірусів, її належне зберігання, що є запорукою для розвитку молекулярної епідеміології ентеровірусних інфекцій, прогнозування перебігу їх епідемічного процесу та розробки адекватних протиепідемічних та профілактичних заходів.

### Список літератури

1. К.М. Сняк «Епідеміологія вірусних інфекцій», С. 80-94.
2. В.С.Джавець, Л.Мельнік, Є.А. Ейдельберг «Руководство по медицинской микробиологии». - Том 3. - С. 162–183.
3. Наказ МОЗ України від 18.02.2008р. №86 «Про затвердження методичних вказівок «Вірусологічний моніторинг у системі епідеміологічного нагляду за ентеровірусними інфекціями та шляхи його удосконалення».
1. К.М. Сняк «Епідеміологія вірусних інфекцій», стор. 80-94
2. В.С.Джавець, Л.Мельнік, Є.А. Ейдельберг «Руководство по медицинской микробиологии», том 3, стор. 162 – 183.
3. Наказ МОЗ України від 18.02.2008р. №86 «Про затвердження методичних вказівок «Вірусологічний моніторинг у системі епідеміологічного нагляду за ентеровірусними інфекціями та шляхи його удосконалення».
4. Задорожна В.І. «Сучасний нагляд на ентеровіруси та фактори їх передачі» / журнал «Довкілля та здоров'я» - 2012, №2, стор.49-54
5. В.І.Задорожна, В.І.Бондаренко, С.І.Дран «Роль ентеровірусної інфекції в розвитку патології людини» /Журнал Академії медичних наук України, 2006 -11, №3, стор. 511-514).
6. В.А.Сергеев «Вірусні вакцини» (Київ, журнал «Урожай», 1993р., стор.315-316).
7. Доан С.І. «Ентеровірусні інфекції» (Київ, ДІА, 2010, стор.9-10).
8. С.Г.Юрков «Каталог колекції клітинних культур» (м.Покров, ВНДІВВІМ, 2000, стор.59-60).
9. Воробьева А.А. «Атлас по медицинской микробиологии, эпидемиологии и иммунологии», (Москва, «Медицинское информационное агенство», 2003, стор.117-118.
10. А.В.Дьоміна, В.А.Герновой, Н.І.Шульгіна, С.В.Нетесов «Ентеровіруси. Лабораторна діагностика, лікування, імунопрофілактика, профілактичні заходи у вогнищі», частина 3, / Бюлетень СОРАМН – 2011, стор.111-114)..

Рукопис подано до редакції 19.04.17

УДК 622.271

І.І. МАКСИМОВ, канд. техн. наук, доц., Р.В. СЛОБОДЯНЮК, аспірант  
Криворізький національний університет

## ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ПОЛОЖЕННЯ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОГО ПУНКТУ У КАР'ЄРІ

**Мета.** Метою даної роботи є розробка методологічної основи для визначення точки Ферма-Торрічеллі для кількості екскаваторних вибоїв, що перевищує три, а також з урахуванням впливу на оптимальну точку звезення відмінностей у продуктивності екскаваторних вибоїв.

**Методи дослідження.** У статті наданий огляд сучасних досліджень, в яких для мінімізації логістичних процесів використовуються алгоритми з використання точки Ферма-Торрічеллі-Штейнера. У роботі використані методи математичної оптимізації. З огляду на математичну складність розв'язуваної задачі, координати оптимальної точки звезення раціонально визначати методом сіток або градієнтним методом.

**Наукова новизна.** Технологія гірничих робіт з використанням перевантажувальних складів широко розповсюджена на глибоких залізрудних кар'єрах. У більшості випадків, при прийнятті рішення про місце розташування перевантажувального складу в першу чергу до уваги береться його висотне положення в просторі кар'єру. Але положення перевантажувального пункту в плані теж має значний вплив на техніко-економічні показники відкритих гірничих робіт. Традиційний підхід, що розглядає в якості оптимальної точки звозу точку центра ваги, не є гарантією забезпечення мінімального значення транспортної роботи. В математиці відома точка Ферма-Торрічеллі, яка забезпечує мінімальну відстань до вершин трикутника. Показано, що коли область виконання гірничих робіт не можна апроксимувати правильною геометричною фігурою, точка центру ваги не є такою, що забезпечує мінімальну транспортну роботу. В такому випадку мінімальна транспортна робота забезпечується при співпадінні точки звозу з точкою Ферма-Торрічеллі.

**Практична значимість.** З точки зору відкритої розробки, особливе практичне значення має розробка методу, що дозволить визначати оптимальну точку звозу для робочої зони кар'єру за відомими координатами характерних точок з урахуванням вагових коефіцієнтів. Запропоновано рішення задачі визначення раціональної точки звезення розділити на кілька етапів. На першому етапі визначаємо координати центру ваги даної області. На другому етапі визначаємо координати точки Ферма-Торрічеллі методом сіток або градієнтним методом, прийнявши за початок умовної системи координат точку центра ваги.

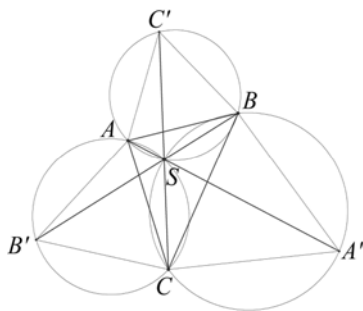
**Результати.** Запропонований метод дозволяє визначити оптимальну точку зведення гірничої маси (мінімум транспортної роботи) для довільної кількості екскаваторних вибоїв як з однаковою, так і з різною продуктивністю. Визначення оптимальної точки зведення дозволяє знизити обсяг транспортної роботи на 20-30%.

**Ключові слова:** перевантажувальний пункт, тимчасовий відвал, точка Ферма-Торрічеллі, мінімізація транспортної роботи.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** З метою мінімізації транспортної роботи при плануванні і проектуванні кар'єрів постає необхідність визначення раціональної точки зведення гірничої маси. Це завдання виникає при обґрунтуванні раціонального положення перевантажувального складу комбінованого кар'єрного транспорту. Аналіз проектних рішень щодо встановлення кроку перенесення перевантажувальних пунктів і визначення оптимальних місць їх розташування показує, що положення перевантажувальних пунктів іноді визначається без достатнього теоретичного обґрунтування [1-6]. Такий підхід до розвитку транспортної схеми кар'єру призводить до неоптимальних технічних рішень, що знижує економічну ефективність гірничих робіт. У теорії гірничої справи немає загального і повного рішення задачі оптимізації положення перевантажувального пункту (тимчасового відвалу), що забезпечує мінімум транспортної роботи кар'єрних автосамоскидів. У даний час і в минулому подібні завдання виникають і в інших галузях промисловості.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Задача оптимальної організації транспортних комунікацій представляє великий інтерес як з теоретичної точки зору, так і з точки зору практичного застосування і є однією з класичних наукових проблем. Вперше задача визначення оптимальної точки зведення для трьох точок була поставлена в XVII столітті П'єром Ферма. У його формулюванні задача поставлена наступним чином: «для трьох заданих точок знайти четверту, таку, що якщо від неї провести прямі лінії до даних точок, сума відстаней буде найменшою». У XVII столітті розв'язком цієї задачі займався багато дослідників.

У збережених джерелах вперше рішення цієї задачі для трьох точок дано учнями Галілео Галілея Е. Торрічеллі і В. Вівіані. Рішення задачі було отримано фізичними методами і розмірковуваннями - оптимальною точкою для трьох вершин трикутника є така внутрішня точка, з якої всі сторони трикутника видно під кутом  $120^\circ$ . Дана точка називається точкою Ферма-Торрічеллі. У XIX столітті було знайдено геометричні методи розв'язання цієї задачі [7-11] (рис. 1).



**Рис.1** Геометричне рішення задачі визначення точки Ферма-Торрічеллі для трикутника

Для знаходження точки Ферма-Торрічеллі (точка S) на сторонах даного трикутника будуємо допоміжні правильні трикутники (трикутники Наполеона). Точку S можна знайти як точку перетину кіл, описаних навколо трикутників Наполеона. В другій половині XIX століття був знайдений ще більш простий метод: з'єднавши вершини трикутника ABC з відповідними протилежними точками, одержуємо точку перетину S. Якщо один із кутів трикутника ABC більше  $120^\circ$ , то відповідна вершина і є

точкою Ферма-Торрічеллі.

Для чотирьох точок рішення задачі визначення точки Ферма-Торрічеллі було знайдено італійським інженером і математиком Фаньяно: для випуклого чотирикутника мінімум суми відстаней досягається в точці перетину діагоналей. Великий внесок у розвиток методу знаходження оптимальних точок зведення вніс Якоб Штейнер (1796-1863). Для кількості точок, більшої за чотири, він заклав основи створення теорії оптимальних мереж. Їм особисто були розглянуті тільки деякі окремі випадки, а теорії графів і логістики були розвинені в XIX і на початку XX століття (Р. Курант, 1888-1972 pp.) [12-14].

Багато дослідників при вирішенні аналогічних завдань в різних областях промисловості в якості точки Ферма-Торрічеллі шукають точку центру ваги. Для довільного n-кутника в масштабі вирізається модель, фізичними методами знаходиться центр ваги. Збіг цих точок можливий для правильних і деяких окремих видів багатокутників. Упродовж 250 років були запропоновані різні рішення і алгоритми визначення оптимальної точки зведення, але кожен з них має певні обмеження і не може бути розглянутий як остаточний універсальний метод.

У гірничій справі задачу визначення оптимальної точки зведення (визначення місця закладення підйомного шахтного стовбура) вирішував академік Л.Д. Шевяков [15]. У загальному вигляді математична задача про точку найвигіднішого зосередження вантажів, що надходять з  $n$  точок, заданих в площині, дуже складна. У теорії проектування підприємств з підземним способом розробки відомо кілька спрощених методів визначення оптимальної точки зведення (вантажі розташовуються уздовж прямої). Згідно з правилом Шевякова Л.Д. [15], при зосередженні вантажів на прямій, за умовою мінімальної роботи з транспортування, ствол шахти повинен бути розташований в місці зосередження такого вантажу, який, будучи доданий до суми інших, розташованих від нього вліво, дає суму, більшу суми вантажів, розташованих вправо, а будучи доданим до правих вантажів, дає суму, більшу суми лівих. Оптимальний пункт зведення знаходиться в точці, що ділить запаси навпіл. Академік Шевяков Л.Д. був одним з перших вчених, якій показав, що оптимальна точка зведення вантажів не завжди співпадає з центром ваги. Метод Шевякова Л.Д. є розвитком метода «штандорта», запропонованого засновниками економічної географії (В.Лаунхардт, А.Вебер), але є громіздким та наближеним.

В роботі [16] наведені результати дослідження з визначення оптимальної точки зведення при розкритті нового горизонту кар'єра. Завдання сформульоване таким чином: потрібно знайти точку зведення, що забезпечує мінімум транспортної роботи при розробці горизонту. Дане завдання виникає при визначенні раціонального положення рудоспуску. Поставлену задачу аналітичними методами вирішити не вдалося, проте було виконано дослідження деяких характерних властивостей оптимальної точки зведення. Чисельними методами були досліджені асиметричні фігури з різними відносними розмірами.

Встановлено, що середня відстань, яка розрахована для центра ваги горизонту, перевищує відстань, розраховану для оптимального пункту зведення. У розглянутих випадках ця різниця становила 3-5%. Робиться спірний висновок про те, що при визначенні положення пункту зведення для всього горизонту з достатньою точністю за його положення може бути прийнятий центр ваги фігури, утвореної контуром горизонту. Проте на практиці перевантажувальний пункт для одного горизонту, як правило, не передбачається; в розробці одночасно знаходиться декілька екскаваторних заходок і їх взаємному положенню з урахуванням різниці в плановій продуктивності вибоїв в різний час будуть відповідати різні координати оптимальної точки зведення.

Всі перераховані вище методи дозволяють знаходити геометричне рішення задач. Однак особливе практичне значення має розробка методу, що дозволяє знаходити координати оптимальної точки зведення для багатокутника (ділянок і робочих зон кар'єра) при відомих координатах його вершин з урахуванням вагових коефіцієнтів. При реалізації даного методу в системі автоматизованого проектування кар'єрів це дозволить динамічно визначати оптимальні точки зведення гірничої маси у кар'єрі.

**Постановка завдання.** Метою даного дослідження є розробка методологічної основи для визначення точки Ферма-Торрічеллі для кількості екскаваторних вибоїв, що перевищує три, а також з урахуванням впливу на оптимальну точку зведення відмінностей у продуктивності екскаваторних вибоїв.

**Викладення матеріалу та результати.** Розглянемо випадок розміщення чотирьох екскаваторів в точках А, В, С, D (рис. 2). Продуктивності екскаваторів приймаємо рівними. В даному випадку точки Ферма-Торрічеллі (перетин діагоналей) і центр ваги збігаються. Такий збіг спостерігається для правильних багатокутників, симетричних фігур (наприклад, прямокутник), а також фігур, що мають центральну симетрію (паралелограм).

Для порівняння розглянемо інший випадок розміщення чотирьох екскаваторів (рис. 3), в якому одна вершина розташована на відносно великій відстані від трьох інших. В даному випадку точка S є оптимальною точкою Ферма-Торрічеллі, а точка P - центром ваги. Транспортна робота для точки S на 20% менша, ніж для точки P (центра ваги). Якщо точка C (див. рис. 3) віддаляється від прямої BD, то оптимальна точка звозу S залишається незмінною (як точка перетину діагоналей), а центр ваги P буде віддалятися слідом за точкою C ( $SP \approx 1/3 \times SC$ ).

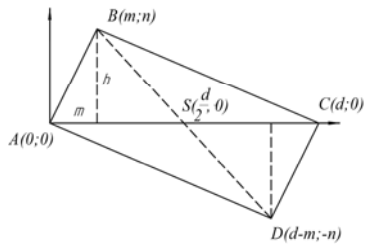


Рис. 2 Розміщення екскаваторів в вершинах паралелограма (центральна симетрія)

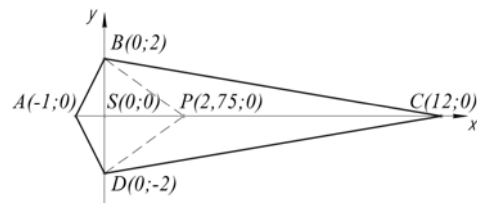


Рис. 3 Розміщення екскаваторів в вершинах чотирикутника A, B, C, D (P- центр ваги, S – оптимальна точка звезення)

На рис.4 показано відносно збільшення транспортної роботи при зведенні гірничої маси в точку P в порівнянні з оптимальною точкою S. Наведений приклад показує, що в деяких випадках необхідно шукати оптимальну точку Ферма-Торрічеллі, а не замінити її центром ваги.

дослідження є знаходження координат точки зведення гірничої маси для довільної кількості екскаваторів. Основні проблеми, що виникають, розглянемо на прикладі трьох точок (рис. 5).

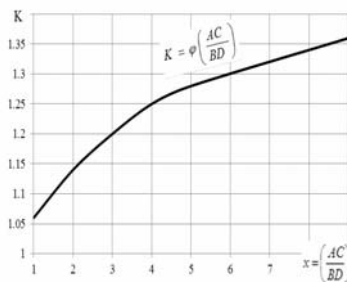


Рис. 4. Відносно зростання транспортної роботи (дол.од.) при зведенні гірничої маси в точку P (центр ваги) порівняно з оптимальною точкою S при збільшенні відношення відрізка AC до BD

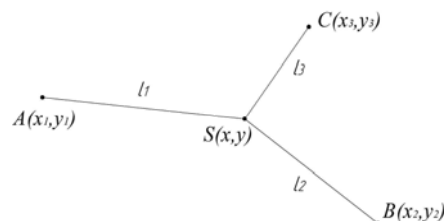


Рис. 5. Визначення координат оптимальної точки Ферма-Торрічеллі для випадку трьох вибоїв з відомими координатами

Необхідно знайти координати оптимальної точки S, для якої сума відстаней до заданих трьох точок буде мінімальною.

Розглядаємо цільову функцію (1) - мінімум суми відстаней від точки S до точок A, B, C

$$F = (l_1 + l_2 + l_3) \rightarrow \min. \quad (1)$$

У координатній формі цільова функція має вигляд (2)

$$F = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} + \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} + \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2} \quad (2)$$

Для визначення оптимальних координат знаходимо частині похідні і одержуємо систему ірраціональних рівнянь, яка не має розв'язку в загальному вигляді. Тому розглянемо допоміжну, більш просту цільову функцію (3) - мінімізуємо суму квадратів відстаней

$$f = (l_1^2 + l_2^2 + l_3^2) \rightarrow \min. \quad (3)$$

У координатній формі цільова функція має вигляд (4)

$$f = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2. \quad (4)$$

Знаходимо частині похідні і складаємо систему рівнянь, яка має простий розв'язок (5)

$$x = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}; \quad y = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3}. \quad (5)$$

Координати точки P це середні арифметичні координат вершин трикутника (збігається з центром ваги трикутника).

Формули (5) є точним розв'язком допоміжної цільової функції (3) та можна вважати наближеним розв'язком основної цільової функції (1). Надалі координати оптимальної точки зводу S можна уточнити методом сіток або градієнтним методом.

Розглянемо алгоритм визначення координат точки Ферма-Торрічеллі (точка S) при відомих координатах центру ваги (точка P).

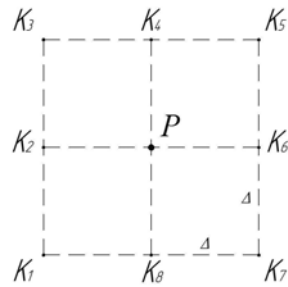


Рис.6. Схема уточнення координат точки Ферма-Торрічеллі при відомих координатах точки P (центра ваги)

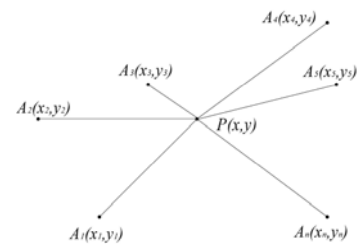


Рис.7. Визначення координат центру ваги (мінімум суми квадратів відстаней) для довільної кількості точок з відомих координатами

Задаємо крок пошуку  $\Delta$  і знаходимо значення цільової функції (1) в точках  $K_1 \div K_8$ . Вибираємо ту точку, де значення функції (1) менше, ніж в точці P. Наприклад, мінімальне значення маємо в точці  $K_3$ . Переносимо початок допоміжної системи координат в точку  $K_3$ , визначаємо координати нових точок  $K_1 \div K_8$  і т.д. У разі, якщо уточнення положення точки Ферма-Торрічеллі не відбувається, зменшуємо крок сітки  $\Delta$  і повторюємо пошук. Таким методом можна визначити координати оптимальної точки зведення з необхідною точністю.

Наведений вище алгоритм знаходження оптимальної точки Ферма-Торрічеллі легко поширюється для довільної кількості заданих точок  $n$

$$f = \sum_{i=1}^n [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2] \rightarrow \min; \quad \begin{cases} \frac{df}{dx} = 2 \sum_{i=1}^n (x - x_i) = 0 \\ \frac{df}{dy} = 2 \sum_{i=1}^n (y - y_i) = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \\ y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \end{cases}$$

У випадку, як і для трьох точок, координати шуканої точки знаходяться як середнє арифметичне координат  $n$  заданих точок.

Розглянутий метод мінімізації суми квадратів відстаней (знаходження координат точки P) аналогічним чином поширюється і для випадку неоднакової продуктивності вибоїв. В такому випадку допоміжна цільова функція має вигляд (для трьох точок)

$$f = Q_1 l_1^2 + Q_2 l_2^2 + Q_3 l_3^2$$

У розгорнутому вигляді цільова функція має вигляд

$$f = Q_1 [(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2] + Q_2 [(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2] + Q_3 [(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2]$$

Знаходимо частинні похідні, складаємо систему рівнянь та визначаємо координати центру ваги

$$x = \frac{x_1 Q_1 + x_2 Q_2 + x_3 Q_3}{Q_1 + Q_2 + Q_3} ; \quad y = \frac{y_1 Q_1 + y_2 Q_2 + y_3 Q_3}{Q_1 + Q_2 + Q_3}$$

Координати центру ваги знаходять як середньозважені координат заданих трьох точок з урахуванням продуктивності відповідних вибоїв.

Аналогічно задача легко поширюється і для випадку неоднакової продуктивності довільної кількості вибоїв.

$$x = \sum_{i=1}^n Q'_i x_i ; \quad y = \sum_{i=1}^n Q'_i y_i, \quad (7)$$

де  $Q'_i$  - вагові коефіцієнти – відношення продуктивності  $i$ -го вибою до загальної продуктивності заданої області (всіх екскаваторних вибоїв).

Так само, як для вибоїв з однаковою продуктивністю, використовуємо знайдені координати центру ваги як початкове наближене значення координат оптимальної точки зведення (мінімум суми добутків продуктивності екскаваторних вибоїв на відстань до оптимальної точки зведення (8)). Використовуючи запропонований раніше алгоритм (рис. 6), уточнюємо координати точки, що забезпечує мінімізацію транспортної роботи

$$F = \sum_{i=1}^n Q_i l_i \rightarrow \min. \quad (8)$$

Таким чином, можна мінімізувати транспортну роботу для будь-якої кількості екскаваторів як з однаковою, так і з різною продуктивністю.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Показано, що в гірничій справі можливе виникнення технологічних ситуацій, коли визначення оптимальної точки зведення не є тривіальною задачею. Використання центру ваги в якості точки зведення в ряді випадків призводить до нераціональних рішень і збільшення обсягу транспортної роботи в порівнянні з оптимальною точкою зведення. В історії науки і техніки останніх століть багато дослідників вирішували проблему пошуку оптимальної точки зведення для вирішення широкого кола практичних завдань в різних галузях промисловості. Отримано багато окремих результатів, але у цілому проблема не вирішена. При сучасних технологіях автоматизованого планування і проектування гірничих робіт важливо мати алгоритм визначення координат оптимальної точки зведення гірничої маси на заданих ділянках кар'єра.

Запропоновано рішення задачі визначення раціональної точки зведення розділити на кілька етапів. На першому етапі визначаємо координати центру ваги даної області. На другому етапі визначаємо координати точки Ферма-Торрічеллі методом сіток або градієнтним методом, прийнявши за початок умовної системи координат точку центра ваги. Запропонований метод дозволяє визначити оптимальну точку зведення гірничої маси (мінімум транспортної роботи) для довільної кількості екскаваторних вибоїв, як з однаковою, так і з різною продуктивністю.

У подальших дослідженнях розроблений математичний апарат буде використаний для встановлення закономірностей оптимального розташування перевантажувальних пунктів та тимчасових автомобільних відвалів і формування умов для використання кільцевих схем руху кар'єрних автосамоскидів.

#### Список літератури

1. **Яковлев В.Л.** Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / **В.Л. Яковлев.** - Новосибирск: Наука СО, 1989. - 240 с.
2. **Жуков С.А., Федоренко С.А., Пузанов Е.В.** Координация грузопотоков при переводе рудных карьеров на комплексное освоение недр // Разраб. рудн. месторождений. - Кривой Рог, 2002. - Вып. 78. - С. 3-8.
3. **Федоренко С.А., Жуков С.А.** Транспортные проблемы комплексной разработки железорудных месторождений // Разраб. рудн. месторождений. - Кривой Рог, 2003. - Вып. 82. - С. 22-27.
4. **Федоренко С.А., Жуков С.А., Навитний Ю.М., Ткаличенко С.В.** Анализ технологического потенциала периодических колебаний производительности ЦПТ как резерва мультиструктурных грузопотоков // Гірничий вісник, вип. 101. - Кривий Ріг, 2016, С. 12-18.
5. **Вилкул Ю.Г., Слободянюк В.К., Максимов И.И.** Обоснование рациональных зон использования карьерных автосамосвалов разной грузоподъемности // Разработка рудных месторождений. - Кривой Рог. - 2008. - № 92. - С.3-7
6. **Vilkul Y., Slobodyanyuk V., Maximov I.** Optimization of capacity and the number of crushing and transfer stations at the deep open pits // Metallurgical and Mining Industry. - 2016. - № 4. - P. 116-120
7. **Протасов В. Ю.** Максимумы и минимумы в геометрии. / **В. Ю. Протасов** // М.: МЦНМО, 2005. — 56 с.
8. **Успенский В. А.** Некоторые приложения механики к математике / **В. А. Успенский** // М.: Физматгиз, 1958. - 48 с.
9. **Люстерник Л.А.** Кратчайшие линии (вариационные задачи) / **Л. А. Люстерник** // М.: Гостехиздат, 1955. — 104 с.
10. **Paul J. Nahin**, When Least Is Best : How mathematicians discovered many clever ways to make things as small (or as large) as possible, Princeton University Press, 2011 - «The Fermat/Steiner Problem » pp=279-286
11. **Boltyanski V., H. Martini H., Soltan V., Geometric Methods and Optimization Problems**, vol. 4, Springer, coll. « Combinatorial Optimization », 1998 - § 18 : «The classical Fermat-Torricelli problem»
12. **Берн М.У.** Поиск кратчайших сетей // В мире науки. - 1989. - № 3. С. 64-70
13. **Казак А.Л., Лемперт А.А., Нгуен Г.Л.** Оптимизация системы коммуникаций с учетом региональных особенностей: математическая модель и численный метод // Вестник ИрГТУ. 2014. Т.95, №12, С. 17-22
14. **Лисин А.В., Фийзуллин Р.Т.** Эвристический алгоритм поиска приближенного решения задачи Штейнера, основанный на физических аналогиях // Компьютерная оптика. 2013. Т 37, №4, С. 503-510
15. **Шевяков Л. Д.** Определение места заложения подъемного ствола / **Шевяков Л. Д.** - М.: Углетехиздат, 1947. - 43 с.
16. **Белозеров В.И.** Оптимизация вскрытия рабочих горизонтов карьера// ГИАБ. - М.: Изд-во МГГУ, 2012. - №6. - С. 88-94.

УДК 622.8: 614.8: 331.452

Т.О. НЕГРІЙ, ст. викладач, С.Г. НЕГРІЙ, канд. техн. наук, доц., С.В. РІХЕРТ, магістрант ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Україна

## ПРО ВПЛИВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ ГІРНИКІВ НА РІВЕНЬ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ

**Мета.** Метою статті є встановлення впливу енергоємності робіт на рівень травматизму при виконанні операцій в рамках виробничого процесу.

**Методи дослідження:** фізіологічні методи вивчення трудових процесів: хронометраж робочого дня, методи дослідження нервово-м'язового апарату, дослідження зовнішнього дихання і газообміну, методи дослідження серцево-судинної системи.

**Наукова новизна.** Новизна роботи полягає у розробці наукових засад щодо оптимізації графіків організації робіт з урахуванням фізичних можливостей гірників. З використанням результатів розрахунку енергетичних витрат гірників, на основі встановлених залежностей та вимірювань частоти серцевих скорочень у шахтарів, при виконанні підоперацій були визначені сумарні енерговитрати при виконанні комплексу робіт, які передували травмуванню їх виконавцю.

**Практична значимість.** На конкретному прикладі здійснено обґрунтування необхідності врахування психофізіологічних умов праці при проектуванні безпечних технологічних схем ведення гірничих робіт, які б враховували режими праці-відпочинку працівників.

**Результати.** Встановлено взаємозв'язок між показниками важкості праці та рівнем виробничого травматизму, що є підґрунтям для подальшого вивчення фізіології праці гірників задля забезпечення більш комфортних та безпечних умов праці.

**Ключові слова:** травматизм, умови праці, енергетичні витрати, графік організації робіт, працездатність, компенсаційний відпочинок.

**Постановка проблеми.** Виробничий травматизм у вугільній галузі України з 1993 по 2014 р. при зменшенні обсягу виробництва в 2,1 рази зменшився в 5,07 рази [1]. Але, незважаючи на це, вугільна промисловість залишається лідером серед інших галузей за найвищим рівнем виробничого травматизму. Велика частина травм, отриманих в підземних виробках шахт (75,7%), пов'язана з чотирма небезпечними виробничими факторами: зсуви і обвалення - 31,4%; транспорт і підйом - 29,1%; машини та механізми - 8,1%; вибухи газу і пилу - 7,1% [1]. До цього переліку варто додати травмування від падінь людей і предметів, на які сумарно припадає близько 7,6% випадків. В таких умовах питання забезпечення оптимальних умов праці шахтарів є вельми актуальним.

**Аналіз досліджень і публікацій.** З погіршенням гірничо-геологічних умов розробки та збільшенням навантаження на лаву все частіше виникають різні аварійні ситуації. Причому, результати їх розслідувань, аналіз обставин і причин вказують на те, що все рідше відзначаються відмови машини й обладнання, а все частіше основною причиною аварій є людський фактор [2-6]. Але, не завжди, нещасні випадки, причиною яких зазначається людський фактор, відбуваються з провини робітника. Іноді працівникові складно оцінити ситуацію на робочому місці внаслідок наявності безлічі відволікаючих і маскуючих факторів (шум, запиленість та ін.), його психофізіологічного стану, зумовленого інтенсивністю і важкістю виконання операцій протягом робочої зміни. Людина починає допускати помилок в роботі, втрачає можливість стежити за обстановкою. Тоді основною причиною травмування робочого є недосконалі умови праці, які залежать від застосовуваних технологій, мікрокліматичних умов, ергономіки робочих місць, якості організації робіт і т.д. Важкі та напружені умови праці, особиста втома «провокують» гірника на спрощення операцій за рахунок зневаги вимогами правил безпеки и розпорядчих нормативних документів [1].

**Постановка завдання.** Встановити вплив фізичних можливостей гірників при виконанні операцій в рамках виробничого процесу на рівень виробничого травматизму досить складно. З цього питання існує обмежена кількість досліджень і здебільшого це роботи в області фізіології праці [7-10]. Тому необхідне встановлення впливу енергоємності робіт на рівень травматизму при виконанні операцій в рамках виробничого процесу.

**Викладення матеріалу та результати.** До основних технологічних процесів гірничого виробництва відносяться «Виймання вугілля в очисному вибої» і «Проведення гірничої виробки» [11]. Вони графічно зображуються у вигляді планогам або графіків організації робіт. Кожна



ня певних операцій та їх тривалість, можна встановити інтенсивність енерговитрат організму й оцінити важкість праці для конкретного робочого. Сумарні енерговитрати працівника ( $E_T$ , Ккал) при виконанні операції або їх сукупності, що складають певний виробничий цикл тривалістю  $T$  визначаються виразом

$$E_T = \sum_{i=1}^n (N_i t_i), \quad (1)$$

де  $t_i$  – тривалість виконання  $i$ -тої операції (підоперації), хв.,  
а середньозважені витрати енергії на виконання виробничого циклу ( $N_T$ , Ккал/хв.) з урахуванням вимушених перерв, складуть

$$N_T = \frac{k_w \sum_{i=1}^n (N_i t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i}, \quad (2)$$

де  $k_w$  – коефіцієнт щільності робочого часу [8].

Таким чином, для певного графіку організації робіт з виразу (2) можна розрахувати середньозважені енергетичні витрати за кожною підоперацією з урахуванням вимушених перерв.

Для визначення енергетичних витрат організму застосовуються такі способи розрахунку, як [8, 10]: визначення зменшення енергетичних ресурсів організму; вимір продукції тепла; розрахунок величини кисневого запиту; визначення кількості роботи, що витрачається при виконанні виробничих операцій, упродовж певного проміжку часу; розрахунок енерговитрат за частотою серцевих скорочень. Так чи інакше в деяких працях було визначено енергетичні витрати при виконанні окремих операцій. Було встановлено, що середній рівень енерговитрат гірників очисного вибою за зміну становить 4,4-6,4 Ккал/хв., найбільші енерговитрати будуть при ручному прибиранні гірничої маси в вибоях (відповідно, 7,4 і 10,3 Ккал/хв.) [12]. Середня величина енерговитрат у гірників при ходьбі по штреку складає 4,1-10 Ккал/хв.

Втрати енергії на підняття та опускання вантажу з [8, 13] можуть бути визначені формулою

$$N_i = \frac{1,43 \cdot 10^{-3}}{t_i} mg \left( h_n + \frac{h_o}{2} \right). \quad (3)$$

де  $N_i$  – енергетичні витрати організму, ккал/хв.,  $m$  – маса вантажу, кг,  $t_i$  – час виконання операції, хв.,  $h_n$ ,  $h_o$  – відповідно, висота підняття та опускання вантажу, м,  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>,  $l$  – відстань переміщення вантажу по горизонталі, м.

За результатами праць [10,14] оцінено спільний вплив кута нахилу гірничих виробок  $\beta$  (град.) та швидкості ходьби  $v$  (м/с) при пересуванні робочих по цим виробкам на енерговитрати організму  $N_b$  та з урахуванням маси вантажу, який може переміщуватись працівником. Була встановлена емпірична залежність

$$N_b = \left( 7,47 + 2,36 \sin^2 2\beta + 1,92v^2 + 3,2 \sin 2\beta - 4,23v \right) \left( 1 + 2,3 \frac{M_z}{M_0} \right). \quad (4)$$

де  $M_z$  та  $M_0$  – відповідно, маси вантажу та тіла людини, кг.

Також залежності було отримано для визначення витрат при пересуванні гірників по очисному вибою у різних перехідних положеннях тіла:

по-пластунськи:  $N_{oc} = 5,27 - 10,3 \sin^2 2\alpha + 9,07V^2 + 11,61 \sin 2\alpha + 9,49V$ ; (5)

навкарачки:  $N_{oc} = 9,97 - 5,2 \sin^2 2\alpha - 98,44V^2 + 2,71 \sin 2\alpha + 31,81V$ ; (6)

напівзігнувшись:  $N_{oc} = -1,61 + 5,4 \sin^2 2\alpha - 0,31V^2 + 4,53 \sin 2\alpha + 10,72V$ . (7)

Наведені вище залежності дозволяють визначати енергетичні витрати для обмеженої кількості операцій В деяких працях [8, 16] отримані енерговитрати за поодинокими роботами. Визначити енергетичні витрати робітника за іншими операціями можна за частотою серцевих скорочень (ЧСС). За фізіолого-ергонометричними характеристиками праці шахтарів з [8-10] отримаємо залежність енерговитрат  $N$  від ЧСС, яка має вигляд

$$N = 0,149 \text{ ЧСС} - 10,68. \quad (8)$$

Але для використання цієї залежності необхідне проведення вимірювань частоти серцевих

скорочень у гірників при виконанні певних операцій. Тому в умовах шахт ДП «Селидіввугілля» та ДП «Шахтоуправління «Південнодонбаське №1» здійснювались вимірювання ЧСС у гірників при виконанні ними різних робіт, від спуску їх у стволі, пересування по виробкам до виймання вугілля відбійними молотками, перенесення елементів кріплення, тощо. Деякі результати розрахунку енергетичних витрат за результатами вимірів ЧСС наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Результати визначення енерговитрат організму шахтаря при виконанні окремих операцій	
Найменування робіт	Середня величина енерговитрат, Ккал/хв.
Відбивання вугілля відбійним молотком у ніші	6,0
Прибирання вугілля лопатою у положенні стоячи	5,9
Перекидання вугілля лопатою у положенні на колінах	5,9
Відбивання породи відбійним молотком у положенні стоячи	10,9
Зачищення підшви виробки лопатою	6,9
Перекидання породи лопатою у положенні стоячи	10,1
Встановлення дерев'яних стійок у лаві	8,5
Перенесення дерев'яних стійок по виробці	9,0
Встановлення дерев'яних стійок підсилення у виробці	8,1
Перенесення дерев'яного бруса	6,9
Затягування закріпного простору дерев'яною затяжкою	2,8
Перетягування ніжки аркового кріплення по підшві	9,5
Установлення ніжки аркового кріплення	5,7
Затягування замкових з'єднань кріплення	6,9
Розкріплення замкових з'єднань кріплення	6,1

Цей масив даних та встановлені залежності (3)-(7) можуть бути використані для визначення важкості робіт, що виконуються у рамках виробничих процесів, з метою подальшого оперативного корегування умов праці шахтарів та забезпечення їх допустимих параметрів. На прикладі виробничого процесу, що був розглянутий раніше (рис. 1), можна оцінити енергетичну вартість робіт, при виконанні яких були травмовані працівники. За даними таблиці 1 здійснено розрахунок енергетичних витрат за цими операціями (підопераціями).

Для графіка (рис. 1) показник  $N_T$  змінюється від 3,1 до 13,3 ккал/хв., але умовна межа важкості безперервної роботи без відпочинку для працездатних чоловіків складає 4,2 ккал/хв., що свідчить про те, що переважно мають місце роботи, при яких допустимий показник енерговитрат перевищено. Якщо порівняти сумарні фактичні витрати енергії при виконанні підоперацій з їх допустимим значенням, згідно Гігієнічної класифікації праці [16], то їх співвідношення може бути охарактеризоване коефіцієнтом відносної інтенсивності праці [17]

$$k_i = \frac{N_T}{4,2}, \quad (9)$$

де 4,2 – умовна межа важкості безперервної роботи без відпочинку для працездатних чоловіків, ккал/хв.

У випадках, коли  $k_i \geq 1$ , умови праці відносяться до шкідливих, інакше - робітник виконує свої обов'язки в оптимальних та допустимих умовах. Тому для забезпечення безпечних і комфортних умов праці обов'язкове виконання умови

$$k_i < 1 \quad (N_T < 4,2). \quad (10)$$

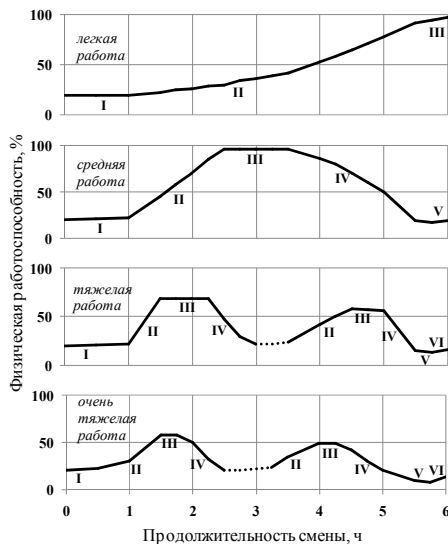
Як бачимо з рис. 1, перевищення допустимого показника енерговитрат при виконанні комплексу робіт, що передувало отриманню травм, склало від 7 до 75% (в середньому 33%). Показовими є випадки, які відбулися у II та IV зміни, коли було отримано травми на початку зміни. Перша, п'ята та шоста події (в порядку їх нанесення на графік від початку II-ої зміни) мали місце, коли виконувались роботи з перевищенням граничної норми у середньому в 2,1 рази. Це доказ того, що рівень травматизму залежить від умов праці робочих, які регламентовані графіком організації робіт. Стовідсотково стверджувати про те, що саме важкість праці була причиною травмувань буде неправильним, тому що є багато факторів, які на це могли вплинути. Але ж стверджувати зворотне, що важкість праці не вплинула рівень травматизму, також буде помилковим. Підоперації, що наведені на рис. 1, виконувались вручну, мали велику трудомістких операцій, та характеризувались надмірною інтенсивністю праці. Це обтяжуючі чинники, які вплинули на результат.

Для уникання таких подій є потреба у впровадженні технологічних або організаційних за-

ходів. Для цього необхідно або зміна трудомісткої технології кріплення сполучення лави (наприклад, застосування механізованого кріплення сполучення), або збільшення кількості працівників при виконанні операції, або планування перерв на компенсаційний відпочинок. Будь-яке з цих рішень потребує техніко-економічного обґрунтування. Більш ефективним, на нашу думку було б планування перерв на відпочинок, тому що періодичні планові перерви протягом зміни дозволяють досягти найбільшої продуктивності праці.

Виконання умови (10) безпосередньо залежить від працездатності людини - показника, який характеризує її здатність підтримувати необхідний рівень роботи протягом певного проміжку часу при високих якісних показниках трудової діяльності. Для гірників варто говорити про фізичну працездатність, де визначальними факторами є тренуваність і вроджені здібності людини, вік, стать, загальний стан здоров'я, емоційна стійкість, конституція і м'язова маса, а також вплив навколишнього середовища (наприклад, час дня, температура, вміст кисню в повітрі, зручність і освітленість робочого місця).

Працездатність людини впродовж робочої зміни характеризується такими фазами [18]: I- перед робочий стан, II- впрацьовуваність, III- стійка працездатність, IV- період втоми, V- період зростання продуктивності після відпочинку, VI- період прогресивного зниження працездатності, VII- період відновлення. Всі ці фази протягом зміни мають місце, коли буде передбачений відпочинок робітників в процесі виконання обов'язків, інакше все обмежиться I-IV фазами. Для різних категорій по тяжкості роботи тривалості цих фаз будуть різні, причому для легкої роботи протягом зміни все може обмежитися I-III фазами (рис. 2).



**Рис. 2.** Графіки зміни працездатності робітника протягом шестигодинної зміни в залежності від важкості виконуваних робіт (пунктирною лінією показаний перерву для відпочинку)

Для інших категорій ці фази можуть повторюватись декілька разів, в залежності від кількості і тривалості перерв на відпочинок. Якщо розглядати дані графіки з точки зору безпеки виконання робіт, то найбільш небезпечною є IV фаза, тому що в цей час організм знаходиться в стані, коли відчувається яскраво виражене відчуття втоми, знижується продуктивність, сповільнюється швидкість реакції, з'являються помилкові і невчасні дії, фізіологічна втома. Тоді необхідна перерва на компенсаційний відпочинок, тривалість і характер якої визначається тяжкістю виконуваних робіт і по відношенню до часу фактичного виконання роботи ( $BO, \%$ ) визначається за формулою [8]

$$BO = \left( \frac{N_T}{4,2} - 1 \right) 100\%, \quad (17)$$

тому вираз, щодо визначення тривалості перерви на відпочинок ( $t_r$ , хв.), буде мати такий вигляд

$$t_r = \left( \frac{N}{4,2} - 1 \right) t_w, \quad (18)$$

де  $t_w$  – тривалість виконання роботи, хв.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Узагальнення результатів досліджень з фізіології людини при фізичних навантаженнях і трудовій діяльності дозволяє нам зробити висновки про те, що безпека праці гірників істотно залежить від енергоємності робіт і часу відпочинку. Довести дане твердження можливо встановленням взаємозв'язку між травматизмом при виконанні енергоємних операцій і показниками важкості трудового процесу, що й було показано на прикладі конкретного виробничого процесу.

Майже всі нещасні випадки можуть бути пов'язані з працездатністю та втомою працівника, але у подальших дослідженнях, на нашу думку, варто розглянути випадки щодо травмування

робітників при їх падінні та падінні предметів при переміщенні, тому що вони в більшій мірі пов'язані з фізичною здатністю людини.

Взагалі ж мета, яка була визначена у цій статті була досягнута і ці результати досліджень можуть бути підґрунтям для подальшого вивчення фізіології праці гірників задля забезпечення більш комфортних та безпечних умов праці.

#### Список літератури

1. **Долженков, А.Ф.** Анализ основных направлений создания безопасных условий труда рабочих угольных шахт / **А.Ф. Долженков, Т.А. Негрей** // Вісті Донецького гірничого інституту / Красноармійськ 2015, №1(36)-2(37), – С. 123-129.
2. **Шевченко, В.Г.** Разработка научно-методических принципов повышения готовности систем „горнорабочие – очистной комплекс“ к высокопроизводительной и безопасной работе / **В.Г. Шевченко** // Науковий вісник НГУ, 2010, № 9.– С. 88-93.
3. **Paul, P. S., & Maiti, J.** (2007). The role of behavioral factors on safety management in underground mines. Safety Science, 45(4), 449–471. doi:10.1016/j.ssci.2006.07.006.
4. **Булат, А.Ф.** Методичне забезпечення визначення готовності систем «гірники – очисний комплекс» до підвищення безпеки вуглевидобутку / **А.Ф. Булат, В.Г. Шевченко** // Науковий вісник НГУ. – 2010. – №7-8. – С. 113-118.
5. **Касьянов, М.А.** Визначення межі фізичного навантаження на людину за споживанням нею кисню / **М.А. Касьянов, В.О. Медяник, О.О. Андріанова, І.В. Савченко** // Сб.научн.тр.МакНІИ по безоп.работ в горн.пром-ти «Спос.и средст.созд.безоп.и здор. условий труда в угольн.шахтах». – Макеевка – Донбасс: МакНІИ, 2009. – Ч.1. – С. 162-170.
6. **Ковшевний, А.П.** Формализм – основная причина производственного травматизма / **А.П. Ковшевний, А.В. Васильев, В.Л. Шкригун** // Уголь Украины. – 2002. – №6. – С. 29-32.
7. **Browne, R. C.** (1973). Safety and health at work: The Robens Report. British Journal of Industrial Medicine, 30(1), 87–91. doi:10.1136/oem.30.1.87.
8. **Руководство по физиологии труда** / Под ред. **З.М. Золиной, Н.Ф. Измерова**. – М.: Медицина, 1983, 528с.
9. **Солонин, Ю.Г.** Возрастание особенностей некоторых физиологических функций в процессе работы у лиц тяжелого физического труда / **Ю.Г. Солонин, С.Н. Масленцова, З.М. Кузнецова** // Физиология человека. 1981.- т.2, №2.- С. 221-228.
10. **Исследовать условия применения различных типов респираторов при ведении горноспасательных работ и разработать Концепцию защиты органов дыхания горноспасателей** / Отчет по 2 этапу НИР, НПО «Респиратор», Донецк, 1994.- 26 с.
11. **Негрей, Т.А.** О безопасности труда горнорабочих при выполнении основных производственных операций / **Т.А. Негрей** // Вісті Донецького гірничого інституту / Покровськ, 2016, №1(38), – С. 84-94.
12. **Головкова, Н.П.** Оценка условий труда, профессионального риска, состояния профессиональной заболеваемости и производственного травматизма рабочих угольной промышленности / **Н.П. Головкова, А.Г. Чеботарёв, Н.О. Каледина, Н.А. Хелковский-Сергеев** // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) 2011. №57.- С. 9-40.
13. **Цугленок, Н.В.** Методика расчета энергозатрат работающих на тушении лесных пожаров / **Н.В. Цугленок, Ю.Т. Цай** // ВесникКрасГАУ. - 2005.- №11.- С. 227-230.
14. **Марийчук, И.Ф.** Энергозатраты членов аварийно-спасательных подразделений / **И.Ф. Марийчук, О.В. Папазова, А.А. Онасенко, А.А. Гаврилко** // Горноспасательное дело. 2011.-Вып. 48- С. 172-181.
15. **Чеботарёв, А.Г.** Тяжесть и напряжённость труда работников при добыче полезных ископаемых, меры профилактики / **А.Г. Чеботарёв, В.В. Матюхин** // Журнал "Горная Промышленность".- 2013. - №4 (110). С. 66 (<http://mining-media.ru/ru/article/prombez/4679-tyazhest-i-napryazhjonnost-truda-rabotnikov-pri-dobyche-poleznykh-iskopaemykh-meru-profilaktiki>)
16. **Державні санітарні норми та правила «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу»** // Затв. наказом МОЗ України №248 від 08.04.2014.
17. **Бухалков, М.И.** Внутрифирменное планирование: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 392с.
18. **Кукин, П.П.** Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: учеб. пособие / П.П. Кукин. – М.: Высшая школа, 2002. - 319 с.

Рукопис подано до редакції 15.04.17

УДК 621.01:681.3: 658.5

А.В. ПІКІЛЬНЯК, канд. техн. наук., доц., Криворізький національний університет

## РОЗРОБКА СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ГРАФІТОВИХ ВКЛЮЧЕНЬ ПРИ АНАЛІЗІ МІКРОСТРУКТУРИ ЧАВУНУ

**Метою** дослідження є розробка системи автоматизованого мікроструктурного аналізу для вирішення конкретних задач. Створення планується в форматі окремих модулів під конкретні задачі матеріалознавства, що дозволить молодим науковцям, які позбавлені фінансування, вирішувати задачі, пов'язані з їх професійним спрямуванням.

Елементом **наукової новизни** є питання розробки сучасної вітчизняної системи автоматизованого мікроструктурного аналізу на етапі аналізу графітових включень у чавуні. Викладено результати проведення мікроструктурного аналізу та обробки отриманих результатів, а також перелік використаного обладнання.

У роботі сформульовано актуальність проблеми, пов'язаної з необхідністю переходу від стандартних методів мікроструктурного аналізу до сучасних, які є більш точними і потребують мінімум втручання людини. Дослідження проводились на зразках циліндричної форми. Матеріал КЧ35-10. У процесі цифрової обробки отриманих зображень використано **метод** Вейвлет аналізу. Для аналізу графітових включень для визначення відношення Ферит-Перліт встановлюються порогові рівні градації сірого так, щоб на нетравленому зразку можна було виявити графіт. Графітна фракція використовується для розрізнення між графітом і перлітом, тому що їх схожість в відтінках сірого робить їх практично невідмітними один від одного. Після завершення аналізу, програма автоматично обчислює відсоток графітної фракції, яка зберігається в проміжній звіті.

**Практична значимість** полягає в тому, що розроблена програма в комбінації з можливостями сучасної цифрової техніки для мікроструктурного аналізу дозволяє визначати параметри графіту точно і багаторазово. Програмний пакет розроблені відповідно до міжнародного стандарту ISO 945-1:2008. Передбачена можливість автоматичного генерування звіту, заснованого на даних аналізу.

**Результати** дослідження показали, що розроблена система є універсальною і може взаємодіяти з будь-яким оптичним обладнанням (компактні цифрові металографічні мікроскопи, аналогові мікроскопи з цифровим окуляром, професійні цифрові металографічні мікроскопи), але яке, в свою чергу задовольняє вимоги, що висуваються при мікроструктурному аналізі.

**Ключові слова:** мікроструктурний аналіз, графіт, чавун, система розпізнавання, матеріалознавство, сфероїдизація.

**Проблема і її зв'язок з практичними задачами.** У лабораторії металографії, завдання аналізу ступеня сфероїдизації графіту в чавуні, його розміру, форми і розподілу, а також відношення Ферит-Перліт, має вкрай важливе значення з точки зору контролю якості [1-5]. Так як чавун використовується у виробництві широкого спектру прецизійних виробів, верстатобудівна промисловість є яскравим прикладом того, як контроль якості чавуну грає життєво важливу роль у виготовленні деталей, що вимагають підвищеної міцності і зносостійкості: бази і корпуси, станини верстатів, зубчасті колеса.

Крім того, графіт, що міститься в чавуні допомагає погасити вібрації і шум від двигуна. Високоміцний чавун вибирають за його унікальні механічні властивості, він в свою чергу, дозволяє знизити рівень шуму і вагу, при одночасному зниженні собівартості. Метою мікроструктурного аналізу чавуну є отримання наступних важливих характеристик:

- тип графіту (форма);
- розподіл графіту;
- розмір графіту;
- ступень сфероїдизації графіту;
- процент включень графіту;
- відношення Ферит-Перліт.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Для оцінки мікроструктури графіту в чавуні використовують міжнародний стандарт ISO 945-1:2008 [3,5,6]. Цей стандарт представлений трьома параметрами: тип (форма), розподіл і розмір графіту. Класифікація форм графітних включень, змінюється від I до VI. Тип VI вказує на кулясту форму (високоміцний чавун - графіт у вигляді куль), в той час як тип I відповідає ковкому чавуну (графіт у вигляді пластівців). Відсоток графіту, фериту і перліту відповідає величині, займаній кожною структурою в матеріалі. Визначення таких параметрів є класичним прикладом оцінки відсотка площі включень.

Історично склалося так, що більшість лабораторій контролю якості здійснюють аналіз чавуну за допомогою атласів методом порівняння [7,8,13,14]. При цьому оператор здійснює візуальну оцінку параметрів шляхом порівняння реального зображення під оптичним мікроскопом (зазвичай при 100-кратному збільшенні) з атласом мікрознімків. Оскільки чавун зазвичай аналізується за кількома параметрами, порівняння різних графіків може зайняти багато часу. Оскільки результати інтерпретуються оператором, ця методологія може привести до неточних і часто невідтворюваних результатів, між різними операторами. Крім того, оператор повинен вручну ввести свої результати в електронні таблиці або звіт, що веде за собою виникнення нових помилок.

Для сучасної лабораторії контролю якості, завданням є створення повністю автоматизованого виконання мікроструктурного аналізу чавуну і документування результатів, в повній відповідності з ISO 945-1:2008 [6] або іншим міжнародним чи вітчизняним стандартом, усуваючи будь-які потенційні неточності [9-15].

**Мета досліджень.** Метою дослідження є розробка системи автоматизованого мікроструктурного аналізу для вирішення конкретних задач. Створення планується в форматі окремих модулів під конкретні задачі матеріалознавства, що дозволить молодим науковцям, які позбавлені фінансування, вирішувати задачі, пов'язані з їх професійним спрямуванням. Це викликано потребою у придбанні професійних автоматизованих комплексів, які звичайно вирішують широкий спектр задач, але які потребують занадто великих капіталовкладень.

**Викладення матеріалу та результати.** В даному дослідженні завдяки досягненням в області цифрової мікроскопії, розроблено спеціальне програмне забезпечення в програмному пакеті Matlab на основі Вейвлет аналізу для реконструкції та подальшого аналізу зображення включень шаровидного графіту у структурі чавуну, рис. 1.



Рис. 1. Цифровий компактний мікроскоп для проведення аналізу

Матеріал КЧ35-10. Оператор може проводити аналіз отриманих зображень мікроструктури чавуну, згідно з широким спектром міжнародних стандартів. Протягом декількох натискань миші, нетравлений зразок може бути повністю проаналізовано на розмір графіту, форму, ступінь сфероїдизації і розподіл.

При розгляді питання про вибір мікроскопа для аналізу чавуну, більш важливим, ніж цифрова роздільна здатність є розмір пікселя, точніше щільність пікселів. Використовуємо

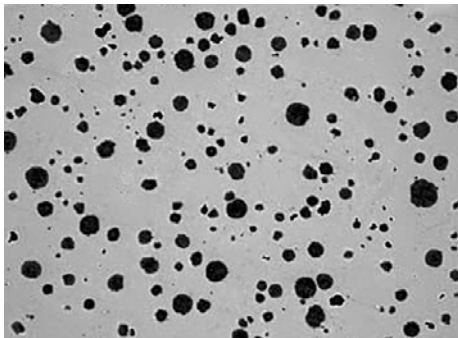
цифровий компактний мікроскоп з наступними характеристиками:

- роздільна здатність: 2.0 Мрх;
- максимальна роздільна здатність: 1600×1200 рх;
- коефіцієнт збільшення: 1X ~ 1000X (ручне);
- максимальна частота кадрів: 30 кадр/с;
- можливість створення знімків (JPEG, BMP), запис відео (AVI);
- фокус: 0-40 мм;
- інтерфейс: USB 2.0, USB 1.1;
- живлення: 5 В від USB;
- підсвітка: 8 LED;
- довжина USB-кабеля: 1.45 м;
- розміри мікроскопа (довжина і діаметр): 140 мм та 40 мм;

Цей мікроскоп має можливість здійснювати передачу зображення в градаціях сірого, що було одним з критеріїв вибору обладнання для експерименту, оскільки в розробленому програмному забезпеченні аналіз чавуну може бути належним чином виконаний тільки в режимі градацій сірого (установка порогових параметрів простіше, ніж в кольоровому режимі).

Послідовність проведення аналізу. Для здійснення аналізу може бути використаний комп'ютер з мінімальними вимогами продуктивності. В першу чергу проводиться захоплення цифрового зображення поверхні заздалегідь підготовленого мікрошліфа, а потім на основі закладених в програмному забезпеченні алгоритмів перетворення зображення здійснюють подальший аналіз.

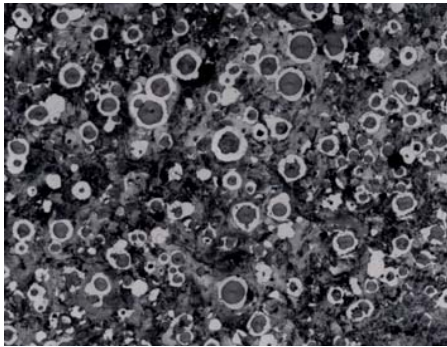
Для аналізу графітових включень встановлюються порогові рівні градації сірого так, щоб на нетравленому зразку можна було виявити графіт (рис. 2).



**Рис. 2.** Результати мікроструктурного аналізу графітових включень

Після завершення аналізу, програма автоматично обчислює відсоток графітної фракції, яка зберігається в проміжний звіт. Ця фракція буде використовуватися в подальшому при аналізі співвідношення перліт-ферит протравленого зразка. Графітна фракція використовується для розрізнення між графітом і перлітом, тому що їх схожість в відтінках сірого робить їх практично невідмінними один від одного.

Для визначення відношення Ферит-Перліт встановлюються порогові рівні градації сірого для виявлення фериту (рис. 3).

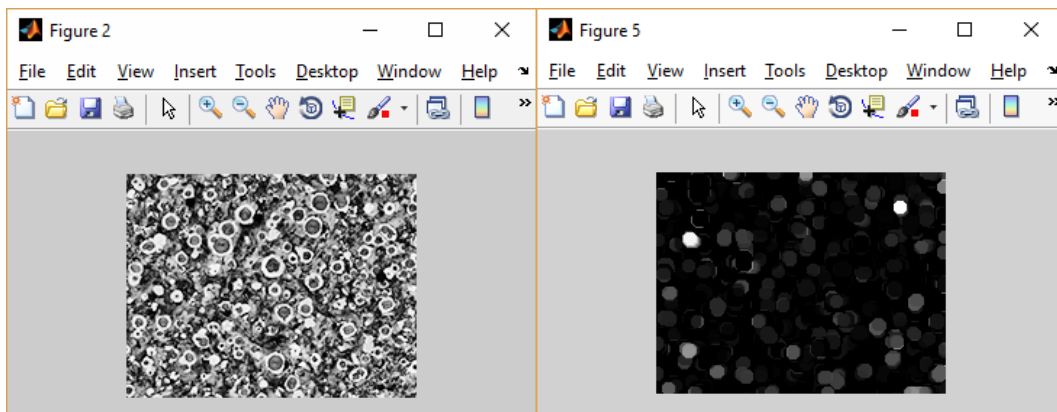


**Рис. 3.** Протравлений зразок, для визначення співвідношення ферит-перліт

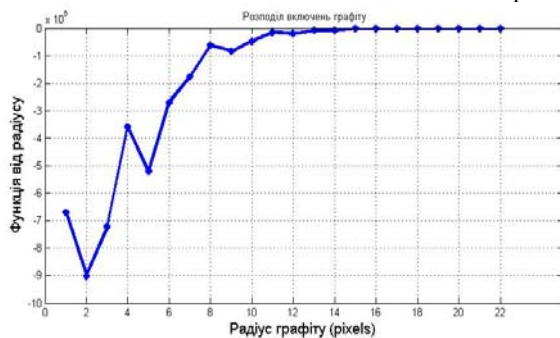
Оскільки графіт і перліт мають схожі значеннями в відтінках сірого, відсоток графіту враховується з попереднього аналізу на процентний вміст графіту. Для уникнення помилкового виявлення фериту застосовується морфологічний фільтр для виділення яскравих пустот в перліті.

Зображення аналізується відповідно до обраного стандарту (рис. 4). Після завершення аналізу, всі дані автоматично заносяться в таблицю результатів безпосередньо в програмному забезпеченні.

На підставі заздалегідь визначеного шаблону, автоматично генерується звіт, що включає результати аналізу чавуну (рис. 5). Звіти, що містять відповідні дані аналізу і пов'язані з ними зображення, також можуть бути отримані з мінімальним рівнем підготовки.



**Рис. 4.** Аналіз зображень відповідно до обраного стандарту



**Рис. 5.** Результати мікроструктурного аналізу

Відтворюваність дослідів перевірялася за критерієм Кохрена. При цьому кількість порівнюваних вибірок становило  $m=4$ , кількість дослідів в серії - 35, обсяг кожної вибірки  $n=50$ , рівень значущості був прийнятий на рівні  $p = 0,05$ .

Результати обробки експериментальних даних наведені в табл. 1.

Результати статистичної обробки експериментальних даних

Діапазон радіусів графіту	Критерій Кохрена	
	G розрахунковий	G табличний
$R_1$	0,3567	0,3720
$R_2$	0,3601	0,3720
$R_3$	0,3496	0,3720
$R_4$	0,3512	0,3720
$R_5$	0,3385	0,3720
$R_6$	0,3694	0,3720
$R_7$	0,3478	0,3720
$R_8$	0,3639	0,3720
$R_9$	0,3534	0,3720
$R_{10}$	0,3686	0,3720

Для усіх отриманих експериментальних даних, розрахункове значення критерію Кохрена менше табличних значень. Таким чином, розроблений метод і експериментальний програмно-апаратний комплекс що його реалізовує дозволяють коректно відновлювати функцію розподілу графітових включень за розмірами. Похибка відновлення функції розподілу графітових включень за розмірами.

Результати дослідження показали, що розроблена система є універсальною і придатна для роботи як з аналоговими мікроскопами з цифровим окуляром, так і з професійними цифровими металографічними мікроскопами.

**Висновок.** Розроблена програма в комбінації з можливостями сучасної цифрової техніки для мікроструктурного аналізу дозволяє визначати параметри графіту точно і багаторазово, а втручання людини зведено до мінімуму. Програмний пакет розроблений відповідно до міжнародного стандарту ISO 945-1:2008. Передбачена можливість автоматичного генерування звіту, заснованого на даних аналізу. Напрямок подальшого вдосконалення методу, є створення бази даних для архівації та швидкого і легкого пошуку зображень і пов'язаних з ними даних, а також розширення можливостей системи для охоплення більш широкого спектру матеріалів (металів, порошків, покриттів).

### Список літератури

1. Аналізатор зображень "Thixomet". Режим доступу: <http://ukrintech.com.ua/produktsiya/metallografiya/programmnoe-obespechenie/>
2. Минаев А.А., Смирнов А.Н., Лейрих И.В. Металлопродукция: сертификация, маркировка, упаковка. Учебное пособие. – Донецк: Норд-Пресс, 2006. – 291 с.
3. Богачев И.Н. Металлография чугуна. М.: Машгиз, 1952. - 360 с.4.
5. Тен Э.Б., Тухин Э.Х., Воронцов В.И., Ильюров А.Л. Прогнозирование формы графита в структуре чугуна / Э.Б. Тен, Э.Х. Тухин, В.И. Воронцов, А.Л. Ильюров // Экспресс обзор Серия 10 Промышленность отопительного и санитарно-технического оборудования. - М.:ВНИИЭСМ. 1991, №4. - С.3-10.
6. ISO 945-1:2008. Microstructure of cast irons — Part 1: Graphite classification by visual analysis.
7. Юнусов Ю.Ю., Осмаков В.Н. Исследование макро- и микроструктуры металла неразрушающим методом при помощи металлографического комплекса / Ю.Ю. Юнусов, В.Н. Осмаков // Металловедение и термическая обработка металлов, 2002, №2, - С. 36-37.
8. Яковлев А.В. Система обработки изображений шлифов металлов / А.В. Яковлев // Радиотехника, телевидение и связь. Межвуз. сборник научн. трудов. – Муром: Изд-во Муромского института (филиала) ВлГУ, 1999.
9. Мартюшев Н.В. Программные средства для автоматического металлографического анализа / Н.В. Мартюшев // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – С. 1-6.
10. Гонтовой С.В., Емельянов В.А. Автоматизированная компьютерная система 153 металлографического контроля качества металлов / С. В. Гонтовой, В. А. Емельянов // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – № 5(46). – С. 197 – 202.
11. Стась О.М., Гаврилюк В.П. Комп'ютерні методи дослідження в металографічному аналізі / О.М. Стась, В.П. Гаврилюк // Методи дослідження та контролю якості металів. — 2000. — №1—2. — С.48—52.
12. Повстяной О.Ю., Заболотний О.В., Чміль І.І. Комп'ютерні методи дослідження в металографічному аналізі за допомогою прикладних програм / О.Ю. Повстяной, О.В. Заболотний, І.І. Чміль // Наукові нотатки. – Луцьк: ЛДТУ, 2004. – Випуск 15. – С.244-251
13. ГОСТ 1778-70 Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений.
14. ГОСТР ИСО 4967-2009 Сталь. Определение содержания неметаллических включений. Металлографический метод с использованием эталонных шкал.
15. ГОСТ 3443-87 Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры.

Рукопис подано до редакції 19.03.17

УДК 622. 274. 53:622. 063. 44:622. 234. 5

В. М. ТАРАСЮТИН, канд. техн. наук, доц., А. В. КОСЕНКО, ассистент, аспирант  
Криворожский национальный университет

## РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКИ БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД НА ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТАХ ШАХТ

**Цель.** Исследование и разработка ресурсосберегающих геотехнологий очистной выемки природно-богатых железных руд на базе скважинной гидротехнологии и самоходного оборудования, позволяющих повысить качество товарной продукции и эффективность ведения горных работ.

**Методы.** Конструктивно-функциональный анализ системы разработки подэтажного обрушения, численный анализ и оценка параметров обнажений очистных камер, моделирование на эквивалентных материалах технологического процесса выпуска руды, технологическое проектирование схем очистной выемки богатых руд, технико-экономическая оценка вариантов системы разработки.

**Научная новизна.** Установлено, что в условиях разработки глубоких горизонтов железорудных шахт рациональные технологические параметры процессов геотехнологий очистной выемки определяется геомеханическими условиями и комплексами применяемой геотехники. Получили дальнейшее развитие зависимости: трансформации напряженно-деформированного состояния вокруг выработанных пространств и горных выработок при разработке железорудных месторождений; рациональных режимов высокоинтенсивного выпуска рудной массы; оптимизации схем комплексной механизации процесса доставки рудной массы.

**Практическое значение.** Для наклонно-падающих средней мощности железорудных залежей, представленных зонально-распределёнными массивами разносортных природно-богатых руд средней и ниже средней крепости и устойчивости, разработаны рациональные ресурсосберегающие технологические схемы процессов очистной выемки, обеспечивающие раздельное получение рудного суперконцентрата, высококачественной чистой руды и рядовой рудной массы без повышения себестоимости добычи.

**Результаты.** Впервые разработаны ресурсосберегающие варианты комбинированной системы разработки подэтажным обрушением с образованием устойчивых согласно падающих компенсационных пространств путём опережающей выемки наиболее богатой части массивов руд скважинной гидротехнологией и последующей отработкой рядовых запасов второй очереди технологией с отбойкой руды веерами глубоких скважин оптимальной длины и ориентации и интенсивным линейно-равномерным режимом выпуска рудной массы на базе высокопроизводительных комбинированных доставочных комплексов скреперных установок и самоходных погрузочно-доставочных машин. Комбинированная геотехнология очистной выемки, обеспечивает: простоту конструкции; высокую безопасность и санитарно-гигиенические условия; производительность очистного забоя – 70-110 тыс. т; производительность труда рабочего по системе – 60-80 т/чел. смену; потери – 10-15%; разубоживание – 3-7%; себестоимость – 65-75% от традиционной.

**Ключевые слова:** богатые многосортные железные руды, ресурсосберегающие технологии, глубокие горизонты, подэтажное обрушение, раздельная выемка, технологическая схема, самоходные машины и установки, скважинная гидротехнология, процессы очистной выемки, технико-экономические показатели.

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** Железорудные запасы подземных рудников Кривбасса ниже эксплуатируемых горизонтов (1200-1400 м) составляют около 800 млн т и размещены в структурированных по мощности наклонно- и крутопадающих мощных платообразных залежах много сортовых природно-богатых железных руд с содержанием железа от 52 до 69% (среднее 59%). При этом от 15 до 25% балансовых запасов представлены компактно залегающими высококачественными ( $Fe = 64-69\%$ ,  $SiO_2 = 3,0-0,9\%$ ) мартированными рудами [1], что создает исключительно перспективные предпосылки для организации производства железорудных концентратов высшего качества ( $Fe = 69,0-69,5\%$ ,  $SiO_2 = 0,5-0,15\%$ ) для использования в электросталеплавильной, порошковой и ферритовой металлургии [2].

Однако геоструктурные условия залегания и структурно-минералогические особенности высококачественных мартированных руд [3] не позволяет эффективно их разрабатывать на базе взрывной отбойки и донного выпуска под обрушенными породами.

Поэтому очистная выемка залежей ведётся различными вариантами системы подэтажного обрушения валово без учёта структурно-сортового состава рудных массивов в постоянно ухудшающихся горно-геологических условиях, связанных с увеличением глубины разработки месторождений [4,5].

В этих условиях перспективы развития системы разработки связаны с необходимостью решения двух ключевых проблем: снижение до конкурентоспособного уровня эксплуатацион-

ных затрат и снижение потерь и разубоживания на базе отдельной выемки разносортных руд [6] и существенной интенсификации технологических процессов [7].

**Анализ исследований и публикаций.** Проведенный анализ опыта применения системы разработки с поэтажным обрушением руд и вмещающих пород показал, что резервы дальнейшего конструктивного и технологического совершенствования очистной выемки железных руд средней и ниже средней крепости и устойчивости на основе применения стационарного и переносного оборудования в условиях глубоких горизонтов шахт бассейна практически исчерпаны: большой срок подготовки (4-6 мес.) и отработки очистных панелей (3,5-5,0 мес.) и, как следствие, двух- трёхкратное перекрепление выработок доставки и перебуривание 30-40% глубоких скважин; объём компенсационных камер не превышает 8-12%; в недрах остаётся более 20% балансовых запасов железных руд и примешивается 10-12% засоряющих пород; содержание железа в добытой руде (54-58%) существенно отстаёт от роста требований металлургов к качеству добываемого сырья (60-62%). Компенсация себестоимости возможна только при комплексном повышении производительности труда во всех процессах очистной выемки, а улучшение показателей извлечения при интенсификации горных работ высокопроизводительным оборудованием.

Исследования [7-11] показали, что: предлагаемые научно-технические решения по улучшению показателей извлечения руды ведут к резкому ухудшению геомеханической обстановки в выемочных единицах и, как следствие, повышению себестоимости очистной выемки; основные тенденции в развитии традиционных технологий добычи связаны с вытеснением камерными вариантами традиционных вариантов поэтажного обрушения, которые характеризуются при сопоставимой себестоимости, значительно худшими показателями потерь и разубоживания; максимальные упрощения конструкций системы разработки возможны за счёт применения самоходного оборудования. Оценка эффективности систем разработки месторождений в современных рыночных условиях основывается на выполнении принципа «максимум прибыли на конечный продукт», при котором коэффициент извлечения обосновывается техническими и экономическими уровнями горного производства по выпуску в данный период времени конкурентно способного металлургического сырья [12].

Развитие камерных вариантов системы поэтажного обрушения нуждается в геомеханическом обосновании и геотехническом обеспечении конкретных горно-геологических и горно-технических условий ведения горных работ. Это связано с совмещением процессов выемки камерных запасов и сокращением времени образования компенсационных камер. Одним из путей опережающей высокоинтенсивной камерной выемки зонально-распределённых запасов неустойчивых, высококачественных маритовых руд является скважинная гидротехнология [13]. Опытно-экспериментальная апробация технологических процессов гидромониторной отбойки, гидродоставки и обезвоживания гидросмеси, проведена на глубоких горизонтах шахт «Юбилейная» и «Родина» [14]. Результаты испытаний показали, что в условиях каждой из шахт Кривбасса («Родина», «Октябрьская», «Юбилейная» и «Гвардейская») можно добывать по 100-150 тыс. т маритового концентрата с содержанием железа 67,5-69% и двуокиси кварца 0,9-0,4%.

При отдельной добыче богатых железных руд в условиях глубоких горизонтов шахт требуется исследование и разработка рациональных конструкций технологии очистной выемки, позволяющих максимально совместить как функции технологических процессов, так и учесть реальные инженерно-технические условия залегания, свойства и состояния разрабатываемой залежи и обеспечить низкие потери и разубоживание, и высокие технико-экономические показатели извлечения руд.

**Постановка задач.** Рассматривается залежь железорудного месторождения, представленная платообразным рудным телом мощностью 20-30 м и углом падения 45-65°, сложенная зонально-размещаемыми согласно падающими слоями разнотипных природно-богатых железных руд средней и ниже средней крепости и устойчивости со средним содержанием железа 58-62%. Центральную часть залежи занимают 15-25% общих запасов рыхлосвязанные неустойчивые к взрывному разрушению глубокими скважинами и среднеустойчивые при шпуровом проведении выработок маритовые высококачественные руды (с содержанием железа 65-69%). Рудное тело залегает во вмещающих породах средней и выше средней устойчивости (со стороны висячего бока) и ниже средней устойчивости (со стороны лежачего бока).

Для рудо-породных массивов характерны пластообразное строение с неоднородными, по физико-механическим свойствам и трещиноватостью, геоструктурными элементами. Геологическое поле напряжений является геостатическим. При разработке формируется зона обрушения от выработанного пространства. Форма зоны обрушения определяется глубиной горных работ, мощностью и углом падения рудного тела, характером обрушения и сдвижения пород всякого бока: без отставания или с отставанием от горизонта очистных работ; с переходом в закрытую в массиве трубообразную зону.

Горные работы ведутся на глубинах 1300-1500 м ресурсосберегающей комбинированной системой подэтажного обрушения, с выемкой запасов высококачественных руд подземным вариантом скважинной гидротехнологии, а запасов рядовых руд традиционным способом со взрывной отбойкой и комбинированной механизированной доставкой. В качестве механизации горных работ используется современное самоходное, стационарное и переносное оборудование.

При исследованиях использовались: конструктивно-функциональный и технико-экономический анализ вариантов системы разработки подэтажного обрушения; геомеханический анализ параметров и выбор устойчивых обнажений камер; лабораторное моделирование на эквивалентных материалах технологического процесса выпуска руды под обрушенными породами; технологическое проектирование и технико-экономическая оценка схем очистной выемки богатых руд.

**Изложение материала и результаты.** Для выяснения параметров напряженно-деформированного состояния компенсационных камер в условиях глубоких горизонтов шахт бассейна проведено математическое моделирование методом конечных элементов с учётом: геологического строения рассматриваемого рудо-породного массива; деформационных и прочностных свойств трещиноватых геоструктурных элементов руд и вмещающих пород; распределения силовых полей в обрушенных породах зон обрушения и сдвижения. Комплекс задач решался поэтапно способом последовательных приближений в дополнительных напряжениях [15]. Среды считались упругими.

Анализ результатов моделирования показал, что в период, когда произошло обрушение и началось развитие сдвижения пород всякого бока от горизонта горных работ в сторону поверхности, в области очистной выемки с границами, отстающими от краевой части мощной рудной залежи на расстоянии до 300-500 м вглубь массива, отсутствуют зоны стационарного опорного давления, превышающего начальные компоненты гравитационного поля. В случае же консольного зависания подработанных вмещающих пород в всячем боку рудного массива в пределах горизонта горных работ появляется локальная область относительно повышенных напряжений, концентрация которых увеличивается с ростом пролета консоли. В области, охватывающей приконтактную часть лежачего бока залежи и вмещающих ее пород, сохраняется разгрузка начальных напряжений. Установлено, что поля напряжений в рудном массиве зоны горных работ при рассматриваемых формах выработанного пространства являются контрастно-дифференцированными и составляют соответственно 40-110% от геостатических у всякого бока и 35-70% – у лежачего бока залежи. Большие значения соответствуют максимальному зависанию пород всякого бока над выработанным пространством. При этом напряжения являются главными, максимальные компоненты которых ориентированы почти перпендикулярно к падению залежи. Максимальная концентрация напряжений приурочена к всяческому боку, с преимуществом горизонтальной компоненты. У лежачего бока поле напряжений приближается к одноосному вертикальному. Главные максимальные сжимающие напряжения в рудном массиве горизонта горных работ ориентированы вдоль границы контакта с зоной обрушения и только на расстоянии 100-150 м вглубь почти перпендикулярно, а минимальные – параллельно, падению структурообразующих пластов горных пород.

По результатам исследований для диапазона глубин разработки 1300-1400 м получены зависимости распределения напряжений в крест простирания мощной рудной залежи на горизонте горных работ.

Формирование изолированных камерных пространств в рыхлосвязанном массиве руд происходит последовательным циклическим расширением первичного ствола технологической скважины, вращающейся высоконапорной струёй воды. При этом образуется квазицилиндрическая наклонно-ориентированная падению запасов высококачественных руд полость диамет-

ром 5-9 м. Допустимый объём полости ограничивается фактором устойчивости рудного массива и мощностью технологического оборудования. Исследовались изменения объёмного и плоского напряженно-деформированного состояния рудного массива возле компенсационных пространств разной конфигурации – от единичной камеры до системы камер и до объединенного пространства, геометрические параметры которых отвечают разным объёмам извлекаемой руды. Результаты показали, что напряжённое состояние вокруг единичного пространства не превосходит 25-30% от исходных на горизонте горных работ. При этом максимальные напряжения являются сжимающими и затухают на расстоянии диаметра камеры от контура вглубь. При системе квазицилиндрических соосных компенсационных пространств наиболее напряжённо-дифференцированными являются околоконтурные области и области между камерами. При расстояниях между центрами камер меньших их диаметра, камеры начинают взаимодействовать с объединением в единое пространство. Оценка устойчивости рудных массивов вблизи компенсационных пространств разных форм по критерию Кулона-Мора показывает, что, за исключением околоконтурных участков, рудный массив сохраняет устойчивость. При этом критические напряжения, обуславливающие процесс разрушения, не действуют даже в околоконтурном массиве.

В результате исследований установлено, что при отработке мощных залежей параметры равноустойчивых камер, образованных гидромониторным способом, на горизонтах горных работ должны выбираться дифференцированно по формуле, м.

$$l_s^0 = K_s \cdot K_M \cdot K_\phi \cdot K_T \cdot l_0 + \Delta l \quad (1)$$

где  $l_s^0$  - горизонтальный или вертикальный пролёт камеры, м;  $K_s$  - коэффициент учитывающий влияние структурной неоднородности массива на начальное напряжённое состояние рудной залежи;  $l^0$  – предельный эквивалентный пролёт обнажений в камере в квазиоднородном массиве на горизонте горных работ;  $K_M$  – коэффициент учитывающий изменение параметров обнажений в зависимости от положения камеры в крест простирания залежи;  $K_\phi$  – коэффициент, учитывающий форму выработанного пространства;  $K_T$  – коэффициент учитывающий влияние фактора времени на устойчивое состояние обнажений;  $\Delta l$  – размер зоны взрывного разрушения рудного массива при скважинной отбойки, м.

Таким образом, применение на отбойке массивов рыхлосвязанных маритовых руд гидромониторной скважинной геотехнологии, позволяющей исключить сейсмическое воздействие на обнажения камер, что при рассматриваемых условиях приведёт к увеличению их объёма в 2-3 раза. При этом повышается безопасность горных работ и отработка залежей железных руд осуществляется в соответствии с современными требованиями по рациональному использованию недр.

На основании проведенных исследований были сформулированы принципы разработки ресурсосберегающей технологической схемы очистной выемки богатых железных руд средней и ниже средней крепости и устойчивости в условиях глубоких горизонтов шахт включающие:

придание устойчивых форм и размеров компенсационных пространств за счёт учёта комбинированного способа образования и начальной геомеханической обстановки в пределах технологических участков;

повышение эффективности параметров буровзрывного комплекса достигается за счёт учёта размещения скважин в зоне разгрузки массивов выемочных единиц и типа применяемого бурового оборудования;

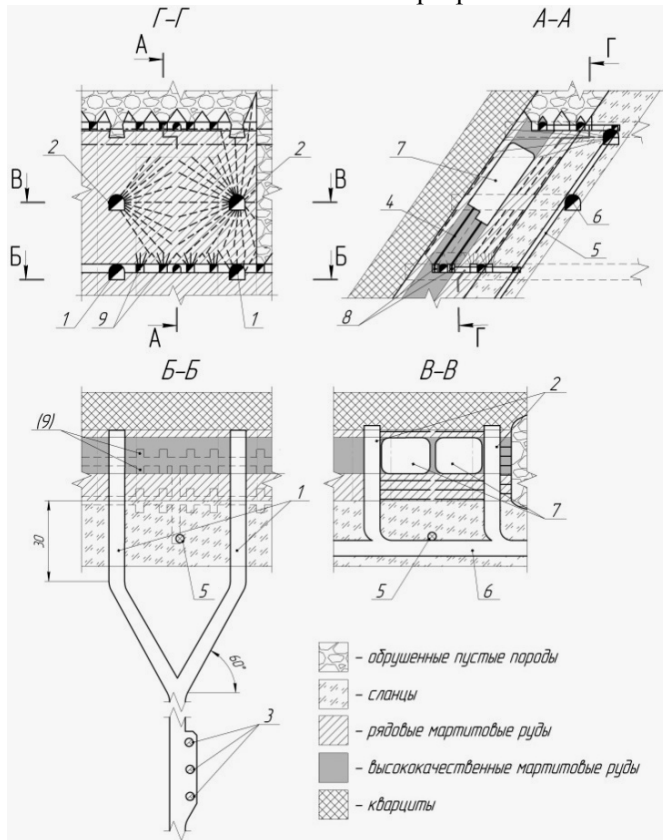
улучшение показателей извлечения рудных запасов при площадном выпуске обрушенных запасов под налегающими породами за счёт увеличения доли извлечения чистой руды путём непрерывно-равномерного и высокоинтенсивного режима выпуска её в доставочные штреки с двухсторонним скреперованием;

использование горизонтальной плоскости доставки с применением ковшовых погрузочно-доставочных машин и капитальных рудоспусков за счёт отказа от панельных вертикальных рудоспусков;

раздельная выемка богатых и рядовых руд и формирование селективных потоков руды различного качества достигается за счёт использования комбинированной трубопроводной, скреперной и самоходной (погрузочно-доставочными машинами) доставки сортов руды в капитальные рудоспуски;

установление рационального соотношения геометрических размеров выемочных единиц, параметров конструктивных элементов системы разработки, порядка очистной выемки, видов и типоразмеров применяемой геотехники осуществляется путём их совместной оптимизации.

На основе указанных принципов для условий глубоких горизонтов разработана общая технологическая схема системы разработки выемочной единицы залежи (рис. 1).



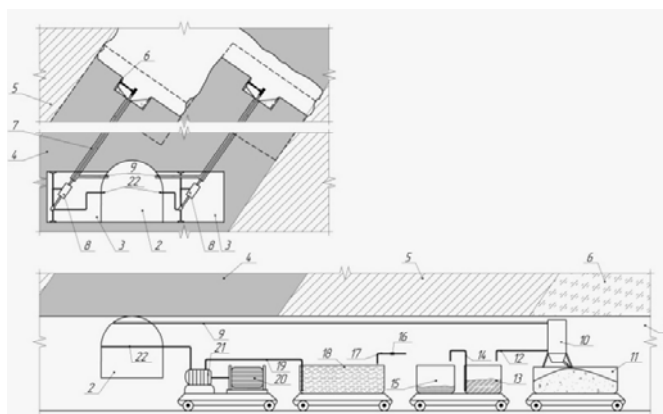
**Рис. 1.** Технологическая схема очистной выемки из залежей разнорудовых железных руд: 1 – погрузочно-доставочные орты; 2 – буровые орты; 3 – система капитальных рудоспусков; 4 – гидромониторные скважины; 5 – вентиляционный восстающий; 6 – транспортно-материальный штрек; 7 – компенсационные камеры; 8 – гидромониторные агрегаты; 9 – выпускные ниши

Способ включает в себя очистную панель и буро-доставочный целик. Технология очистных работ в панели заключается в образовании компенсационного пространства способом скважинной гидротехнологии, в бурении, зарядании и взрывании скважин в массиве панели, в скреперной двухсторонней доставке руды и рудной массы в буро-доставочный целик. В полный цикл технологии очистных работ в буро-доставочном целике входят образование крупногабаритных выпускных воронок, отбойке вышележащего массива с поочередным выпуском в доставочный машинный орт.

Для этого, по мимо перечисленных технологических процессов, входят оформление бурового горизонта, проходка буро-доставочных ортов через 35-40 м, из доставочных ортов в целике на высоте 2,0 м через 10-12 м проходят штреки скреперования и из них – через 5-7 м буро-выпускные ниши.

Камерная выемка запасов неустойчивых, высококачественных мартитовых руд осуществляется скважинной гидротехнологией модульного типа [14], обеспечивающей повышение безопасности горных работ, а так же улучшение санитарно-гигиенических условий труда горнорабочих.

В качестве технической базы может использоваться серийное шахтное буровое, насосное и транспортное оборудование объединенное в малогабаритные блочно-модульные, с изменяемой мощностью, передвижные комплексы, отличающиеся низкими энергозатратами и мобильностью перемещения между забоями (рис. 2).



**Рис. 2.** Технологическая схема цепи оборудования и устройств модульного комплекса скважинной гидравлической выемки мартитовых суперконцентратов в горных выработках: 1 – погрузочно-доставочный орт; 2 – штрек скреперования; 3 – выпускные ниши; 4 – высококачественные мартитовые руды; 5 – рядовые мартитовые руды; 6 – добычной гидромониторный забой; 7 – доставочная скважина; 8 – гидромониторный агрегат; 9 – пульповод; 10 – батарея гидроциклонов; 11 – контейнер суперконцентрата; 12 – шламовод; 13 – контейнер илового концентрата; 14 – перекачивающий насос с трубопроводом; 15 – дешламатор; 16 – кран; 17 – шахтная гидролиния технической воды; 18 – емкость технологической воды; 19 – гидролиния подачи технологической воды; 20 – электродвигатель; 21 – высоконапорный насос; 22 – гидролиния высокого давления

Отличительной особенностью технологии является нетрадиционный для железных руд способ гидромониторного разрушения мартитовой руды через восходящие скважины по замкнутой схеме, позволяющей, при определенном режимах, осуществлять селективную дезинтеграцию руд с полным раскрытием 70-90% рудных зерен, что в последующем исключает операции измельчения в процессах обогащения и упрощает операции концентрации оксидов железа и делает руду новым продуктом, расширяющим номенклатуру [14].

Технико-экономические показатели скважинной гидротехнологии: образование восходящих камер диаметром 5-9 м и высотой до 40 м; качество железорудного концентрата на 1,5-2,5% выше природного; производительность труда в 5-10 раз выше традиционной; материальные и энергетические затраты снижаются в 3-6 раз; себестоимость добычи руды составляет 50-60% от традиционной взрывной скважинной технологии; производительность агрегата гидромониторной отбойки через скважины диаметром 105 мм при напоре воды 3-8 МПа составляет 40-90 т/час; удельный расход технологической воды составляет 1-2 м<sup>3</sup>/т; влажность обезвоженной рудной массы составляет 5-10 %; длина самотечной доставки гидросмеси из технологической скважины по горизонтали достигает 20-25 м, а сжатым воздухом - неограниченна. Основные преимущества разработанной технологии - малооперационность и поточность, гибкость в управлении концентрацией и объемами работ, хорошая совместимость с традиционными горными технологиями.

Отбойка основного массива рядовой руды в очистной панели осуществляется наклонными слоями вееров глубоких скважин, пробуренных самоходными буровыми установками, расположенными по простиранию, согласно падению рудных структур залежей на продольное компенсационное пространство, что обеспечивает минимальную энергоемкость и удельный расход ВВ, ввиду предварительной разгрузки основной части рудного массива от главных сжимающих статических напряжений удельный расход ВВ не зависит от глубины горных работ. При этом необходимо располагать буровые выработки в крест простирания, а глубокие скважины – в плоскости геоструктурных элементов залежей.

Руда основного массива выемочной единицы постадийно отбивается на плоское днище, которое лучше всего подходит для использования комбинированной разносторонней доставки двумя скреперными лебёдками и самоходной погрузочно-доставочной машины. При этом на смежных флангах панелей на подошве погрузочно-доставочных ортов из скреперного штрека формируются навалы руды. Экономико-математическое моделирование показало, что наиболее оптимальной является схема, представленная на рис. 1, обеспечивающая на расстоянии 150-200 м селективность доставки разносортных руд с производительностью 1000-1500 т/смену. Основным преимуществом данной схемы является простота организации работ и высокая экономическая эффективность процесса.

Оптимальным является линейно-непрерывный режим выпуска руды и рудной массы, когда извлечение осуществляется одновременно из всех выпускных отверстий с одинаковой интенсивностью по всей площади зоны выпуска [16]. Определение показателей разработанного процесса выпуска руды осуществлялось методом физического моделирования с использованием эквивалентных материалов для горно-геологических и горнотехнических условий отработки очистных панелей. Экспериментальная объемная модель выполнена в масштабе геометрического подобия 1:100. В качестве эквивалентного сыпучего материала использовалась измельченная руда, измельченный гранит и пластиковые разноцветные шарики, которые отражают разное качество разрушения руд и вмещающих пород. Методика моделирования включала определение количества чистой руды при разной интенсивности выпуска (производительность доставки), очередности отработки выпускных линейных зон (от лежащего бока к висячему и наоборот) разного диаметра и расстояния между выпускными отверстиями.

Исследование линейно-непрерывного режима выпуска руды показало:

линейно-непрерывный режим выпуска руды зонами от лежащего до висячего бока и наоборот существенно не отличается (2-3%) по показателям извлечения чистой руды;

пропорциональное увеличение диаметра выпускных воронок и расстояния между ними не обеспечивает увеличения объемов извлечения чистой руды (разница составляет 1,0-1,2%);

объемы фигур выпуска руды при интенсивном линейно-непрерывном режиме последовательными зонами на 5-10% превышает сумму объемов фигур выпуска из тех же выпускных отверстий в процессе равномерно-последовательного режима выпуска;

линейно-непрерывный режим выпуска руды по сравнению с нерегулируемым (на практике рудников) обеспечивает повышение извлечения чистой руды на 20-30% и общее снижение потерь на 14-18%.

Конструкции вариантов системы подэтажного обрушения является гибкими и позволяют переходить на участках неустойчивых и малопрочных руд от схем камерных вариантов к вариантам массового обрушения. В таблице 1 приведены основные технико-экономические показатели для разработанных вариантов комбинированной ресурсосберегающей системы разработки природно-богатых железных руд с обрушением руды и вмещающих пород.

Таблица 1

Технико-экономические показатели вариантов системы разработки природно-богатых железных руд с обрушением руды и вмещающих пород

Наименование показателя	Показатели при разных вариантах системы разработки			
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$
Погашаемый запас руды в выемочной единице, $A_n$ , тыс.т	90	126	126	126
Среднее содержание железа:				
в погашаемых запасах руды, $p$ , %	62	62	62	62,6
вразубоживающих породах, $q$ , %	40	40	40	40
Добыто рудной массы, $A_d$ , тыс. т	68	108,4	112,7	108,4
Засорение руды, $R$ , %	10	7	5	7
Потери руды, $P$ , %	32	20	15	20
Себестоимость очистной выемки, $C$ , грн/т	76,4	75,1	74,5	72,5
Среднее содержание железа в руде, $q$ , %	59,8	60,5	60,9	61,1
Оптовая цена руды с влажностью 5%, грн/т	661	669	673	875
Общая экономическая эффективность, тыс. грн		8725	11797	31337
Удельная экономическая эффективность, грн/т		69	94	249

где  $B_1$ - $B_4$  - соответственно базовая система разработки подэтажного обрушения с использованием переносного оборудования; вариант подэтажного обрушения с использованием самоходного оборудования; камерный вариант подэтажного обрушения с использованием самоходного оборудования; комбинированный вариант подэтажного обрушения с использованием самоходного оборудования и скважинной гидротехнологии.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Основные результаты работы сводятся к следующему.

Сложные инженерно-геологические условия эксплуатации залежей природно-богатых железных руд на глубоких горизонтах рудников Кривбасса, а также жесткие экономические ограничения вызывают необходимость разработки и освоения инновационных технологий на принципиально новых, отличных от традиционных, основах.

Ресурсосберегающие технико-экономические показатели горных работ возможно обеспечить комбинированными технологиями очистной выемки с отдельным высокоинтенсивным извлечением разносортных запасов выемочных единиц на базе нетрадиционной скважинной гидротехнологии и высокопроизводительного самоходного оборудования, обеспечивающих повышение безопасности и эффективности горных работ, а также улучшение санитарно-гигиенических условий труда горнорабочих.

Одним из путей значительного повышения объемов устойчивых компенсационных пространств в разнотипных неустойчивых рудных массивах, залегающих в сложных инженерно-геологических условиях, является опережающая камерная выемка запасов высококачественных маргитовых руд скважинной гидротехнологией на базе самоходных добычных комплексов модульного типа.

Разработаны рациональные варианты системы подэтажного обрушения с отбойкой руды вертикальными веерами глубоких скважин оптимальной длины и ориентации при различных объемах компенсационного пространства, существенно превосходят варианты традиционной системы разработки по простоте конструкции, безопасности, санитарно-гигиеническим условиям и технико-экономическим показателям ведения горных работ.

## Список літератури

1. Глушко В.Т. Инженерно-геологические особенности железорудных месторождений / Глушко В.Т., Борисенко В. Г. – М.: Недра, 1978. – 253 с.
2. Технология комплексной переработки и использования богатых руд гидродобычи КМА / Л. А. Ломовцев, А. В. Максимов, Ф. М. Журавлев [и др.] // Горный журнал. –1995. – №1. – С. 39-42.
3. Тарасютин В. М. Геотехнологические свойства высококачественных маритовых руд глубоких горизонтов шахт Кривбасса / В. М. Тарасютин // Науковий вісник НГУ. – 2015. – №1. – С. 54-59.
4. Чернококур В. Р. Добыча руды с поэтажным обрушением / В. Р. Чернококур, Г. С. Шкробко, В. И. Шелегада. – М.: Недра, 1992. – 271 с.
5. Черненко А. Р. Подземная добыча богатых железных руд / А. Р. Черненко, В. А. Черненко. – М.: Недра, 1992. – 224 с.
6. Дулин А. Н. Управление качеством на предприятии при раздельной и валовой выемке ископаемых / А. Н. Дулин, Б. Ю. Сердюновский, Р. А. Дулина – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2002. – 34 с.
7. Волков В. М. Основные направления развития геотехнологии и геотехники подземной разработки рудных месторождений / Волков Ю. В., Соколов И. В. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – №11. – С. 270-272.
8. Ступнік М. І. Стан і перспективи розвитку підземних гірничих робіт у Криворізькому басейні / Ступнік Н. І., Колосов В. О., Калініченко В. О. // Розробка родовищ: зб. наук. пр. – 2013. – Т.7 – С. 223-228.
9. Ступник Н. И. Пути совершенствования технологии подземной разработки богатых руд Кривбасса / Н. И. Ступник, М. И. Кудрявцев, А. М. Басов // Вісник Криворізького технічного університету. – 2010 – Вип. 26. – С. 23-26.
10. Кудрявцев М. И. Сравнительная оценка систем поэтажного обрушения по фактору извлечения чистой руды в условиях подземного Кривбасса / М. И. Кудрявцев, Н. И. Ступник, Т. С. Грищенко // Вісник КТУ. – 2011 – Вип. 28. – С. 3-5.
11. Проблемы геотехнологических процессов комплексного освоения суперкрупных рудных месторождений / под ред. К. Н. Трубецкого, Д. Р. Каплунова. – М.: ИПКОН. – 2005. – 248 с.
12. Колесников В. И. Особенности рационального недропользования при освоении месторождений богатых руд / В. И. Колесников, В. И. Стрельцов, С. Э. Мининг // Горный информационно-аналитический бюллетень (Научно-технический журнал). – 2000. – №9. – С. 31-36.
13. Сквaziнная гидродобыча полезных ископаемых / В. Ж. Аренс, О. М. Гридин, Е. В. Крейнин и др. – М.: Изд-во «Горная книга», 2007. – 295 с.
14. Тарасютин В.М. Экспериментальные исследования процессов сквaziнной гидротехнологии в шахтных условиях / Тарасютин В. М., Гирич В. С., Монастырский Ю. А. // Разработка рудных месторождений. – 1998 – Вип. 63. – С. 16-20.
15. Курленя М. В. Техногенные геомеханические поля напряжений / М. В. Курленя, В. М. Серяков, А. А. Ерёмченко. – Новосибирск: Наука, 2005. – 264 с.
16. Савич И. Н. Современные тенденции в развитии технологии с обрушением и их совершенствование при подземной разработке апатитовых месторождений Хибин / И. Н. Савич, А. С. Кузьменко // Горный информационно-аналитический бюллетень (Научно-технический журнал). – 2005. – №13. – С. 218-220.

Рукопись поступила в редакцию 18.04.17

УДК 539.3: 622.233

В.М. ЗДЕЩИЦ, д-р техн. наук, проф., А.В. ЗДЕЩИЦ, аспирант  
Криворізький державний педагогічний університет

## ПОШИРЕННЯ ПРУЖНИХ ХВИЛЬ В СТЕРЖНЯХ ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ

**Мета.** Вимірювання тривалості удару та швидкості поширення пружних хвиль в металевих стрижнях змінного перерізу, а також визначення залежності швидкості від геометричних та фізичних характеристик стрижня.

**Методи дослідження** засновані на використанні відомих положень теорії удару, розв'язку задач про подовжнє зіткнення стрижнів. Для проведення вимірювань застосовувалися сучасні цифрові прилади. Експериментальна обробка даних виконувалася, в основному, методом найменших квадратів. Розрахунки і аналіз експериментальних даних виконувалися з використанням сучасної обчислювальної техніки і програмного забезпечення.

**Наукова новизна.** Вперше отримана синусоподібна функціональна залежність швидкості поширення пружної хвилі від калібру ступінчастого стрижня, тобто від форми бічної поверхні стержня.

**Практична значимість.** Розроблено спосіб отримання величини максимальної швидкості подовжньої хвилі в зразках гірської породи. Ці дані можна використовувати для аналізу напружено-деформованого стану гірського масиву та інших об'єктів при їх ударному навантаженні.

**Результати.** При ударі в стрижні як у твердому тілі поширюються хвилі кількох типів з різними швидкостями. Проведений аналіз поширення пружних хвиль в круглих стрижнях показав, що значення середньої швидкості поши-

рення хвилі в коротких стрижнях відрізняється від швидкості хвилі, яка визначається в одновимірній теорії. Для вимірювання швидкості пружних хвиль використовувалися два способи: а) за часом розповсюдження пружної хвилі в стрижні (реєстратор – п'єзодатчик), б) за часом зіткнення двох стрижнів (електроконтактний метод). Тривалість контакту визначалася як різниця часу з моменту початку контакту до моменту, коли всі точки торця стрижня відійдуть від перешкоди. Досліджувалися ступінчасті стрижні довжиною 100 мм та діаметром 10 мм. Довжина сходинки діаметром 5 мм змінювалася в межах 0-100 мм. Теоретичні та експериментальні дослідження на розроблених та виготовлених установках довели, що існують дві характерні області, в яких швидкість поширення пружної хвилі в трьохвимірному стрижні кінцевої довжини відрізняється від величини швидкості хвилі в одновимірному стрижні. Максимальної швидкості хвиля досягає, коли довжина сходинки становить 0,2 від довжини стрижня. Для заліза ця швидкість склала величину 5958 м/с, алюмінію 6098 м/с, латуні 4065 м/с. Існує значення калібру, при якому середня швидкість поздовжньої хвилі мінімальна, що обумовлено істотним впливом на неї поперечних коливань. Це доводить помилковість обчислення напружено-деформованого стану стрижня в одновимірному наближенні.

**Ключові слова:** швидкість поширення пружної хвилі, тривалість удару, одновимірні, двовимірні стержні

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Швидкість поширення пружних хвиль в гірській породі є одним з основних параметрів для розрахунків, пов'язаних з енергоефективністю вибуху свердловинного заряду, визначенням місцезнаходження неоднорідностей та порожнин в гірській породі, вимірюванням показників деформації (модуля Юнга і коефіцієнта Пуассона) безпосередньо в тілі гірського масиву тощо. Розробка теоретичних представлень в геомеханіці, як правило, починається і закінчується натурним експериментом [1, с.28]. Значення швидкості найчастіше визначають в зразках гірської породи циліндричної форми, причому обчислюють напружено-деформований стан стержня в одновимірному наближенні не враховуючи поперечних хвиль розвантаження, що йдуть від бічної поверхні стрижня.

З іншого боку енергоємність руйнування гірської породи при бурінні шпурів і свердловин, залежить від форми ударних імпульсів інструменту, їх амплітуди, частоти і тривалості [2].

Процес зіткнення стрижнів один з одним або з перешкодою є предметом численних теоретичних і експериментальних досліджень [3-15]. Кількість робіт в цій галузі безперервно зростає, оскільки питання сучасного машинобудування, військової, гірничої справи змушують дослідників все глибше проникати у внутрішні закономірності процесу удару.

У зв'язку з цим слід визнати, що провідна роль у дослідженні явищ, пов'язаних з ударом твердих тіл, належить в даний час експериментальним роботам.

Отже, робота з експериментального дослідження поширення пружних хвиль в стрижнях змінного перерізу є актуальною, а результати роботи мають практичну значимість.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Класична теорія зіткнення твердих тіл, створена рядом дослідників, починаючи з Галілея; розглядала співудар тіл як абсолютно твердих, а процес зіткнення - як миттєвий. Ця теорія дозволяла визначити лише результат удару - зміна швидкостей тіл. Внутрішні закономірності процесу удару - його тривалість (час удару), величина контактних сил і деформацій - залишалися нерозкритими.

Г. Герцу вдалося розрахунковим шляхом встановити залежність величини контактної сили і тривалості зіткнення тіл від їх мас і швидкостей до удару на основі гіпотези про те, що зв'язок між контактною силою і місцевою деформацією тіл при ударі така ж, як і при статичному їх стисканні. Поряд з теорією Герца, яка враховує тільки місцеві деформації і не бере до уваги деформації тіл далеко від майданчика контакту, розроблена теорія удару пружних тіл, що враховує їх загальні деформації і не враховує місцевих деформацій в перші миті ударної взаємодії.

Хвильова теорія удару, яка пристосована до поздовжнього удару по стрижню постійного перерізу, була вперше запропонована Нав'є. Невдала форма рішення в тригонометричних рядах не дозволила Нав'є виявити всі особливості поздовжнього удару і перш за все, виключала можливість визначення напружень. Пізніше Сен-Венан і Буссінеск знайшли розв'язок задачі одновимірного поздовжнього удару за допомогою розривних функцій, що дозволило безпосередньо простежити поширення хвиль деформації вздовж стрижня. Проведена низкою дослідників експериментальна перевірка хвильової теорії удару не дала цілком задовільних результатів, що змусило критично поставитися до лежачих в її основі гіпотези плоских перерізів і нехтування поперечним рухом частинок стрижня, а також припущення, що поверхні зіткнення є паралельними площинами.

Наявні в дійсності відхилення від гіпотези плоских перерізів повинні бути особливо помітні поблизу фронту хвилі; наявність цих відхилень призводить до того, що фронт хвилі поступово розмивається, крутизна його зменшується. Очевидно, що відхилення від гіпотези плоских перерізів будуть позначатися тим сильніше, чим більше відношення діаметра стрижня до його довжини.

Недостатність як тих теорій, які враховують тільки місцеві деформації, але нехтують загальними, так і тих, які враховують лише загальні і нехтують місцевими деформаціями, змусила шукати «синтетичну» теорію удару, яка враховувала б місцеві і загальні деформації.

Для поздовжнього удару така теорія була розроблена Сірсом. Розглядаючи зіткнення стрижнів із сферичними кінцями Сірс припустив, що гіпотеза плоских перетинів справедлива для всього стрижня, за винятком невеликої прилеглої до кінця стрижня ділянки, в межах якої напружений стан є різко неоднорідним. Деформації ділянки, що лежать поблизу кінця стрижня, розраховуються за формулами Герца, для розрахунку решти стрижня використовується хвильова теорія. Розрахунки Сірса були підтверджені експериментами.

Як видно із сказаного вище, труднощі пов'язані з теоретичним описом процесу удару, змушують вводити ряд спрощених гіпотез, в більшості випадків вони не підтверджуються в достатній мірі експериментами, а всі методи розрахунку процесу удару є наближеними.

Так, в роботах [9-11], проведено числове моделювання процесу відскоку стержнів кінцевої довжини від абсолютно жорсткої перешкоди, а також поширення пружних хвиль в круглих стержнях в двовимірній постановці. Рівняння руху, що були використані для описання напружено-деформованого стану середовища в лагранжевих координатах, мали вигляд [3-5]

$$\begin{aligned} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial t} &= \left[ \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial w}{\partial z} + \alpha \frac{u}{r} \right], \\ \rho \frac{\partial u}{\partial t} &= \frac{\partial S_{rr}}{\partial r} + \frac{\partial S_{rz}}{\partial z} + \alpha \frac{S_{rr} - S_{\theta\theta}}{r} - \frac{\partial p}{\partial r}, \\ \rho \frac{\partial w}{\partial t} &= \frac{\partial S_{rz}}{\partial r} + \frac{\partial S_{zz}}{\partial z} + \alpha \frac{S_{rz}}{r} - \frac{\partial p}{\partial z}, \\ \frac{\partial e}{\partial t} &= \frac{p}{\rho^2} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \left[ S_{rr} \frac{\partial u}{\partial r} + S_{zz} \frac{\partial w}{\partial z} + \alpha S_{\theta\theta} \frac{u}{r} + S_{rz} \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} \right) \right], \\ \frac{\partial r}{\partial t} &= u, \quad \frac{\partial S_{rr}}{\partial t} = 2\mu \left( \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{3\rho} \frac{\partial \rho}{\partial t} \right), \\ \frac{\partial z}{\partial t} &= w, \quad \frac{\partial S_{zz}}{\partial t} = 2\mu \left( \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{1}{3\rho} \frac{\partial \rho}{\partial t} \right), \\ \frac{\partial S_{\theta\theta}}{\partial t} &= 2\mu \left( \alpha \frac{u}{r} + \frac{1}{3\rho} \frac{\partial \rho}{\partial t} \right), \quad \frac{\partial S_{rz}}{\partial t} = \mu \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} \right), \end{aligned} \quad (1)$$

де  $\rho$  - густина середовища;  $u, w$  — компоненти вектора швидкості в проекції на вісь координат  $r, z$  відповідно;  $t$  — час;  $e$  — питома внутрішня енергія. Тензор напруги представлений у вигляді

$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} + S_{ij} \quad (i=1, 2, 3, j=1, 2, 3),$$

де  $p = \frac{1}{3} \sum_1^3 \sigma_{ii}$ ;  $S_{ij}$  - девіатор напруги з компонентами  $S_{rr}, S_{zz}, S_{\theta\theta}, S_{rz}$ ;  $\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & i=j \\ 0, & i \neq j \end{cases}$ ;  $\mu$  - модуль зсуву. Вважається, що напруги при розтягуванні позитивні і негативні при стисканні. Величина  $\alpha=1$  відповідає осесиметричному деформованому стану.

Для замикання системи рівнянь (1) використовується модель пластичної течії, тобто другий інваріант девіатора тензора напружень в області пластичності задовольняє умову текучості Мізеса

$$S_{rr}^2 + S_{zz}^2 + S_{\theta\theta}^2 + 2S_{rz}^2 \leq \frac{2}{3} Y_0^2, \quad (2)$$

де  $Y_0$  - межа текучості, яка визначається із результатів експериментів на одновісний розтяг. Рівняння стану середовища представлялась у вигляді

$$P = a_1(\eta - 1) + a_2(\eta - 1)^2 + a_3(\eta - 1)^3 + a_4\eta e, \quad (3)$$

де  $\eta = \rho/\rho_0$ ;  $\rho_0$  - початкова густина;  $a_1, a_2, a_3, a_4$  - постійні:  $a_1 = K, a_2 = a_3 = a_4 = 0$ .

Результати цих робіт підтвердили вплив розмірів стрижня на швидкість поширення пружної хвилі та час контакту із перешкодою.

Ще раніше Александров Е.В. показав, що коефіцієнт передачі енергії залежить не лише від маси ударника і його швидкості, але і від геометричної форми тіл, що ударяються. Отже, слід визнати, що закінченої теорії удару тіл складної геометричної форми не існує. Тому експериментальне дослідження поширення пружних хвиль в круглих стрижнях змінного перерізу для верифікації результатів числового моделювання в двовимірній постановці є актуальною, а результати роботи затребувані.

**Постановка завдання.** При чисельному моделюванні відскоку осесиметричних стрижнів від твердої перешкоди передбачається, що швидкість поширення пружних хвиль в стрижнях дорівнює подвійній довжині стрижня, поділеній на час контакту. При цьому передбачається, що внесок в кінетичну енергію доданків, що описують поперечний рух частинок стрижня, дуже малий. Оскільки не враховуються дотичні напруження, внесок потенціальної енергії зсувів також не враховується. Для таких стрижнів використовується одновимірна теорія і швидкість поширення хвиль в таких стрижнях визначають як  $c = \sqrt{E/\rho}$ .

Для доведення необхідності врахування поперечних хвиль розвантаження, що йдуть від бічної поверхні стрижня, в наших експериментах використовуються ступінчасті стрижні зі змінною довжиною сходинки, а також стрижні в формі усіченого конуса. Результати експериментів повинні довести істотну залежність швидкості поширення пружних хвиль від форми бічної поверхні і тим самим довести помилковість обчислення напружено-деформованого стану стрижня в одновимірному наближенні. Для доведення цієї гіпотези було проведено:

аналіз результатів чисельного моделювання процесу зіткнення стрижня кінцевої довжини з абсолютно жорсткою перешкодою;

аналіз поширення пружних хвиль в однорідних круглих стрижнях;

вимірювання тривалості удару та швидкості поширення пружних хвиль в металевих стрижнях круглого східчасто-змінного перерізу.

**Викладення матеріалу та результати.** Проведемо аналіз залежності швидкості поширення пружної хвилі в однорідних стрижнях від геометричних і фізичних параметрів стрижня. При симетричному зіткненні двох однакових круглих стрижнів, в разі, якщо площа контакту розглядається як жорстка перешкода, задача зіткнення стає еквівалентною задачі про удар об жорстку перешкоду стрижня довжиною  $L$  і радіусом  $R$  зі швидкістю  $v_0$ .

Координата  $z$  відраховується від перешкоди вздовж осі стрижня в напрямі, протилежному до напрямку його руху. Матеріал стрижня вважаємо абсолютно пружним.

У табл. 1 наведено характеристики матеріалів, використані в даній роботі ( $\rho$  - густина,  $K$  - об'ємний модуль пружності,  $\mu$  - модуль зсуву,  $\lambda$  - постійна Ляме,  $\nu$  - коефіцієнт Пуассона,  $c_e$  - швидкість поширення пружної хвилі в одновимірному стрижні,  $c_p$  - швидкість поздовжніх хвиль,  $c_s$  - швидкість поперечних хвиль,  $c_\lambda$  - швидкість хвиль в тонкому шарі).

При ударі стрижня об жорстку перешкоду в початковий момент часу торець стрижня в усіх точках стикається з перешкодою і залишається в контакті з нею протягом деякого часу, після чого він відразу або поступово відділяється від перешкоди. В якості часу контакту вибирається час з моменту початку контакту до моменту, коли всі точки торця стрижня відійдуть від перешкоди.

Таблиця 1

Характеристики матеріалів

Матеріал	$\rho \cdot 10^7, \text{ кг/м}^3$	$K, \text{ ГПа}$	$\mu, \text{ ГПа}$	$\lambda, \text{ ГПа}$	$\nu$	$c_e \cdot 10^3, \text{ м/с}$	$c_p \cdot 10^3, \text{ м/с}$	$c_s \cdot 10^3, \text{ м/с}$	$c_\lambda \cdot 10^3, \text{ м/с}$
Алюміній	2,70	69	27	51	0,33	5,14	6,23	3,16	5,44
Залізо	7,88	170	80	117	0,29	5,13	5,92	3,19	5,37
Мідь	8,90	137	48	105	0,34	3,80	4,75	2,32	4,05

З розв'язку пружної задачі про контакт одновимірного стрижня з перешкодою при ударі відомо, що час контакту дорівнює

$$t_K = 2L / c_e. \quad (1)$$

У загальному випадку в стрижні як у твердому тілі поширюються хвилі кількох типів з різними швидкостями. На підставі формули (1) припустимо, що в стрижні поширюється хвиля з невідомою середньою швидкістю  $c$ , такою що після проходження хвилею відстані, рівної двом довжинам стрижня, за час  $t_K$  відбувається відскік стрижня. Таким чином, середню швидкість хвилі знайдемо за формулою

$$c = 2L / t_K, \quad (2)$$

а час контакту візьемо, виходячи з результатів роботи [14], де він визначався за допомогою програмного комплексу KRUG, призначеного для чисельного розв'язування динамічних задач механіки. Для визначеності розглянемо удар однорідного стрижня діаметром  $D=10$  мм і калібром  $L/D=0,1 \div 10,0$  об абсолютно жорстку перешкоду. Поперечні напруги в стрижні відсутні.

На рис. 1 наведено розрахункову залежність відносної середньої швидкості хвилі  $c'$  від калібру для однорідних стрижнів з алюмінію [11] ( $c'$  - відношення швидкості хвилі  $c$ , знайденої за формулою (2), до швидкості  $c_e$ ).

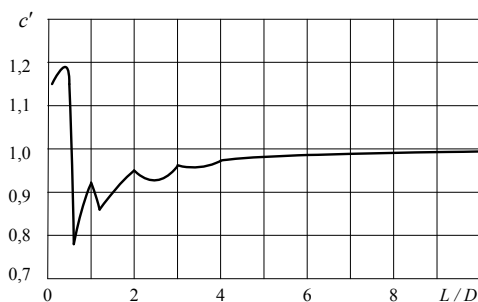


Рис. 1. Залежність відносної середньої швидкості хвилі від калібру стрижня

Аналіз даних, представлених на рис. 1, дозволяє зробити наступні висновки:

при малих значеннях калібру стрижня ( $L/D < 1$ ) швидкість поширення хвилі близька до швидкості поздовжніх хвиль  $c_p$  (це пояснюється тим, що більш повільні поперечні хвилі, що зароджуються на вільній циліндричній межі, не встигають вплинути на поздовжню хвилю, довжина шляху поширення якої незначна в порівнянні з радіусом стрижня);

при збільшенні калібру середня швидкість хвилі  $c$  прямує до швидкості  $c_e$  (починаючи з розміру стрижня, рівного трьом калібрам, відмінність між

швидкістю хвилі і швидкістю  $c_e$  становить менше 3%);

існує таке значення калібру ( $L/D=0,6$  для алюмінію), при якому середня швидкість поздовжньої хвилі мінімальна, що обумовлено істотним впливом на неї поперечних коливань.

Для кожного матеріалу мінімальне значення середньої швидкості різне відповідно до калібру стрижня. Для оцінки калібру, при якому має місце мінімум відносної середньої швидкості, використовуємо відношення поперечної і поздовжньої швидкостей  $c_s/c_p$ , значення якого є постійною величиною для матеріалу стрижня.

На рис. 2 показано залежність значення калібру  $K_{min}$ , при якому швидкість хвилі досягає мінімуму, від відношення  $c_s/c_p$  для стрижнів з різних матеріалів [11].

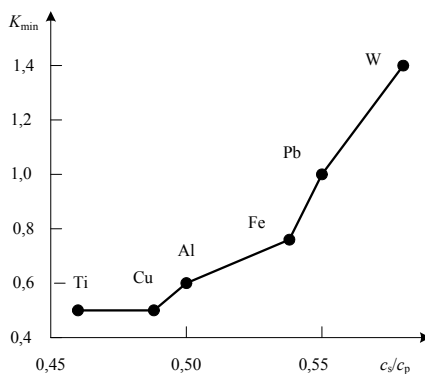


Рис. 2. Значення калібру, при якому настає мінімум відносної середньої швидкості

З рис. 2 випливає, що калібр стрижня, при якому спостерігається мінімальне значення швидкості хвилі, збільшується з ростом значення  $c_s/c_p$ .

Проведений аналіз поширення пружних хвиль в круглих стрижнях показує, що значення середньої швидкості поширення хвилі в коротких стрижнях відрізняється від швидкості хвилі, яка визначається в одновимірній теорії.

Отже, при відбиванні хвилі від торця стрижня такі самі процеси і області виникнуть і на другому кінці стрижня. Тобто нанесення удару по другому кінцю стрижня не змінить картини зміни швидкості пружної хвилі вздовж стрижня - вона буде симетричною.

“Проявити” ці ефекти можна втручаючись у вищезгадані процеси, наприклад, зменшуючи діаметр стрижня в цих областях з  $D$  до  $d$ , утворюючи ступінчастий стрижень.

Для доведення можливості управління швидкістю розповсюдження пружних хвиль були розроблені експериментальні установки та проведені дослідження. Використовувалися два способи вимірювання швидкості пружних хвиль: а) за часом розповсюдження пружної хвилі в

стрижні (реєстратор – п'єзодатчик), б) за часом зіткнення двох стрижнів (електроконтактний метод). Для цього були використані три типи установок: а) з біфілярним підвісом стрижнів, б) з використанням направляючого жолоба, в) з використанням направляючої трубки. Для одночасної реєстрації тривалості електричного контакту стержнів та пружних коливань використовувався осцилограф TPS2014В.

Як показали досліди, вимірювання швидкості пружної хвилі на установці біфілярного типу не є доцільним оскільки забезпечити паралельність торців стрижнів при ударі та їх співвісність у більшості дослідів неможливо. Похибка визначення швидкості поширення пружної хвилі цим способом складає до 10%. Установка з направляючим жолобом забезпечує паралельність торців стрижнів при ударі та їх співвісність. Похибка визначення швидкості пружної хвилі в металевих стрижнях складає до 7%. Спосіб вимірювання швидкості пружних хвиль за допомогою направляючої трубки виявився найбільш точним з похибкою до 1%. Тому саме за допомогою цього способу визначалась залежність швидкості пружної хвилі від геометричних і фізичних параметрів однорідних стрижнів кінцевої довжини ступінчастої форми. Результати спектральних та осцилографічних вимірювань швидкості пружних хвиль відображені в табл. 2- 5 та графіках рис. 3.

Таблиця 2

Результати осцилографічних вимірювань (сталь Ст3пс, густина 7850 кг/м <sup>3</sup> )							
Калібр $l/L$	0	0,1	0,2	0,25	0,5	0,75	1,0
$v_{\text{ср}}$ , м/с	5000	5587	5942	5848	4926	4000	5263

Таблиця 3

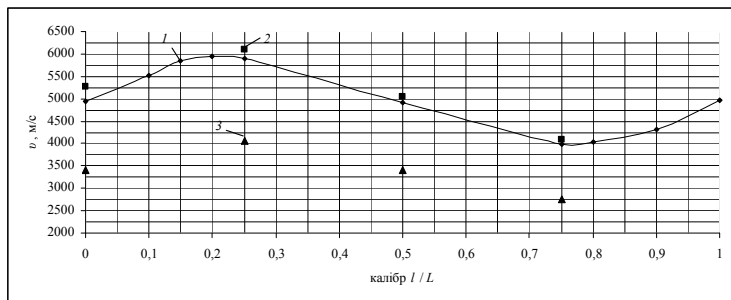
Результати вимірювання (матеріал – алюміній Д16Т, густина 2770 кг/м <sup>3</sup> )				
Калібр $l/L$	1,0	0,75	0,5	0,25
$v_{\text{ср}}$ , м/с	5263	6098	5050	4098

Таблиця 4

Результати вимірювання (матеріал – латунь ЛС59, густина 8400 кг/м <sup>3</sup> )				
Калібр $l/L$	1,0	0,75	0,5	0,25
$v_{\text{ср}}$ , м/с	3401	4065	3401	2747

Таблиця 5

Результати спектральних вимірювань (сталь Ст3пс, густина 7850 кг/м <sup>3</sup> )										
Калібр $l/L$	0	0,1	0,15	0,2	0,25	0,5	0,75	0,8	0,9	1,0
$v_{\text{ср}}$ , м/с	4932	5514	5840	5958	5899	4922	3985	4025	4301	4962



**Рис. 3.** Залежність швидкості пружних хвиль від відношення  $l/L$  для залізного (1), алюмінієвого (2), латунного (3) стержня діаметром 10 мм довжиною 100 мм, діаметром сходинок 5 мм довжиною  $l$

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Доведено, що швидкість розповсюдження пружної хвилі в стрижні кінцевої

довжини залежить від форми його бічної поверхні. Існують дві характерні області, в яких швидкість відрізняється від величини швидкості хвилі в одновимірному стрижні. Максимальної швидкості хвиля досягає, коли довжина сходинок становить 0,2 від довжини стрижня. Для заліза ця швидкість складала величину 5958 м/с, алюмінію 6098 м/с, латуні 4065 м/с.

Проведені численні експерименти на розроблених та виготовлених установках підтвердили теоретичні висновки та надали спосіб отримання величини максимальної швидкості поздовжньої хвилі в зразках гірської породи.

#### Список літератури

1. **Баклашов І.В.** Геомеханика: Учебн. для вузов. В 2 т. // М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2004. – Т. 2. Геомеханические процессы. – 249 с.
2. **Гуливец А.А.** Моделирование ударных импульсов в стержневых системах / А.А. Гуливец. // Гірничий вісник. Кривий Рог: КНУ, 2013. - Т. 1. - №96. - С. 241-244.
3. **Станюкович К. П.** Физика взрыва. //М., Наука.- 1975.

4. Уилкинс М. Л. Удар цилиндра по жесткой преграде / М.Л. Уилкинс, М.У. Гуинан // Сб. пер. Механика.- 1973.- № 3.
5. Wilkins, M.L. Computer simulation of dynamic phenomena/ M.L. Wilkins. // Berlin-Heidelberg-N.Y.: Springer, 1999. – 246 p.
6. Коротких Ю. Г. Некоторые результаты численного исследования процесса соударения стержня с жесткой преградой / Ю.Г. Коротких, С.М. Белевич // В кн.: Методы решения задач упругости и пластичности. Горький.- 1972.
7. Веклич Н. А. О распространении и взаимодействии упругопластических волн в стержне при ударе о преграду. / Н.А. Веклич // Изв. АН СССР. МТТ.- 1970.- № 4.
8. Веклич Н. А. Продолжительность удара упругопластического стержня. / Н.А. Веклич, Б.М. Малышев // Изв. АН СССР. МТТ. – 1976.- № 2.
9. Гулидов А.И. Численное моделирование отскока осесимметричных стержней от твердой преграды / А.И. Гулидов, В.М. Фомин. // ПМТФ. 1980. №3. С. 126-132.
10. Фомин В.М. Высокоскоростное взаимодействие тел / В.М. Фомин, А.И. Гулидов, Г.А. Сапожников и др.// Новосибирск: Изд-во СО РАН. - 1999.
11. Баянов Е.В. Распространение упругих волн в однородных по сечению круглых стержнях / Е.В. Баянов, А.И. Гулидов // ПМТФ. - 2011. -Т. 52. - №5. - С. 155-162.
12. Тимошенко С.П. Курс теории упругости // Киев: Наукова думка.- 1972. - 508с.
13. Санкин Ю.Н. Нестационарные колебания стержневых систем при соударении с препятствием / Ю. Н. Санкин, Н. А. Юганова; под общ. ред. Ю. Н. Санкина // Ульяновск: УлГТУ, 2010. - 174 с.
14. Жуков И. А. Разработка научно-методических основ исследования и совершенствования ударных систем (на примере машин, применяемых при разрушении хрупких сред). - дис. на соиск. уч. ст. докт. техн. наук. 2010. 201с.
15. Слепухин В.В. Моделирование движения и восстановления скорости ступенчатого стержня при ударе о жесткую преграду // Информационные системы и технологии. - 2009. - №5. - С. 48-55.

Рукопис подано до редакції 12.04.17

УДК 622.235.62:622.271

Б.І. РИМАРЧУК, д-р техн. наук, проф.

Т.С. ГРИЩЕНКО, старший викладач, М.А. ГРИЩЕНКО, асистент

Криворізький національний університет

П.О. МІНЕНКО, д-р фіз.-мат. наук, проф., ДВНЗ "КДПУ"

## ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ВИБУХОДОСТАВКИ РУДИ У КАМЕРНИХ СИСТЕМАХ РОЗРОБКИ

**Мета.** Метою даної роботи є розробка методу зменшення втрат руди на лежачому боці за рахунок використання ВКЗ та ГКЗ. Відбійка руд у камері за допомогою свердловинних зарядів показує, що втрати чистої руди на лежачому боці рудного покладу становлять приблизно до 20%, так як еліпсоїд випуску становить близько 90°, а кут падіння покладів Криворізьких залізрудних родовищ становить 35-70°.

**Методи дослідження.** Розглядалося технологія вибухоставки руди з відбійкою у два етапи, на першому етапі відбивається руда прилегла до висячого боку, а після випуску руди на створений таким чином компенсаційний простір відбивається руда яка прилегла до лежачого боку, використовуючи вибухоставку, руда буде відкинута під дучки висячого боку, що знизить втрати чистої руди по лежачому боці.

**Наукова новизна.** Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Її метою є математичне обґрунтування руху відбитої породи для її вибухоставки з лежачого боку на висячий, що знизить втрати руди на лежачому боці. Для суттєвого запобігання втрат корисної копалини слід застосувати зміни порядку відбійки руди в блоці.

**Практична значимість.** Технологія БПР на відбійку стелини виконується у два етапи: першим відбивається заряд ГКЗ, а потім із сповільненням – заряд ВКЗ. Пуста порода на стелиною не встигне впасти раніше на дачку за рахунок того, що швидкість вибухоставки вище ніж швидкість довільного падіння. Отже враховуючи те, що зарядження глибоких свердловин у буровому штреку за правилами техніки безпеки унеможливає знаходження робітників в межах зсуву порід лежачого боку.

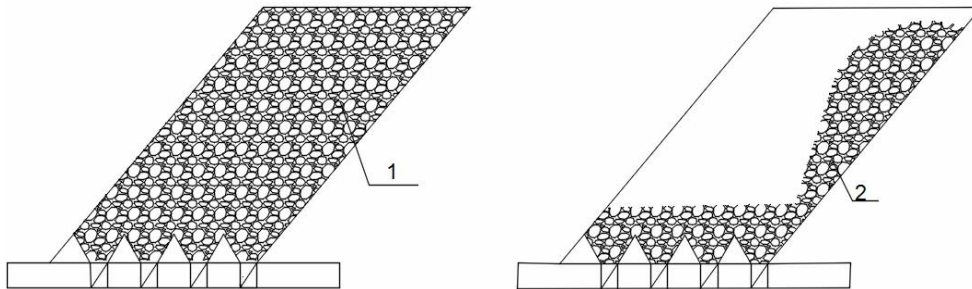
**Результати.** Отримані результати між відбійкою свердловинними зарядами, та відбійкою ВКЗ показують, що при першому варіанті 36% загальної енергії вибуху йде на формування УВВ, а в другому варіанті енергії вибуху буде достатньо для відбійки руди у стелині з лежачого боку на дучки висячого боку.

**Ключові слова:** ВКЗ, ГКЗ, відбійка стелини, втрати на лежачому боці.

Порівнюються технології вибухоставки руди з відбійкою руди свердловинними зарядами й вертикальними концентрованими зарядами (ВКЗ). Пропонується порядок відбійки руди у камері, що забезпечує зниження втрат руди на лежачому боці. Пропонується порядок відбійки стелини, що також знижує ймовірність потрапляння руди на лежачий бік камери. Наведено

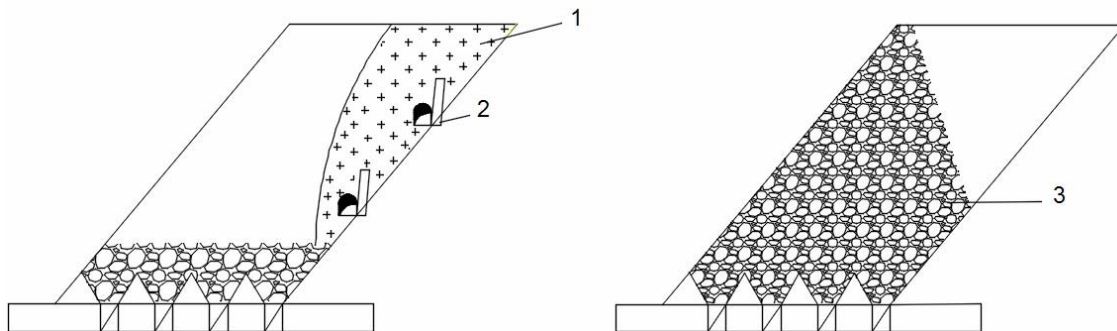
розрахунок довжини вильоту шматка руди, кинутого під кутом до горизонту. Доведено ефективність вибухоставки руди з відбійкою зарядами ВКЗ

Як слідує із геологічної характеристики Криворізьких залізородних родовищ, кут падіння покладів в основному становить 35-70° [1]. Відбита руда, яка буде після відбійки лежати на лежачому боці, не буде випущена в повному обсязі через дучки із блоку й залишиться лежати на лежачому боці, так як еліпсоїд випуску руди має кут близько 90° [2]. Із цього слідує, що майже вся руда на лежачому боці буде втрачена, а це приблизно 20% чистої руди [3] (рис. 1).



**Рис. 1.** Існуюча технологія відробки блока руди: 1 - відбита руда в камері; 2 - не випущена руда на лежачому боці

Для того щоб запобігти цим втратам необхідно змінити порядок відбійки руди в блоці. Відбивати руду потрібно у два етапи. На першому етапі відбивається руда прилегла до висячого боку. Після випуску руди на створений таким чином компенсаційний простір відбивається руда прилегла до лежачого боку (рис. 2). Застосовуючи спосіб вибухоставки, руду буде відкинуто на дучки під висячим боком.



**Рис. 2.** Технологія відбійки руди в блоці за запропонованою технологією: 1 - трикутник руди на лежачому боці, 2 - ВКЗ, 3 - відбита руда

При застосуванні такого порядку відбійки втрати руди на лежачому боці будуть значно меншими. Для винайдення технології вибухоставки зробимо деякі порівняльні розрахунки технології з відбійкою руди свердловинними зарядами й зарядами ВКЗ.

Розрахунок довжини вибухоставки руди зарядами ВКЗ.

Відстань вильоту шматка руди від вибуху заряду ВКЗ може бути розраховано за формулою [4].

$$S = V_0 \sqrt{2h/g}, \quad (1)$$

де  $S$  - відстань вильоту шматка руди, м;  $h$  - висота, на якій буде знаходитись шматок руди, м;  $g$  - прискорення вільного падіння – 9,8 м/с<sup>2</sup>;  $V_0$  - швидкість вильоту шматка руди, м/с.

Вихідні дані для розрахунку знайдемо, виходячи з умови, що шматок руди при вибуху заряду ВКЗ, який буде нахилений до горизонту під кутом  $\alpha$ , рухається за параболою, виконуючи рух у двох напрямках: горизонтальному і вертикальному.

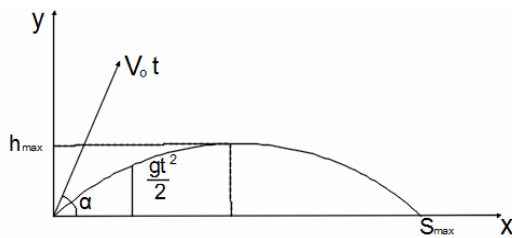


Рис. 3. Траєкторія руху шматка руди кинутого вибухом під кутом  $\alpha$  до горизонту

Максимальна горизонтальна відстань, на яку буде кинуте шматок руди після вибуху заряду ВКЗ визначимо за формулою

$$S_{\max} = V_0 \cdot t \cdot \cos \alpha \quad (2)$$

де  $t$  - час руху шматка руди, с;  $\alpha$  - кут нахилу траєкторії

вильоту шматка руди, град. ( $\alpha = 50^\circ$ )

Вертикальна складова траєкторії вильоту шматка руди скинутого під кутом до горизонту буде дорівнювати

$$h_{\max} = V_0 \cdot \sin \alpha \cdot g t^2 / 2 \quad (3)$$

Час руху шматка руди буде дорівнювати часу падіння з висоти  $h_{\max}$ . Висота  $h_{\max}$  буде дорівнювати висоті закладання заряду плюс висота підйому шматка руди (залежить від початкової швидкості шматка руди, яка буде задана їй вибухом).

Час підйому шматка руди на висоту  $h_{\max}$  розраховуємо за формулою

$$t_1 = V_0 \cdot \sin \alpha / g \quad (4)$$

Винайшовши за формулами 2-4 розрахункові значення зможемо знайти за формулою (1) відстань, на яку буде кинуте шматок руди при вибуху заряду на вихідній висоті  $h$ .

Для розрахунків за цими формулами необхідно винайти початкову швидкість вильоту шматка руди здійснюється, в основному, за рахунок поршневої дії вибухових газів. Знайдемо роботу вибуху, яка здійснюється за рахунок тиску вибухових газів у зарядній порожнині, який утворюється вибухом заряду ВР вагою 10 (десять) т. Розрахунок зробимо для амоніту №6 ЖВ.

Тиск газів при вибуху в зарядній порожнині знайдемо за формулою [5], МПа

$$P = \rho D^2 / 8 \quad (5)$$

де  $\rho$  - щільність заряджання зарядної ємності (ВКЗ),  $\text{кг}/\text{м}^3$  (приймаємо щільність заряджання ВКЗ  $650 \text{ кг}/\text{м}^3$ , внаслідок того що, підняттевий заряджається на 65% свого об'єму) [6];  $D$  - швидкість детонації, м/с (для амоніту №6 ЖВ дорівнює  $4200 \text{ м}/\text{с}$  [7]).

Тоді тиск газів у зарядній камері буде дорівнювати, МПа

$$P = 650 \cdot 4200^2 / 8 = 1433,25 \quad (6)$$

Робота, яка здійснюється за рахунок тиску вибухових газів буде дорівнювати, МДж ( $\text{кгм}^2/\text{с}^2$ ).

$$E = P V_{\text{ВВ}}, \quad (7)$$

де  $V_{\text{ВВ}}$  - об'єм ВР,  $\text{м}^3$ . ( $10 \text{ м}^3$ ), тоді

$$E = 1433,25 \cdot 10 = 14332,5.$$

У цьому випадку швидкість вильоту шматка руди від дії тиску газів буде дорівнювати, (виходячи з формули кінетичної енергії)

$$V_2 = \sqrt{2E/m}, \quad (8)$$

де  $m$  - маса руди, що відбивається, кг.

Заряд ВКЗ масою 10 т, як показує практика застосування цих зарядів відбиває 20000 т руди, або  $20 \cdot 10^6 \text{ кг}$ , м/с [8].

Тоді

$$V_2 = \sqrt{2 P V_{\text{ВВ}} / 20 \cdot 10^6} = \sqrt{2 \cdot 14332,5 / 20 \cdot 10^6} = 38,86 \text{ м}/\text{с}$$

За формулою (4) знайдемо час підйому шматка руди на висоту  $h_{\max}$  (кут дорівнює  $50^\circ$ )

$$t_1 = V_0 \cdot \sin \alpha / g = 38,86 \cdot 0,5 / 9,8 = 1,98 \text{ (приймаємо 2)}$$

Висота підйому шматка руди за час  $2,35 \text{ с}$  складає, м

$$h_n = V_0 \cdot t \cdot \sin \alpha \cdot g t^2 / 2 \quad (9)$$

$$h_n = 38,86 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 9,81 \cdot 2^2 / 2 \approx 19$$

Загальна висота підйому, на яку викинуто шматок руди, буде дорівнювати:  $h_3 = h_g + h_n$  де  $h_g$  - (30 м - висота закладання ВКЗ у блоці відносно днища блоку);  $h_3 = 30 + 19 = 49 \text{ м}$

У цьому випадку відстань по горизонталі, на яку буде викинуто шматок руди, буде дорівнювати, м

$$S = V_o \sqrt{2 \cdot h_s / g}$$

$$S = 38.86 \sqrt{2 \cdot 49 / 9.8} = 123 \quad (10)$$

З цієї відстані необхідно відняти величину проекції траєкторії вильоту на похилу площину лежачого боку. Ця відстань буде дорівнювати, м

$$S_n = h \cdot \cos \alpha$$

$$S_n = 30 \cdot 0.86 = 25.0,$$

Тоді дійсна відстань вибухоставки буде дорівнювати, м

$$S_{pg} = S - S_n$$

$$S_{pg} = 123 - 25 = 98.$$

Цей розрахунок зроблено для умов вильоту одиночного шматка руди. За умов вильоту великого об'єму руди буде спостерігатися зіткнення шматків руди, що призведе до значного зменшення відстані вибухоставки. Припустимо, що відстань вибухоставки буде в половину меншою, тобто 49 м. Це відповідає дійсності, бо в загальному випадку максимальні значення відстаней доставки мають вигляд

$$S_{\max} = V_o^2 (\sin \alpha)^2 / g \quad (11)$$

Усереднюючи по всіх напрямках, отримуємо

$$S_n = 0.637h; h_n = 0.25 V_o^2 / g; S_{\max} = 0.637 V_o^2 / g \quad (12)$$

Підставляючи в (12) ті ж самі параметри, отримуємо, м

$$h_n = 38.5; S_{\max} = 98.2; S_n = 19.1; S_{pg} = S - S_n = 98.2 - 19.1 = 81.1.$$

У випадку усереднення розрахована відстань 81,1 м, а в умовах зіткнення шматків руди вона буде дорівнювати приблизно 41 м, що достатньо для вибухоставки руди з лежачого боку на висячий бік в умовах Криворізьких рудників.

Відбійка свердловинними зарядами.

Зробимо розрахунок за такою ж схемою, як і для зарядів ВКЗ.

Вибухоставка за умов підривання зарядів може бути здійснена за схемою як показано на рис. 4.

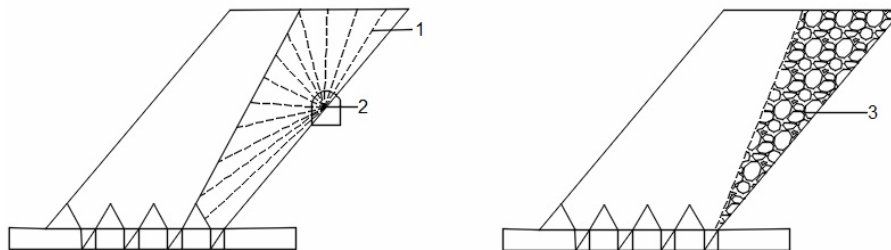


Рис. 4. Вибухоставка підриванням свердловинних зарядів:  
1 – глибокі свердловини, 2 – буровий штрек; 3 – навал відбитої руди

Тиск газів у зарядній порожнині свердловини, яка фактично не має надійної забійки й з'єднана з буровою виробкою, буде дорівнювати за формулою (5), МПа

$$P = 450 \cdot 4200^2 / 8 = 992.2$$

(Щільність зарядження свердловини взято 450 кг/м<sup>3</sup>, за умов, що вказані вище [9]).

Робота, яка буде здійснена за рахунок тиску газів, мДж

$$E = P \cdot V_{\text{вв}} = 992.2 \cdot 0.155 = 153.8$$

(свердловина довжиною 20 м вміщує 0.155 м<sup>3</sup> ВР).

Зважаючи на те, що при відбійці свердловинними зарядами 36% загальної енергії вибуху йде на формування УПХ [10]

У кінцевому результаті енергія вибуху буде дорівнювати, мДж

$$E = 153.8 \cdot (1 - 0.36) = 98.4$$

Швидкість вильоту шматка руди буде дорівнювати, м/с (за формулою 7)

$$V = \sqrt{2E/m} = \sqrt{2 \cdot 98.4 \cdot 10^6 / 443.58} = 21.1$$

Час підйому шматка руди на висоту h<sub>max</sub>, с.

$$t = V \cdot \sin \alpha / g = 21.1 \cdot 0.5 / 9.81 = 1$$

Висота підйому шматка руди за 1 с складає, м:

$$p = V_p = t \cdot p \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} = 21,1 \cdot 1 \cdot 0,5 - \frac{9,8 \cdot 1^2}{2} = 5,65$$

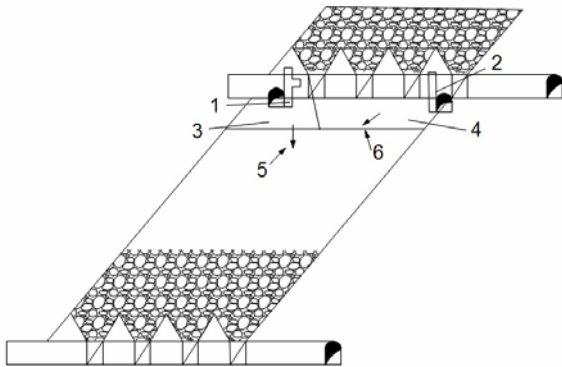
Довжина вибухоставки буде дорівнювати (за формулою 1), м:

$$S = 21,1 \sqrt{2 \cdot 15,65 / 9,8} = 35,8$$

Виразуємо проекцію вильоту шматка руди на похилу площину лежачого боку. Ця відстань буде дорівнювати 25 м. Тоді дійсна відстань вибухоставки буде дорівнювати, м

$$S_{в.д.} = 35,8 - 25 = 10,8.$$

Це недостатньо для вибухоставки руди на дучки висячого боку. За такої довжини вибухоставки руда на лежачому боці майже вся залишиться на місті, як показано на рис. 4.



**Рис. 5.** Технологія відбійки стелини: 1 - ГКЗ, 2 - ВКЗ; 3 - частина стелини, яка буде відбита зарядом ГКЗ; 4 - частина стелини, яка буде відбита зарядом ВКЗ; 5 - напрям відбійки руди зарядами ГКЗ; 6 - напрям відбійки руди зарядами ВКЗ

Крім того слід звернути увагу на те, що виконувати зарядку свердловин у буровому штреку (див. рис. 4) за правилами техніки безпеки неможливо, оскільки робітник буде знаходитися в межах зони зсуву порід лежачого боку.

Технологія БВР на відбійку стелини слідує: першим підривається заряд ГКЗ, а потім із сповільненням - заряд ВКЗ. Після вибуху заряду ГКЗ руда з висячого боку буде відкинута на дучки під висячим боком, а вибух заряду ВКЗ теж відкине руду на дучки під висячим боком.

Пуста порода над стелиною не встигне впасти раніше на дучки, оскільки швидкість вибухоставки буде вищою ніж довільне падіння пустої породи з вищележачого горизонту на приймальні дучки. Пуста порода над стелиною (вищележачого горизонту падає на лежачий бік в камері.

#### Список літератури

1. Дробин Г.Ф., Римарчук Б.И., Андрущенко А.В. и др. О путях выхода из кризиса железорудной промышленности Украины / Сб. научн. труд. Основные поправки развития горнопромышленного комплекса (ГПК)
2. Борисенко С.Г. Технология подземной разработки рудных месторождений. - К.: Вища шк., 1987. -264 с.
3. Борисенко С.Г. Вскрытие и системы разработки рудных месторождений. – К.: Вища шк., 1977. -295 с.
4. Законы и формулы физики / В.Е. Кузьмичев справочник изд. Наукова думка. 1989 – С. 32-33.
5. Станюкович К.П. Неустановившеся движение сплошной среды. – М.: Наука, 1971. – 855с.
6. Отбойка руд вертикальными концентрационными зарядами. Римарчук Б.И. Металлургическая и горнорудная промышленность, 1998 №1 с. 71-75.
7. Энергетический критерий оценки промышленных ВВ. «Проблемы разрушения горных пород взрывом»/ Г. П. Демидюк. – в сб. н. т. изд. М: «Недра», 1967 – С. 126-136.
8. Использование концентрированных зарядов ВВ при отбойке руды на подземных рудниках Криворожского бассейна. Римарчук Б.И., Дядечкин М.И. и др. Горный журнал 2009 №10 с. 67-70.
9. Именитов В.Р. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений.- М.: Недра, 1978.- 528с.
10. Фактические параметры ударных воздушных волн при взрывах в подземных выработках. / А.А. Гурин, П.С. Малый, И.В. Клевцов и др. – Горный журнал вып. 6, 1975. – С. 37-38.

Рукопис подано до редакції 12.04.17

УДК 69.059: 69.003

Д.О. ХОХРЯКОВА, канд. техн. наук, доц., С.В. КОЛЕСНІЧЕНКО канд. техн. наук, доц.  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури  
Є.В. ДЕНИСОВ, канд. техн. наук, ТОВ «Будівельна група “Модус”»

## НОРМУВАННЯ ВІБРОДИНАМІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ СТАЛЕВИХ ФЕРМ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ТЕХНІЧНИХ ОБСТЕЖЕНЬ РЕКОНСТРУЙОВАНИХ БУДІВЕЛЬ

**Мета.** Підвищення ефективності проведення робіт з оцінки технічного стану сталевих ферм шляхом нормалізації процесу вібродинамічних випробувань.

**Методи дослідження.** Проектування норм часу здійснювалось на підставі нормативних спостережень, що проводилися методом змішаного фотообліку відповідно до «Методичних рекомендацій з проектування та перегляду норм часу на будівельно-монтажні роботи». Точність записів під час спостережень становила 1 хвилину. Вібродинамічні випробування виконувались ланкою з 3 осіб. Обробка даних нормативних спостережень мала три етапи: первинна обробка даних; розрахунок середніх значень витрат праці оперативної роботи на одиницю вимірюваної первинної продукції (одна точка установки датчика, одна ферма, група ферм); розрахунок середніх значень витрат праці оперативної роботи на одиницю виміру робочого процесу в цілому (10 конструкцій).

**Наукова новизна.** Виявлено, що чинні нормативні документи не містять методик і нормативи на виконання вібродинамічних випробувань кроквяних ферм при проведенні технічних обстежень будівлі. Застосування непрямих розцінок не дозволяє компенсувати витрати на проведення таких обстежень. Вперше запропонований метод оцінки технічного стану сталевих ферм шляхом визначення її динамічних параметрів. Запропонована норма часу на виконання вібродинамічних випробувань сталевих ферм.

**Практична значимість.** Результати приведених у статті досліджень з нормалізації процесу вібродинамічних випробувань були використані організацією при визначенні вартості виконання робіт з оцінки технічного стану об'єкта.

**Результати.** Дослідним шляхом встановлено, що запропонована методика проведення вібродинамічних випробувань дозволяє не тільки підвищити достовірність результатів оцінки технічного стану ферм, але й знизити їх трудомісткість у порівнянні з візуальним обстеженням.

**Ключові слова:** обстеження, вібродинамічні випробування, норма часу, сталеві ферми, витрати праці.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Однією з основних проблем формування договірної ціни на ринку обстеження будівель і споруд є величезний розкид цін по комерційним пропозиціям, що надаються відповідними організаціями. Ця проблема зачіпає не тільки Україну, але й ряд пострадянських держав.

Не завжди можливо врахувати всі чинники (вік споруд, умови експлуатації, забезпечення документацією, вартість допоміжних робіт із забезпечення необхідного доступу до конструкцій та ін.), вартість необхідних польових робіт, вартість сучасних лабораторних випробувань і розрахункових робіт. Трактування окремих пунктів нормативних документів з визначення вартості обстежень також не носить однозначний характер. У зв'язку з цим на тендер виносять вартості робіт, що різняться в рази [15].

Проектно-кошторисна документація на капітальний ремонт, реконструкцію або технічне переоснащення розробляється тільки на підставі результатів звіту про технічний стан конструкцій будівель і споруд. Роботам по безпосередньому обстеженню будівель передують збір і аналіз технічної документації, що надається замовником. У багатьох випадках власники об'єктів не володіють достовірною інформацією про характер експлуатації і проблеми споруд з моменту будівництва до моменту контролю. Проектна і виконавча документація частково або повністю втрачена. Загальні проблеми оцінки технічного стану будівельних конструкцій розглядаються в роботах багатьох авторів [3,4,7,11,14-16].

Очевидно, що цінність виконуваних робіт з обстеження об'єктів в цих випадках різко зростає. Однак, основним критерієм вибору підрядників в ході розгляду заявок або проведення тендерів для державного замовника відповідно до вимог закону є найменша ціна. Недержавні організації-замовники, намагаючись заощадити, не замислюються, що зниження ціни, не приводить до збільшення якості. Низьку вартість, робіт з обстеження будівель обумовлено скороченням їх складу і обсягу досліджень і приводить до зниження достовірності висновків про технічний стан об'єкта.

Тенденція зниження вартості проведення робіт з обстеження будівель і споруд веде до погіршення якості робіт на ринку в цілому.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Для оцінки вартості робіт з визначення технічного стану будівель і споруд в нашій державі використовується СОУ Д.1.2 - 02495431 - 001: 2008 (далі СОУ) [12] та [2]. Аналогічним документом в пострадянському просторі є СБЦП 81 – 2001 – 25 (далі СБЦП) [13]. Вартість робіт з визначення технічного стану конструкцій будівель і споруд в СОУ заснована на розрахунку витрат праці і показника вартості відповідних робіт в розрахунку на один люд.-день. Визначення вартості виконання обмірних робіт і обстежень будівельних конструкцій будівель і споруд в СБЦП здійснюється на основі базових цін, що коригуються коефіцієнтами. Цей довідник є державним кошторисних нормативом і підлягає обов'язковому застосуванню.

Нормативи для визначення вартості відповідних робіт, як в Україні, так і в інших державах періодично переглядались у зв'язку з появою нових нормативно-правових актів в будівництві і виявленням ряду положень, які вимагають уточнення.

З метою встановлення характеру змін, що вносяться до українських норм з 1999 по 2008 рік при їх перегляді, авторами була скалькульована і проаналізована трудомісткість (табл. 1) на прикладі візуального обстеження сталевих ферм прогоном 36 м.

Таблиця 1

Порівняння витрат праці по візуальному обстеженню сталевих ферм прогоном 36 м  
(одиниця виміру - 10 конструкцій)

Назва документу	Рік видання	Трудомісткість, люд-день		
		група складності робіт		
		1	2	3
Методичні рекомендації [8]	1999	6,25	26,25	38,5
Збірник нормативів [6]	2003	2,664	6,06	8,184
СОУ [12]	2008	4,02	9,036	12,192

У процесі калькулювання витрат праці наведені в нормах [7] були перераховані на вимірювач 10 конструкцій і переведені в люд-дні. Урахування робіт з фотографування дефектів проводилось з припущенням, що при візуальному обстеженні однієї конструкції необхідно зробити хоча б один знімок. Норми часу з візуального обстеження ферм в нормах [5] і [11] збільшені в 1,2 рази для металевих конструкцій.

Порівняльний аналіз розглянутих нормативних документів показав, що «Методичні рекомендації ...» [8] 1999 р. видання містять значну ступінь деталізації норм часу з обстеження сталевих конструкцій будівель і споруд, що дозволяє більш точно оцінити витрати праці і обґрунтувати вартість виконуваних робіт, ніж розрахунок за укрупненими показниками.

Норми [6] і [12] пропонують комплексні розцінки.

У загальних положеннях СБЦП відзначено, що базовими цінами довідника не враховано вартість виконання таких робіт як планово-висотна зйомка положення будівельних конструкцій. СОУ не містить будь-яких уточнень з цього приводу.

У разі відсутності проектно-технічної документації при виконанні обмірів стає доцільно використовувати нівеліри, теодоліти і інше високоточне обладнання, що веде до значного подорожчання виконуваних робіт. СОУ не містить норм часу на виконання геодезичних робіт, а відсутність вихідної документації пропонується враховувати коефіцієнтом 1,2, що автори вважають недостатнім.

На підставі результатів аналізу встановлено, що витрати праці по візуальному обстеженню металевих ферм за розцінками 1999 р. і на сьогодні при аналогічному складі робіт відрізняються більш ніж у 3 рази.

У розглянутих документах зазначено, що при визначенні норм часу виконання робіт використовувалися дослідно-статистичні матеріали і матеріали раніше діючих нормативних і методичних документів.

Залишаються невідомими фактори, які вплинули на зменшення в 4,7 рази витрат праці при перегляді норм в 2003 р. і на зворотне їх збільшення майже на 50% в 2008 р.

В існуючому стандарті [12] представлена недостатня номенклатура норм і розцінок по визначенню витрат праці та кошторисної вартості робіт з оцінки технічного стану будівель і споруд, а також є ряд невідповідностей.

До позитивних сторін перегляду норм можна віднести появу в 2003 р. розцінок на виконання вібродинамічних випробувань при проведенні обстежень будівель [8].

Застосування динамічних методів випробувань будівельних конструкцій або їх окремих елементів часто зустрічається в практиці проведення технічних обстежень та моніторингу технічного стану будівель і споруд [1,5,10].

Норми часу в СОУ і базові ціни в СБЦП розроблено на виконання вібродинамічних випробувань для наступних конструкцій:

- перекриття простої конструктивної схеми;
- складна конструктивна схема перекриття з головними і часто розташованими другорядними балками;
- підкранові балки;
- колони і стіни.

Варто відзначити, що СБЦП відрізняється високим ступенем деталізації базових цін в залежності від висоти установки підкранових балок, і висоти колон. СОУ ж містить додаткову норму часу на випробування поверхні ґрунту, а висота установки конструкцій враховується введенням підвищувальних коефіцієнтів.

**Постановка завдання.** Ні в одному з вище перерахованих документів не містяться дані про вібродинамічні випробування таких конструкцій як ферми. Застосування непрямих розцінок при визначенні вартості робіт не дозволяє організаціям що займаються обстеженням конструкцій будівель і споруд в повній мірі компенсувати ті витрати, які вони понесли при виконанні подібних робіт.

Відсутність у чинному стандарті витрат праці на проведення вібродинамічних випробувань металевих ферм спонукало авторів на створення індивідуальної норми часу на цей вид робіт.

**Мета дослідження** - підвищення ефективності проведення робіт з оцінки технічного стану сталевих ферм шляхом нормалізації процесу вібродинамічних випробувань.

*Проектування норм часу на проведення вібродинамічних випробувань сталевих ферм прогоном 36 м.*

У збірнику нормативів 2003 р. видання витрати праці на проведення вібродинамічних випробувань обґрунтовувалися відповідним переліком робіт, в той час як на сьогоднішній день в Україні відсутні будь-які рекомендації що містять порядок проведення відповідних випробувань.

У рамках проведення робіт з обстеження та оцінки технічного стану колишньої промислової будівлі розташованої в Куйбишевському районі м. Донецьк, по вул. Умова, 1 у 2013 р. були проведені роботи по визначенню динамічних параметрів ферм покриття прогоном 36 м з складанням динамічного паспорта для даних конструкцій. Відмітка низу ферм становила 22 м.

Коливання конструкцій ферм створювалися за допомогою вібромашини, що дозволяє створювати спрямовані гармонійні навантаження з регульованою частотою.

В якості первинних перетворювачів були використані п'єзоелектричні перетворювачі, встановлені на найбільш напружених елементах - нижній пояс ферми в середині прольоту і опорний розкіс.

Послідовність дій при проведенні динамічних випробувань представлена в таблиці 5.

Запис процесу коливань проводився як в резонансному режимі, так і «на вибігу» з реєстрацією процесу власних коливань.

Нормативні спостереження проводилися методом змішаного фотообліку відповідно до «Методичних рекомендацій з проектування та перегляду норм часу на будівельно-монтажні роботи» [9].

Точність записів під час спостережень становила 1 хвилину. Всі роботи виконувалися ланкою чисельністю 3 людини. Обробка даних нормативних спостережень мала три етапи:

- первинна обробка даних;
- розрахунок середніх значень витрат праці оперативної роботи на одиницю вимірюваної первинної продукції (одна точка установки датчика, одна ферма, група ферм);

розрахунок середніх значень витрат праці оперативної роботи на одиницю виміру робочого процесу в цілому (10 конструкцій).

Таблиця 2

Одиниці виміру первинної продукції при визначенні витрат праці оперативної роботи

Найменування етапу	Найменування робіт	Вид робіт	Одиниця виміру первинної продукції
Підготовчий	Збір і аналіз проектної документації	Камеральний	Група ферм
	Попередній візуальний огляд конструкцій	Натурний	
	Уточнення конструктивних схем і схем навантажень	Камеральний	
Основний	Попередні розрахунки конструкцій з визначенням динамічних характеристик	Камеральний	Група ферм
	Складання програми випробувань із зазначенням цілей, етапів і схем розташування апаратури	Камеральний	Група ферм
	Встановлення п'єзодатчиків	Натурний	Одна точка встановлення датчика
	Встановлення вібромашини	Натурний	Одна ферма
	Налаштування апаратури	Натурний	Група ферм
	Реєстрація умов проведення вимірювань (метеоумови, стан важкого устаткування в момент випробувань)	Натурний	Одна ферма
	Проведення вимірювань	Натурний	Одна ферма
	Обробка отриманих даних	Камеральний	Одна ферма
Заключний	Занесення результатів вимірювань в динамічний паспорт конструкції (складання звіту)	Камеральний	Група ферм

Первинна норма часу була розрахована з урахуванням витрат праці на підготовчо-заключні роботи і часу на відпочинок і особисті потрібні робітників.

Узагальнена норма часу на проведення вібродинамічних випробувань визначалася як середньоарифметична величина первинних норм для 20 ферм, табл. 3.

Таблиця 3

Склад робіт і витрат праці основного етапу вібродинамічних випробувань сталевих ферм прольотом 36 м (одиниця виміру - 10 конструкцій)

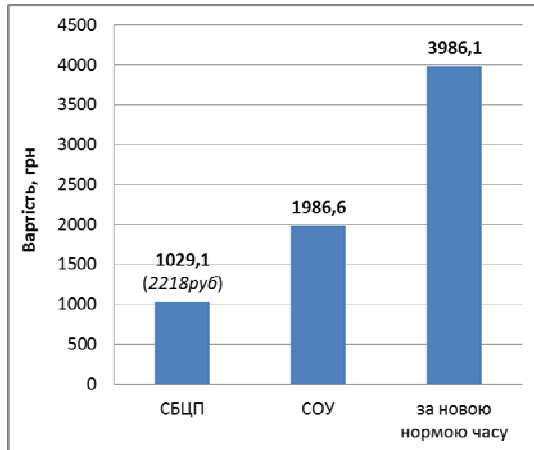
Найменування робіт	Трудомісткість, люд.-день		
	узагальнена норма часу	збірник нормативів	*СОУ
Попередні розрахунки конструкцій з визначенням динамічних характеристик	0,63		
Складання програми випробувань	0,63	+	+
Підготовка апаратури і доставка її на об'єкт		+	+
Установка і контроль режиму джерел вібрації		+	+
Установка 2 вібродатчиків і вібромашини	2,50		
Налаштування апаратури	1,13		
Реєстрація умов проведення вимірювань (метеоумови, стан важкого устаткування в момент випробувань)	0,63		
Вимірювання рівнів вібрації, запис мікросейсмічних коливань	1,25	+	+
Обробка результатів випробувань, побудова дисперсійної залежності і оформлення висновків.	2,50	+	+
Всього	9,27	3,92	4,62 *

\* Прийнято розцінку що застосовується для підкранових балок довжиною 12 м з розрахунку один датчик на конструкцію, з коефіцієнтом 1.4, що враховує висоту її розташування.

Результати проектування норм часу на проведення вібродинамічних випробувань сталевих ферм показали, що розцінка, яка застосовується в чинному стандарті, як мінімум в 2 рази недооцінює трудомісткість виконуваних робіт.

Вартість проведених випробувань була визначена на підставі норм часу отриманих дослідним шляхом і показника вартості виконання науково-дослідних робіт, який становить 430 грн в розрахунок на один люд-день (письмо Мінрегіонбуду України від 06.10.08 № 9 / 11-840).

У рамках аналізу була розрахована вартість робіт, використовуючи пристосовані розцінки СОУ і СБЦП для підкранових балок довжиною 12 м. Для можливості порівняння результатів базові ціни в СБЦП переведені в національну валюту за курсом, встановленим на березень 2017 року (рис.1).



**Рис. 1.** Вартість проведення вібродинамічних випробувань 10 ферм

Аналіз показав, що розцінки в кошторисних нормах [13] істотно нижче, ніж в Україні. Нормативи на виконання вібродинамічних випробувань наведені в СОУ недооцінюють їх вартість майже в 2 рази.

Витрати праці, отримані дослідним шляхом були співставлені з нормативами за візуальним обстеженням, які складають 12,192 люд.-дня для сталевих ферм. Вочевидь, що проведення вібровипробувань для оцінки технічного стану конструкцій дозволяє не тільки підвищити достовірність результатів обстеження, але і на 24% знизити їх

трудомісткість.

Результати приведених у статті досліджень були використані організацією при визначенні вартості виконання робіт з оцінки технічного стану об'єкта.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Нормативна основа і система ціноутворення України не досить динамічні. Часовий проміжок між появою нової технології і створенням кошторисної норми дуже великий.

До зниження якості нормативних документів може приводити порушення багатоступеневої схеми їх формування з проміжними розсилками варіантів в усі зацікавлені організації, з відповідним обговоренням та корекцією окремих положень.

Дослідним шляхом встановлено, що запропонована методика проведення вібродинамічних випробувань дозволяє не тільки підвищити достовірність результатів оцінки технічного стану ферм, але й знизити їх трудомісткість у порівнянні з візуальним обстеженням.

Необхідне створення науково-технічної програми по розробці нових методів, засобів і нормативної бази, призначених для періодичного контролю або моніторингу експлуатованих об'єктів.

### Список літератури

1. Бугаевский Г. Н. Параметры динамической паспортизации/Г. Н. Бугаевский// Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДБК, 2008. – Вип.69. – С. 201-207.
2. ДСТУ Б Д.1.1-7:2013 Правила визначення вартості проектно-вишукувальних робіт та експертизи проектної документації на будівництво - - Офіц. Вид. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 50 с.
3. Ерёмин К.И. Анализ повреждаемости и обрушаемости блоков покрытий промышленных зданий/ К.И. Ерёмин, С.А. Матвеешкин, Г.А. Арутюнян// Наука и Безопасность. – 2015. - №1 (14). – С. 36-46.
4. Ерёмин К.И. Особенности экспертизы и НК металлических конструкций эксплуатируемых сооружений/ К.И. Ерёмин, С.А. Матвеешкин // В мире неразрушающего контроля. - 2008. - № 4 (42). - С. 4-7.
5. Завалишин С.И. Нормативные проблемы динамических обследований зданий и сооружений/ С.И. Завалишин, М.С. Хлыстунов, Ж.Г. Могилюк // Известия Юго-Западного государственного университета - 2013. - № 5 (50). -С. 156-159
6. Збірник нормативів для визначення вартості робіт з оцінки технічного стану та експлуатаційної придатності конструкцій будівель і споруд - Офіц. Вид. – К.: Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій, 2003.- 37 с.
7. Матвеешкин С.А. Проблемы оценки и прогнозирования технического состояния строительных конструкций промышленных зданий/ С.А.Матвеешкин// Предотвращение аварий зданий и сооружений: Сборник научных трудов // Под ред. К.И. Еремина. – М.: ООО «ВЕЛД», 2009. – С.297-303.
8. Методичні рекомендації визначення вартості робіт з обстеження, оцінки технічного стану і паспортизації будівель і споруд - Офіц. Вид. – К.: Науково-дослідний інститут будівельного виробництва, 1999.- 24 с.
9. Методичних рекомендацій з проектування та перегляду норм часу на будівельно-монтажні роботи [Текст]/ Держбуд України – Офіц. Вид. – К.: Укрархбудінформ, 2004.- 40с.

10. Патрикеев А.В. Основы методики динамического мониторинга деформационных характеристик зданий и сооружений/ А.В. Патрикеев, Е.К. Салатов // Вестник МГСУ. - 2013.- № 1. - С. 133-138.
11. Перельмутер А.В. Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні./А.В. Перельмутер, В.М. Гордєєв, Є.В. Горохов та ін. //– К.: УІНСіЗР, 2002. – 92 с.
12. СОУ Д.1.2 - 02495431 - 001: 2008. Нормативи витрат труда для визначення вартості робіт з оцінки технічного стану та експлуатаційної придатності конструкцій будівель і споруд - Офіц. Вид. – К.: Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій, 2008. – 46 с.
13. СБЦП 81 – 2001 – 25 Справочник базовых цен на обмерные работы и обследования зданий и сооружений [Текст]/ Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации – Офіц. Вид. - М.: ЦЕНТРИНВЕСТпроект, 2016. – 29 с.
14. Улыбин А.В. Качество визуального обследования зданий и сооружений и методика его выполнения/ А.В. Улыбин, Н.И. Ватин// Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. - № 10 (25) – С. 134-146.
15. Улыбин А.В. Проблемы ценообразования на рынке обследования зданий и сооружений/ А.В. Улыбин, С.В. Зубков// Инженерно-строительный журнал. – 2010. - №7 (17) – С.53-56.
16. Штенгель В.Г. Общие проблемы технического обследования неметаллических строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений/ В.Г. Штенгель// Инженерно-строительный журнал. – 2010. - №7 – С. 4 – 9.

Рукопис подано до редакції 25.03.17

УДК 622.272: 624.191.5

А.Н. РОЕНКО, д-р техн. наук, проф., Национальный горный университет  
С.А. ХАРИН, д-р техн. наук, проф., В.Н. КНУРЕНКО, старш. препод.  
Институт предпринимательства «Стратегия»

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ БВР НА ОРГАНИЗАЦИЮ ПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ

**Цель.** Целью данной работы является разработка программного обеспечения и исследование влияние ряда параметров буровзрывных работ на интенсивность проходческих работ. Необходимо также выполнить анализ полученных в ходе исследования результатов, установить закономерности изменения соответствующих параметров и выработать рекомендации по рациональному ведению проходческих работ.

**Методы исследования.** В работе использован комплексный подход, включающий обобщение и анализ литературных источников и исследований в области строительства шахт, теоретические исследования, базирующиеся на методах математического моделирования.

**Научная новизна.** Получены зависимости скорости проходки протяженных горизонтальных выработок от влияния ряда факторов буровзрывных работ, а также применении контурного взрывания.

**Практическая значимость.** Данная категория состоит в нахождении оптимальных проектных решений по строительству комплекса выработок горизонтов на больших глубинах для действующих шахтах Криворожского бассейна, позволяющих обеспечить своевременный ввод горизонтов в эксплуатацию.

**Результаты.** Таким образом, в результате разработки программного обеспечения на языке Java, которое выступило в качестве инструмента исследований вопросов организации строительства горных выработок и изучения воздействия в различных условиях, которое оказывает обычное и контурное взрывание на скорость строительства протяженных выработок горизонта, стало возможным установить такие результаты: применение контурного взрывания вызывает необходимость размещения в забое выработки дополнительных шпуров, количество которых может измеряться, для различных случаев, величиной порядка 20-30% для штрека площадью поперечного сечения  $10 \text{ м}^2$  и величиной 18-25% для квершлага сечением  $20 \text{ м}^2$ ; характерным является также то, что с увеличением значения  $f$  наблюдается относительное снижение прироста количества контурных шпуров; интенсивность сооружения штрека при контурном взрывании уменьшится примерно в 1,15 раза при крепости 10 и в 1,2 раза при крепости 20; для квершлага с указанные величины будут составлять соответственно порядка 1,1 и 1,25.

**Ключевые слова:** скорость, выработка, квершлаг, контурное взрывание, сооружение, программное обеспечение, язык Java.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Реконструкция производственных мощностей шахт в условиях значительных глубин разработки должна сопровождаться интенсивными усилиями в направлении исследований, направленных на совершенствование всех технологических процессов, которые требуют соответствующей автоматизации для обеспечения оперативного получения результатов.

**Анализ исследований и публикаций.** Анализ опубликованных работ, освещающих различные аспекты научных исследований, показывает на значительное число публикаций, по-

священных совершенствованию буровзрывных работ, в частности, действию взрыва удлиненного заряда взрывчатого вещества в шпурах и управлению удельной поверхностной энергией разрушения горных пород [1,2]. В других работах получены научные результаты, связанные с использованием многоточечного инициирования скважинного заряда для улучшения проработки подошвы уступа и исследованием влияния формы заряда в донной части шпура на изменение прочностных свойств среды при взрыве [3, 4]. Различным аспектам контурного взрывания посвящен труд чешских авторов [5], получивший широкое признание.

В целом же, анализ литературных источников, а также актуальных проблем строительства железорудных предприятий, показывает, что вопросы влияния технологии буровзрывных работ на продолжительность проходческого цикла и, соответственно, скорость проведения протяженных выработок, независимо от их назначения, на сегодня проработаны не достаточно детально.

**Постановка задачи.** Разработать программное обеспечение и исследовать влияние некоторых параметров буровзрывных работ на интенсивность проходческих работ, выполнить соответствующий анализ, установить закономерности и выработать рекомендации.

**Изложение материала и результаты.** В структуре затрат времени проходческого цикла при проведении горизонтальных выработок бурение шпуров занимает весьма заметное место, причем в весьма крепких породах этот фактор является доминирующим, что во многом определяет организацию работ (рис. 1). В этой связи представляет интерес исследование влияния некоторых параметров буровзрывных работ (БВР) на темпы проведения выработок.

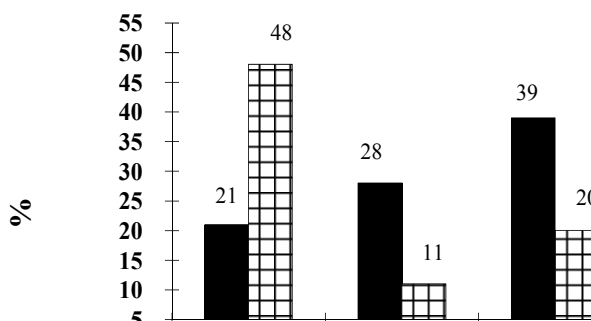


Рис. 1. Зависимость структуры затрат времени от  $f$

характеризуется линейной функцией вида  $v = -23,6e_p + 56,73$ .

Исследуем зависимость скорости проходки выработки от коэффициента работоспособности ВВ (рис. 2).

Для ВВ с высокой работоспособностью, например,  $e_p=0,7$ , характерна скорость проходки 40,3 м/мес., в то время как ВВ с низкой работоспособностью, при  $e_p=1,2$ , обеспечивает скорость проведения выработки всего лишь 29,04 м/мес. Таким образом, изменение  $e_p$  в 1,71 раза влечет за собой изменение  $v$  в 1,39 раза. В общем виде зависимость скорости проходки выработки от коэффициента работоспособности ВВ характеризуется

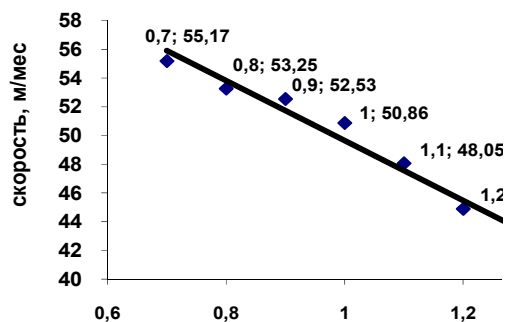
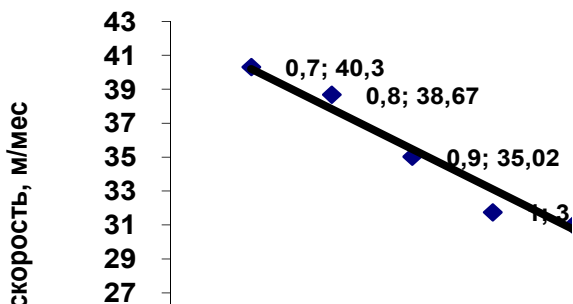


Рис. 2. Зависимость скорости проходки от коэффициента работоспособности ВВ:  $a - S=20 \text{ м}^2$ ;  $b - S=10 \text{ м}^2$

Оценим влияние на скорость проходки выработки изменения коэффициента заполнения шпуров (рис. 3). Для выработки с  $S=20 \text{ м}^2$  при росте  $k_3$  от 0,6 до 0,85 (в 1,42 раза) имеет место увеличение  $v$  с 29,92 м/мес. до 36,96 м/мес. (в 1,24 раза). В общем виде зависимость скорости проходки выработки от коэффициента заполнения шпуров характеризуется линейной функцией вида  $v=27,549 k_3+13,69$ . Аналогично, для выработки с  $S=10 \text{ м}^2$  указанная зависимость описывается следующей функцией:  $v=37,68k_3+23,96$ .

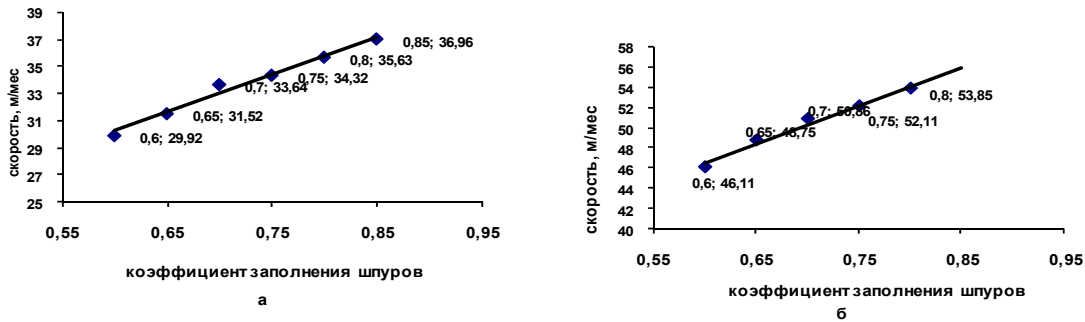


Рис. 3. Зависимость скорости проходки от коэффициента заполнения шпуров: а -  $S=20 \text{ м}^2$ ; б -  $S=10 \text{ м}^2$

При проходке горных выработок, особенно большого поперечного сечения, их фактические размеры отличаются от запроектированных в большую сторону, а контур имеет значительные неровности. Не всегда качественное бурение шпуров, неправильно подобранные параметры БВР приводят к тому, что имеются значительные переборы размеров поперечного сечения, достигающие величины 15-20 %, а в ряде случаев и большей. Это приводит к увеличению объемов убираемой породы, затрудняет забутовку закрепного пространства при креплении выработки. Кроме этого, при использовании в качестве крепи монолитного бетона расход материала существенно возрастает, что увеличивает стоимость и сроки строительства.

Следует отметить также, что при обычном взрывании имеет место значительное разрушающее воздействие энергии взрыва на приконтурный массив, что требует увеличения несущей способности крепи, и, соответственно, вызывает необходимость увеличения размеров выработки в проходке. Для снижения переборов породы и сведения к минимуму трещинообразования в горном массиве целесообразно применение контурного взрывания, особенностью которого является снижение энергии при взрыве и специальное расположение шпуров предконтурного и контурного рядов.

Изучение имеющегося обширного опыта применения контурного взрывания, освещенного, в частности, проф. Н.М. Покровским и другими авторами показало следующее [6, 7]. Снижение концентрации взрыва на 1 м шпура достигается за счет использования ВВ с высокой работоспособностью в патронах уменьшенного диаметра или использования ВВ в патронах обычного диаметра, но малой работоспособности, а также сочетания этих способов. При применении контурного взрывания уменьшается глубина трещин в массиве, перебор породы, все это в конечном итоге позволяет существенно сократить расходование средств на крепление выработок, особенно в сложных условиях, например, при высоком горном давлении. Весьма целесообразным представляется использование контурного взрывания на глубоких горизонтах шахт Криворожского бассейна, где проходческие работы выполняются на глубинах свыше 1300 м.

Насущной задачей выступает разработка программного обеспечения, которое позволяло бы служить в качестве инструмента оперативного изучения вопросов организации проходческого цикла при сооружении выработок, учитывая большое разнообразие условий и сложность обработки информации. Как представляется, весьма целесообразным в данном случае может быть программное обеспечение, использующее принципы объектно-ориентированного программирования (ООП). Важно указать, что главные достоинства такого вида программирования проявляются, когда в языке есть возможность использования полиморфизма, способности объектов с одинаковой спецификацией получать разную реализацию, что вполне применимо для наших задач. С целью автоматизации исследований разработаны алгоритм (рис. 4) и компьютерная программа на языке Java. Используются возможности Swing – библиотеки для создания графического интерфейса, которая содержит ряд графических компонентов, таких как кнопки, поля ввода, таблицы и предоставляет более гибкие интерфейсные компоненты, чем более ранняя библиотека AWT.

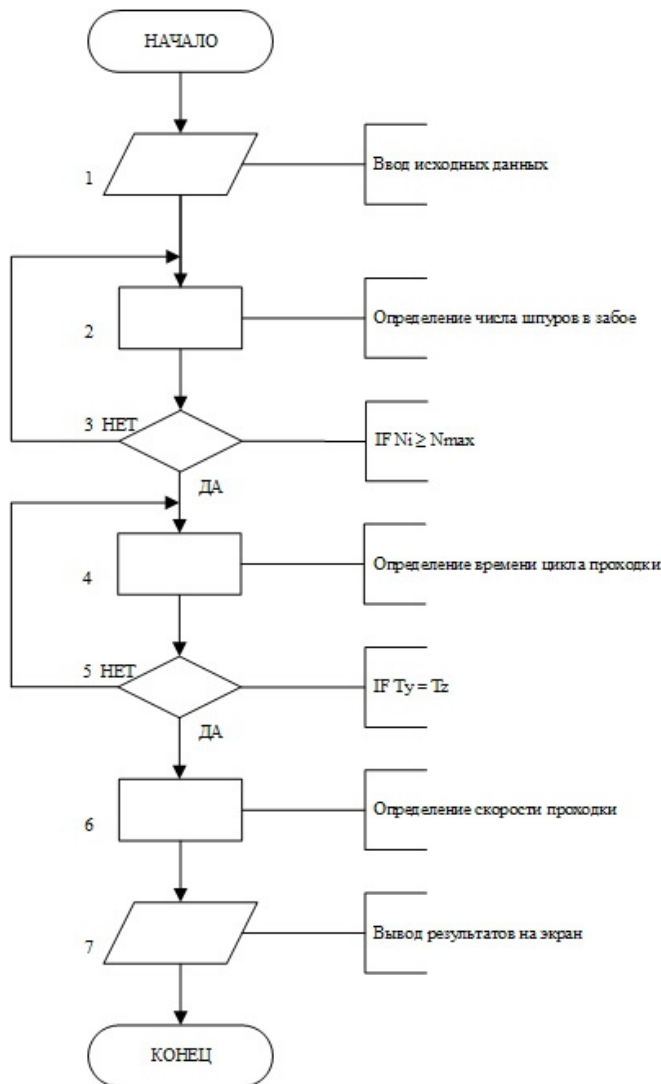


Рис. 4. Алгоритм программы исследований

Основные возможности этого языка весьма разнообразны. К ним относится, в частности, следующее [8,9]: возможность применения достаточно простых инструментов для построения сетевых приложений, способность к автоматическому управлению памятью, весьма обширный перечень средств для осуществления фильтрации ввода-вывода, богатый перечень стандартных коллекций, интегрированные в Java средства построения многопоточных приложений, существенно дополненные механизмы преобразования комплекса исключительных ситуаций, способность к параллельному выполнению различных программ. Все это дает возможность эффективно использовать язык Java для решения задач горного производства, особенно в тех случаях, когда необходима обработка большого потока данных.

Проф. Н.М. Покровским и другими авторами [6,7] указывается закономерность изменения расстояния между оконтуривающими шпурами в протяженных выработках горизонта от коэффициента крепости пород по шкале проф. М.М. Протодьяконова.

Следует, однако, указать, что в упомянутых работах не приводятся сведения о параметрах размещения таких шпуров в

породах с  $f$ , не превышающим десяти.

Используя параметры, приведенные ранее в [6,7], возможно найти выражения для определения расстояний между шпурами от  $f$ , экстраполировав их для диапазона крепости пород от 10 до 20 (табл. 1).

Таблица 1

Зависимости параметров размещения шпуров от  $f$ 

Вид шпуров	Расстояние между шпурами в ряду, $a_k$ , см	ЛНС, $W_k$ , см
Оконтуривающие	Логарифмическая, $a_k = -24,1 \ln(f) + 99,7$	Степенная $W_k = 149,2 f^{-0,43}$
Предконтурные	Логарифмическая, $a_{pk} = -28,9 \ln(f) + 119,54$	Степенная $W_{pk} = 179,4 f^{-0,42}$

В результате полученные выражения для определения основных параметров размещения зарядов контурного и предконтурного рядов применим в дальнейшем для нахождения зависимости темпов проведения протяженных выработок горизонта при контурном взрывании в породах с высокой и очень высокой крепостью, которые, в частности, характерны для глубоких шахт Криворожского бассейна.

Выполним исследование по нахождению зависимости темпов сооружения штрека и квершлага от  $f$  при разнообразных случаях (табл. 2) в выработках сечением соответственно 10 и 20 м<sup>2</sup>.

Условия исследований

Условие исследований	Сечение выработки в проходке, м <sup>2</sup>	Вид взрывания	Производительность средств бурения
1	10	Обычное	Зависит от $f$
2		Контурное	Зависит от $f$
3		Контурное	Увеличена по сравнению с вариантом 2 в 2 раза
4	20	Обычное	Зависит от $f$
5		Контурное	Зависит от $f$
6		Контурное	Увеличена по сравнению с вариантом 2 в 2 раза

Применение вместо обычного взрывания контурного требует бурения некоторого (иногда весьма значительного) количества дополнительных предконтурных и непосредственно контурных шпуров, что способно негативным образом отражаться на скорости сооружения выработок. Часть из них может находиться на достаточно большой высоте, что способно затруднить процесс бурения.

Анализ полученных данных о числе шпуров при обычном и контурном взрывании позволил сделать следующие выводы. Абсолютное (и достаточно заметное) увеличение числа шпуров при росте  $f$  будет приводить к более выраженному относительному росту количества шпуров при меньших величинах коэффициента крепости пород: к примеру, в штреке, имеющем площадь поперечного сечения в проходке 10 м<sup>2</sup>, относительный рост количества шпуровых зарядов при контурном взрывании при  $f=10$  будет достигать 1,28 раза, при крепости пород 14–1,24 раза. Вместе с тем такое увеличение числа шпуров при очень высоком  $f$ , например, 20, снизится до параметра 1,19.

Для квершлага, имеющего вдвое большее сечение, чем штрек, возрастание при контурном взрывании количества шпуров, обладая в целом аналогичным характером изменения, будет характеризоваться менее заметным уровнем. Так, например, установлено, что для коэффициента крепости пород 10 это увеличение будет достигать 1,24, для  $f=14$ –1,21, и, наконец, для  $f=20$  – изменится до величины 1,17. Для условия исследований 1, при применении обычного взрывания, и росте  $f$  от 10 до 14 интенсивность строительства штрека сократится с 77 м/мес. до 50,2 м/мес. (на 35%). Возрастание значения крепости до 20 вызывает уменьшение интенсивности сооружения штрека до 29 м/мес. (в 2,7 раза в сравнении со случаем  $f=10$ ).

Довольно заметные изменения в темпах строительства выработки будут наблюдаться при применении контурного взрывания (вариант 2). Потребность в бурении увеличенного числа шпуров вызывает сокращение в соответствующих случаях интенсивности сооружения штрека. Так, например, при  $f=10$  темпы строительства выработки будут достигать 67,8 м/мес. (что уступает обычному взрыванию в 1,14 раза). Для коэффициента крепости 20 темпы проходки сократятся до 24,6 м/мес. (что в 2,8 раза меньше случая с крепостью 10 и в 1,2 раза – в сравнении с применением обычного способа взрывания забоя).

Целесообразно выполнить анализ изменения скоростей строительства ранее рассмотренных нами протяженных выработок горизонта при использовании контурного взрывания, но двукратном (для соответствующих случаев ведения проходческих работ) повышении производительности буровых средств, поскольку буровые работы, особенно в крепких породах, производят сильно выраженное воздействие на интенсивность строительства выработок. В таком варианте (условие исследования 3) будут наблюдаться следующие скорости строительства штрека: 63,4 м/мес. для крепости 10 (0,82 к сравниваемому уровню интенсивности проходки для обычного взрывания); 49,2 м/мес. для  $f=14$  (изменится до 0,98); 41 м/мес.

Для случая с крепостью 16 наблюдается уравнивание темпов проходки – строительства штрека при обычном и контурном взрывании, но с увеличенной в 2 раза эксплуатационной производительностью бурового оборудования. При коэффициенте крепости пород 20 контурное взрывание с удвоенной производительностью оборудования для бурения дает возможность поддерживать темп проведения штрека в 1,4 превышающий таковой при обычном виде взрывания.

Проанализируем далее аналогичным образом темпы проведения квершлага с  $S = 20$  м<sup>2</sup>. Для такого варианта исследования при обычном взрывании (условие 4) скорости работ изменятся от

51,2 м/мес. при  $f=10$  и 36,4 м/мес. при  $f=14$  до 22,3 м/мес. при  $f=20$ . В то же время использование контурного взрывания (условие 5) вызывает уменьшение темпа проходки квершлага в таком диапазоне величин: при крепости 10 до 46,8 м/мес. (в 1,1 раза), при крепости 14 до 32,4 м/мес. (1,12), и при крепости 20 до 18 м/мес. (1,24).

Более заметное уменьшение интенсивности строительства квершлага при контурном взрывании при больших значениях  $f$  следует объяснять не столько возрастанием количества шпуров (интенсивность увеличения количества шпуров при больших значениях крепости пород напротив, снижается), но заметно более трудными условиями для ведения буровых работ.

Использование, по аналогии со штреком, контурного взрывания с увеличенной в двукратном размере производительностью бурового оборудования (условие исследований 6) существенно увеличивает темпы сооружения квершлага – до 54,9 м/мес. при крепости 10 или 28,2 м/мес. - крепости 20.

Результаты анализа изменения темпов сооружения штрека и квершлага, на основании которых мы получили зависимости скорости сооружения рассмотренных горизонтальных выработок разного сечения от коэффициента крепости пород для весьма различных условий сведем в табл. 3.

Полученные зависимости могут, с вполне удовлетворительной точностью, характеризоваться линейными выражениями.

Рассмотрим влияние площади поперечного сечения выработки на темпы ее проведения при обычном и контурном взрывании

Таблица 3

Зависимости $v$ от $f$		
Условие исследований	Функция	Характер функции
1	$v = -4,63f + 119,1$	линейный
2	$v = -4,09f + 105,6$	
3	$v = -2,04f + 80,01$	
4	$v = -2,82f + 77,5$	
5	$v = -2,78f + 72,5$	
6	$v = -2,58f + 79,3$	

Для случая с производительностью средств бурения ( $B$ ) 9 м/ч и погрузки ( $P$ ) 9 м<sup>3</sup>/ч при  $f$  порядка 16-18 скорость проведения выработки сечением 8 м<sup>2</sup> составит 39 м/мес. при обычном и 34 м/мес. (рис. 5, п.1) при контурном взрывании (рис. 5. п. 2).

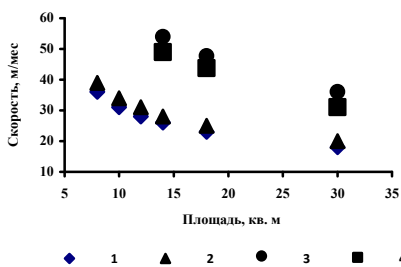


Рис. 5. Зависимость  $v$  от  $S$ : 1-обычное взрывание; 2-контурное; 3-обычное взрывание; 4-контурное.

Увеличение площади сечения выработки будет приводить к снижению скорости ее проходки, но, начиная с некоторого уровня размеров выработки, возникнет возможность использования более габаритного, но вместе с тем существенно более производительного оборудования.

Так, например, при  $S=14$  м<sup>2</sup> использование средств проходки с  $B=18$  м/ч и  $P=18$  м<sup>3</sup>/ч позволяет даже при контурном взрывании достигать темпов проходки, превышающих аналогичный показатель при использовании оборудования с меньшей производительностью при обычном взрывании (49 м/мес. (рис. 5. п.3) и 29 м/мес.

(рис. 5, п.4)). Кроме того, использование более высокопроизводительных средств проходки приводит к увеличению абсолютной разности скорости проходки при обычном и контурном взрывании для аналогичных условий. Эта разность будет иметь тенденцию к сокращению по мере увеличения площади поперечного сечения выработки.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Таким образом, в результате разработки программного обеспечения на языке Java, которое выступило в качестве инструмента исследований вопросов организации строительства горных выработок и изучения воздействия в различных условиях, которое оказывает обычное и контурное взрывание на скорость строительства протяженных выработок горизонта, стало возможным установить такие результаты: применение контурного взрывания вызывает необходимость размещения в забое выработки дополнительных шпуров, количество которых может измеряться для различных случаев, вели-

чиной порядка 20-30% для штрека площадью поперечного сечения  $10 \text{ м}^2$  и величиной 18-25% для квершлага сечением  $20 \text{ м}^2$ ; характерным является также то, что с увеличением значения  $f$  наблюдается относительное снижение прироста количества контурных шпуров; интенсивность сооружения штрека при контурном взрывании уменьшится примерно в 1,15 раза при крепости 10 и в 1,2 раза при крепости 20; для квершлага с указанными величинами будут составлять соответственно порядка 1,1 и 1,25. Более существенное уменьшение скорости строительства выработок при росте  $f$  объясняется значительным уменьшением эксплуатационной производительности бурового оборудования. Установлено также, что в общем виде зависимость скорости проходки выработки от коэффициента работоспособности ВВ характеризуется линейной функцией.

Дальнейшие исследования в рамках данной проблемы целесообразно сосредоточить на изучении взаимодействия различных факторов организации горного производства.

### Список литературы

1. Калякин С.А., Шкуматов А.Н., Лабинский К.Н. Управление разрушающим действием взрыва уклонного шпурового заряда взрывчатого вещества // Вісник КрНУ. – Кременчук: КДПУ, 2013. – Вип. 2/2013 (79). – С. 78-82.
2. Терентьев О.М., Стрельцова І.М. Математична модель управління питомою поверхневою енергією руйнування гірських порід // Вісник КрНУ. – Кременчук: КДПУ, 2013. – Вип. 3/2013 (80). – С. 153-157.
3. Использование многоточечного инициирования скважинного заряда для улучшения проработки подошвы уступа / В.В. Воробьев, В.Т. Щетинин, А.М. Пеев // Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. Серія “Гірництво”: збірн. наук. праць. – Київ: НТУУ “КПІ”, 2003. – Вип. 9. – С. 63-65.
4. Исследование влияния формы заряда в донной части шпура на изменение прочностных свойств среды при взрыве / В.В. Воробьев, А.М. Пеев // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва: науково-виробничий збірник. – Кременчук: КДУ, 2009. – Вип. 2/2009(4). – С. 35-39.
5. Бротанек И., Вода Й. Контурное взрывание в горном деле и строительстве. Перев. с чешск. под ред. Б.Н. Кутузова. – М.: Недра, 1983. – 144 с.
6. Покровский Н.М. Технология строительства подземных сооружений и шахт. – М.: Недра, 1977. – 400 с.
7. Смирняков В.В., Вихарев В.И., Очкуров В.И. Технология строительства горных предприятий. – М.: Недра, 1989. – 573 с.
8. Лонг Ф., Мохиндра Д., Сикорд Р., Сазерленд Д., Свобода Д. Руководство для программиста на Java: 75 рекомендаций по написанию надежных и защищенных программ. Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2014. – 256 с.
9. Хорстман, С., Корнелл Г. Java 2. Библиотека профессионала. Основы. Пер. с англ. под ред. В.В. Вейтмана. – М.: Вильямс, 2007. – 896 с.

Рукопись поступила в редакцию 15.04.17

УДК 691.32

А.А. ШИШКИНА, канд. техн. наук, доц., А.П. ХИЛЬЧЕНКО, ст. преподаватель,  
Н.П. МЕЛЬНИЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.,  
Криворожский национальный университет

## ПОРИСТЫЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ВЕЩЕСТВ

**Цель.** На строительные конструкции промышленных зданий и сооружений, в частности, горно-металлургического комплекса, в особенности расположенных вблизи тепловых аппаратов, оказывает температурное влияние окружающая среда, изменяя физико-механические свойства материалов, из которых изготовлены эти конструкции, и, как следствие, влияет на их долговечность. Это приводит к необходимости предусматривать, при реконструкции зданий и сооружений, мероприятия по повышению их долговечности путем снижения температурного влияния окружающей среды.

Кроме того, одним из самых важных факторов, которые определяют стоимость эксплуатации домов и сооружений, является величина затрат на поддержание в них необходимого температурного режима. За годы эксплуатации конструкции существующих зданий и сооружений подвергались многократному воздействию окружающей среды, что снизило эксплуатационные свойства материалов, из которых изготовлены строительные конструкции и, как следствие, самих зданий.

**Методы исследований,** результаты которых представлены в работе, является получение пористого реакционного бетона с повышенной прочностью и пониженными усадкой за счёт модификации его состава комплексной добавкой, которая состоит из полиспирта и железосодержащего вещества, а также применения пористых заполнителей на основе железосодержащего вещества.

**Научная новизна.** Экспериментами установлено влияние комплексной добавки на прочность пористого бетона, объёмное водопоглощение исследуемых бетонов и их водопоглощение методом капиллярного подсоса для бетонов, приготовленных без использования комплексной добавки и с использованием добавки.

**Практическая значимость.** Исследовано изменение во времени массы бетона с добавкой и без нее. Также была исследована усадка пористого бетона с применением комплексной добавки и без нее.

**Результаты.** В результате было установлено, что одновременное введение в пористые бетоны минерального комплекса, содержащего железо, и полиспирта приводит к повышению прочности при сжатии, снижению усадки указанных бетонов. Показано, что содержание минерального железистого комплекса (порошка) и органического компонента в пористых бетонах носит экстремальный характер, т.е. имеется их содержание, обеспечивающее наибольшую прочность таких бетонов и их наименьшее водопоглощение.

**Ключевые слова:** пористые бетоны, комплексная добавка, железосодержащее вещество, поверхностно-активное вещество.

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** На строительные конструкции промышленных зданий и сооружений, в частности, горно-металлургического комплекса, в особенности расположенных вблизи тепловых аппаратов, оказывает температурное влияние окружающая среда, изменяя физико-механические свойства материалов, из которых изготовлены эти конструкции, и, как следствие, влияет на их долговечность. Это приводит к необходимости предусматривать, при реконструкции зданий и сооружений, мероприятия по повышению их долговечности путем снижения температурного влияния окружающей среды.

Кроме того, одним из самых важных факторов, которые определяют стоимость эксплуатации домов и сооружений, является величина затрат на поддержание в них необходимого температурного режима. За годы эксплуатации конструкции существующих зданий и сооружений подвергались многократному воздействию окружающей среды, что снизило эксплуатационные свойства материалов, из которых изготовлены строительные конструкции и, как следствие, самих зданий. Помимо этого, строительные конструкции существующих жилых зданий и других сооружений проектировались на основе норм, которые уже не отвечают современным требованиям по теплопроводности и требуют, при ремонте конструкций, выполнения конструктивных мероприятий по ее уменьшению.

Одними из эффективных материалов для защиты от тепловых влияний окружающей среды, которые обладают низкой теплопроводностью, являются легкие и пористые бетоны. Однако известные пористые бетоны обладают повышенными влажностными деформациями (набуханием и усадкой) и водопоглощением и недостаточной прочностью при сжатии, что ограничивает их применение.

Пористые бетоны широко применяются для производства наружных ограждающих конструкций, доля которых составляет 45-60% объема строительных конструкций здания. Используя высокопрочные пористые бетоны возможно возведение уникальных зданий и сооружений.

**Анализ исследований и публикаций.** Основу современной технологии бетона любого вида, как плотного, так и пористого, составляет создание высококачественного цементного камня, отличающегося высокой дисперсностью составляющих и новообразований, малой дефектностью и устойчивостью структуры, в том числе за счет уменьшения ее перестройки в процессе твердения. На его основе могут создаваться самые различные качественные бетоны путем «вкрапления» в структуру материала дополнительных составляющих и ее модификации [1-10].

В частности, при получении пенобетонов, основными «вкраплениями» в структуру бетона являются воздушные поры [11-14], которые, приводя к снижению плотности бетона и его теплопроводности, обуславливают снижение его прочности (в первую очередь при сжатии), не позволяя отнести данный бетон к конструктивным бетонам.

Очевидно, что основным путем повышения прочности пористых бетонов является повышение прочности бетона в их межпоровых перегородках. Данную задачу можно решить применением высокопрочных бетонов. Наиболее приемлемыми, в данном случае, являются так называемые реакционные порошковые бетоны - Reactive powder concretes (RPC). Данные бетоны получают на основе смеси вяжущего вещества, в качестве которого могут применяться портландцемент, шлакощелочное, шлакошламовое либо гипсоцементное вяжущее [15-17],

микронаполнителя, в качестве которого могут применяться отходы обогащения железных руд, микрокремнезем, зола-унос, известняк [15,17-20].

В случае получения пористого бетона путем применения пен - пенобетона, наличие пенообразователя, который представляет собой поверхностно-активное вещество (ПАВ), в рассматриваемой системе (пенобетоне) приводит к тому, что часть этого ПАВ остается в межпоровых перегородках – в бетоне и, адсорбируясь на поверхности частиц вяжущего, замедляет реакции его гидратации. Это приводит к снижению величины прочности бетона в межпоровых перегородках и, как следствие, пенобетона.

Известные результаты исследований в области флотации [21] показывают, что молекулы ПАВ в первую очередь адсорбируются на минералах, содержащих железо, а результатами исследований школы академика П.А. Ребиндера [22] установлено, что ПАВ концентрируются на внутренней поверхности воздушных пузырьков в бетоне, вступают в реакцию с минералами цемента, образуя на этой поверхности упрочненный слой новообразований, что способствует повышению прочности бетона. Кроме того, работами этой же школы установлено, что менее поверхностно-активные вещества вытесняют с поверхности раздела фаз более поверхностно-активные вещества.

Приведенные выше данные послужили основой научной гипотезы, которая заключается в следующем: для управления процессами структурообразования пористых бетонах не зависимо от метода создания пористой структуры необходимо введение в их состав минерально-органических композиций, которые будут модифицировать структуру продуктов гидратации вяжущих, способствуя закупориванию пор, повышению скорости гидратации и достижению высокой прочности затвердевшей системы. Наиболее приемлемыми являются минерально-органические системы, минеральная часть которых представлена соединениями железа, а органическая – многоатомными спиртами.

**Постановка задачи.** Целью настоящей работы является получение пористых RPC и определение степени влияния минерально-органической добавки на основе минерального комплекса, содержащего железо и полиспирта на прочность при сжатии, пористость и водопоглощение этих бетонов.

**Результаты исследований.** В исследованиях производили в соответствии со стандартными методиками. Определение прочности при сжатии производили на универсальной машине УММ-100 испытанием стандартных образцов (образцы-кубы  $150 \times 150 \times 150$  мм и образцы-балочки  $40 \times 40 \times 160$  мм). Для изготовления образцов использовали стандартный портландцемент М400 производства ПАО «Хайдельберг цемент» (г. Кривой Рог). В качестве железосодержащего компонента использовали оксид железа и отходы обогащения железных руд и их тонкодисперсную часть. Отходы обогащения железных руд по своему гранулометрическому составу отвечают крупному песку (модуль крупности 2,3), тонкодисперсная часть отходов обогащения железных руд имела удельную поверхность  $260 \text{ м}^2/\text{кг}$ . В качестве заполнителя применяли речной песок. В качестве полиспирта – пропантриол-1,2,3. Предварительными исследованиями было определено, что использование пропантриол-1,2,3 позволяет в большей степени повысить прочность бетона. В качестве пенообразователя использовали пенообразователь – ПО-2, а в качестве заполнителя пористого бетона применяли искусственный заполнитель из отходов горнообогатительных комбинатов.

Для исключения влияния на результаты исследований состава бетона, он был принят постоянным: цемент - 450 г.; заполнитель - 150 г.; вода -250 г.

Для получения пенобетона добавляли 0,8 гр. пенообразователя, для получения газобетона – 1 г алюминиевой пудры.

В результате получены пористые бетоны объемом  $1000 \text{ см}^3$  (1 л):

пенобетон: плотностью  $654 \text{ кг/м}^3$ , прочностью при сжатии 1,8 МПа.

газобетон: плотность  $650 \text{ кг/м}^3$ , прочность при сжатии 1,9 МПа

В процессе экспериментов в составе бетона изменялось содержание железосодержащего компонента и полиспирта.

Железосодержащий компонент вводился в сухом виде путем смешивания с цементом и заполнителем, полиспирт вводился в предварительно отмерянную для замеса дозу воды.

Результаты исследования влияния комплексной добавки на прочность пористого бетона (табл. 1) показали, что оптимальным является соотношение 1:1 между железосодержащим компонентом и полиспиртом. При суммарном их расходе 2 г/л бетона.

Влияние комплексной добавки на прочность при сжатии пористого бетона

Содержание тонкодисперсных отходов обогащения железных руд, гр/л	Прочность бетона, %, при содержание полиспирта, гр/л		
	0	1	2
0	100/110	150/150	160/165
1	110/124	180/180	176/183
2	123/125	175/180	180/184

Примечание:

1. Плотность бетона 650 кг/м<sup>3</sup>.
2. Расход компонентов добавки приведен на 1 л бетона.
3. Прочность: в числителе - пенобетона, в знаменателе - бетона на пористом бетоне

Как видно из результатов экспериментов использование тонкодисперсной части отходов обогащения железных руд оказалось более эффективным по сравнению с использованием оксида железа, очевидно, это связано с тем, что в отходах обогащения железных руд содержится не только оксид железа, но и другие соединения железа.

Так как для бетона наиболее опасной является открытая пористость, то во второй группе проведенных исследований было изучено изменение данного вида пористости в зависимости от содержания комплексной минерально-органической добавки. Открытую пористость пористого бетона определяли двумя методами: методом объемного водопоглощения и методом капиллярного подсоса.

В первом случае образцы бетона высушивали до постоянной массы, взвешивали, на 48 часов погружали в воду и вновь взвешивали. Водопоглощение определяли как отношение разницы в массе образцов выдержанных в воде и высушенных до постоянной массы к массе высушенных образцов в процентах. Во втором случае образцы-балочки помещали в емкость с водой в вертикальном положении таким образом, чтобы образцы были погружены в воду на 1 см. В процессе проведения эксперимента (48 часов) уровень воды в емкости поддерживали на постоянном уровне. Водопоглощение определяли тем же методом.

Как показали результаты экспериментов по первому методу (табл. 2), введение комплексной добавки в исследуемую систему приводит к резкому снижению водопоглощения бетоном.

Таблица 2.

Влияние комплексной добавки на водопоглощение пористого бетона (погружение в воду)

Показатель	Содержание полиспирта, г/л			
	0	1	2	3
Водопоглощение, %	92/48	80/32	68/30	63/26

Примечание:

1. Расход добавки приведен на 1 л полученного бетона.
2. Водопоглощение: в числителе – пенобетона; в знаменателе – бетона на пористом бетоне.
3. В добавке равно содержание оксида железа и полиспирта.
4. Масса высушенного образца 654 г.

Определение водопоглощения пористого бетона вторым методом (методом капиллярного подсоса) также показало, что введение комплексной добавки приводит к значительному уменьшению водопоглощения пористым бетоном (табл. 3).

Таблица 3.

Влияние комплексной добавки на водопоглощение пористого бетона (капиллярный подсос)

Высота подъема воды, %	
Без добавки	С добавкой полиспирта (2 г/л)
50/36	22/12

Примечание:

1. Расход добавки приведен на 1 л полученного бетона.
2. Водопоглощение: в числителе - пенобетона; в знаменателе - бетона на пористом бетоне.
3. В добавке равно содержание оксида железа и полиспирта.
4. Масса высушенного образца 1664 г.

Уменьшение высоты подъема воды по телу бетона можно объяснить только резким уменьшением количества открытых и сообщающихся капилляров в объеме пористого бетона при введении комплексной добавки, которая состоит из полиспирта и железосодержащего вещества. А это является подтверждением научной гипотезы работы.

В третьей группе исследований было определено изменение массы образцов-кубов (которые имели объем  $1000 \text{ см}^3$ ) начиная с 3-суточного возраста.

Как показали результаты следующей группы экспериментов, образцы, изготовленные из пористого бетона (пенобетона) с добавкой, за 25 суток потеряли 16,3% массы, а образцы, изготовленные из пенобетона без добавки - 17,8 %, т.е. потеря массы образцами, после 3 суток твердения, практически не зависит от содержания комплексной добавки. Однако следует отметить, что в момент изготовления образцов они имели практически одинаковую массу, были изготовлены с одинаковым расходом компонентов по одинаковой технологии. Их состав отличался только наличием добавки, масса которой составила 3 г, что не является определяющим влиянием на результаты экспериментов. Образцы хранили в климатической камере при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  и относительной влажности 65 %.

Таким образом, за трое первых суток твердения, образцы, приготовленные на основе дисперсной системы «цемент - вода - пенообразователь», потеряли 24,6% от массы, а образцы, приготовленные на основе системы дисперсной системы «цемент - вода - пенообразователь - комплексная добавка», только 7,6 % от массы образца.

Так как образцы изготавливали из одних и тех же материалов, одного и того же состава, то потеря массы образцами могла происходить только из-за потери ими влаги. Результаты данной группы экспериментов косвенно подтверждают, что показывают, что в пористом, полученном в результате твердения дисперсной системы «цемент – вода – пенообразователь – комплексная добавка», формируется значительно большее количество замкнутых пор по сравнению с цементным камнем, полученным в результате твердения дисперсной системы «цемент – вода – пенообразователь».

Результаты данных исследований используются предприятием «Перспектив СМ» (п. Лозоватка). В промышленных условиях, использование тонкодисперсной части отходов обогащения железных руд и полиспирта пропантриол-1,2,3 в качестве добавки к пенобетону позволило: повысить прочность пенобетона 35-40 % и снизить расход цемента на  $50 \text{ кг/м}^3$  пенобетона.

#### **Выводы.**

На основании проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что одновременное введение в пористые бетоны минерального комплекса, содержащего железо, и полиспирта приводит к повышению прочности при сжатии, снижению водопоглощения и усадки указанных бетонов.
2. Показано, что содержание минерального железистого комплекса (порошка) и органического компонента в пористых бетонах носит экстремальный характер, т.е. имеется их содержание, обеспечивающее наибольшую прочность таких бетонов и их наименьшее водопоглощение.

#### *Список литературы*

1. **Баженов Ю.М.** Бетоны: технологии будущего / **Ю.М. Баженов.** // Современные стройматериалы. 2005. июль-август. С. 50-52.
2. **Красовский П. С.** Физико-химические основы формирования структуры цементных бетонов / **Красовский П.** // Учебн. пособ. Хабаровск: Издательство ДВГУПС, 2013. 204 с.
3. **Шишкина А. А.** Свойства и технология пенобетона, модифицированного оксидами железа: Дисс...канд. техн. наук: 05.23.05. – Кривой Рог, 2010. – 178 с.
4. **Горшков А.С., Ватин Н.И.** Свойства стеновых конструкций из ячеистобетонных изделий автоклавного твердения на полиуретановом клею // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 5 (40). С. 5-19.
5. **Горшков А.С., Ватин Н.И.** Инновационная технология возведения стеновых конструкций из газобетонных блоков на полиуретановый клей // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 8 (13). С. 20-28.
6. **Шишкин А.А.** Специальные бетоны для усиления строительных конструкций эксплуатирующихся в условиях действия агрессивных сред: дис...докт. техн. наук: 05.23.05. – Кривой Рог, 2003. – 336 с.
7. **Баженов Ю. М.** Технология бетона: учебник. М.: Изд-во АСВ, 2003. 500 с.
8. Effect of fly ash on autogenous shrinkage / Termkhajornkit P., Nawa T., Nakai M., Saito T. (2005) Cem. Concr. Res. Vol. 35. Issue 3. Pp. 473-482.
9. **Yang Y., Sato R., Kawai K.** (2005) Autogenous shrinkage of high-strength concrete containing silica fume under drying at early ages / Cem. Concr. Res. Vol. 35. Issue 3. Pp. 449-456.
10. **Меркин А. П., Траубе П. Р.** Непрочное чудо. М.: Химия, 1983. 224 с.
11. **Меркин А. П., Кобидзе Т. Е.** Особенности структуры и основы технологии получения эффективных пенобетонных материалов // Строительные материалы. 1988. № 3. С. 16–18.
12. **Шахова Л.** Некоторые аспекты исследований структурообразования ячеистых бетонов неавтоклавного твердения // Строительные материалы. 2003. №2 [приложение]. С. 4-7

13. Юдович Б. Э., Зубехин С. А. Пенобетон: новое в основах технологии // Техника и технология силикатов. 2007. Т. 1. С. 14–24.
14. Swamy R.N., Sakai M., Nakamura N. (2006) Role of Superplasticizers and Slag for Producing High Performance Concrete. The Fourth CANMET/ACI International Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete: ACI SP-148-1, Proceedings. Detroit (USA), - Pp. 1-26.
15. Kocaba V., Gallucci E., Scrivener K.L. (2012) Methods for determination of degree of reaction of slag in blended cement pastes. Cement and concrete research. Elsevier Science Publishing Company, Inc. Vol. 42. Pp. 511-525.
16. Шишкин А.А. Щелочные реакционные порошковые бетоны // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 2 (17). С. 56-65.
17. An innovation method in producing high early strength PFA concrete / Poon C.S., Kou S.C., Lam L., Lin Z.S. (1999) Creating with Concrete: International Conference. 1999: Proceedings. Dundee (Scotland). Pp. 131-138.
18. Sao J., Chung D.D.L. (2004) Use fly ash as an admixture for electromagnetic interference shielding // Cement and Concrete Research. Vol. 34. Issue 10. Pp. 1889-1892.
19. Effect of temperature on the hydration of portland cement blended with siliceous fly ash / Deschner F., Lothenbach B., Winnefeld F., Neubauer J. (2013) Cement and Concrete Research. Elsevier Science Publishing Company, Inc. Vol. 52. Pp. 169-181.
20. Годэн А.М. Флотация. М.: Госнаучлит по горному делу, 1959. - 653 с.
21. Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия. М.: «Наука», 1978. – 369. с.

Рукопись поступила в редакцию 21.03.17

УДК 622.274.5:622.341

В.В. ЦАРИКОВСКИЙ, д-р техн. наук, зав. отделом, Вал.В. ЦАРИКОВСКИЙ, канд.техн.наук, ст. научный сотрудник, В.Я. КОЗАРИЗ, канд.техн.наук, зав. отделом, Т.Т. СЕДУНОВА, зав. лабораторией, А.Ф. МИГУЛЬ, Д.А.РУБЦОВ, инженеры, НИГРИ ГВУЗ «КНУ»

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ЭТАЖНОГО ОБРУШЕНИЯ С УЧЕТОМ ДОПУСТИМЫХ ОБЪЕМОВ ВЗРЫВАЕМЫХ ВВ ПРИ ОТРАБОТКЕ МАГНЕТИТОВЫХ КВАРЦИТОВ ШАХТЫ ИМЕНИ ОРДЖОНИКИДЗЕ ПАО «ЦГОК»

**Цель.** Целью данной работы является разработка методики определения геометрических параметров системы этажного обрушения с учетом допустимых объемов взрывааемых взрывчатых веществ (ВВ). Обусловлено это спецификой условий отработки магнетитовых кварцитов шахты им. Орджоникидзе, заключающейся в проведении массовых взрывов взрывчатых веществ (ВВ) общей массой от 30 до 170 т при расположении вблизи шахтного поля многоэтажных жилых домов и промышленных сооружений. В связи с огромными массами взрывааемых взрывчатых веществ колебания земной поверхности достигают 6...7 баллов, что отрицательно влияет на состояние жилых домов и промышленных сооружений.

**Методы исследования.** Причиной указанного является наличие множества методик определения геометрических параметров систем разработки из условий их устойчивости и отсутствие исследований зависимости интенсивности сейсмических колебаний земной поверхности от объемов одновременно взрывааемых взрывчатых веществ при различных граничных условиях расположения отбиваемого массива. при проведении данной работы применялись методы инструментальных наблюдений за сейсмическим воздействием взрывных работ на земную поверхность.

**Научная новизна.** Научная новизна данной статьи заключается в установлении на основании инструментальных измерений сейсмической интенсивности колебаний земной поверхности при проведении массовых взрывов в различных горнотехнических условиях отработки магнетитовых кварцитов шахты им.Орджоникидзе взаимосвязей между условиями производства взрывов, объемом взрывааемых взрывчатых веществ в одном замедлении и интенсивностью колебаний земной поверхности и изучении влияния на интенсивность сейсмических колебаний земной поверхности количества обнаженных плоскостей, на которые отбивается рудный массив, наличие и ориентация обрушенных пород у отбиваемого массива, также установлена возможность использования порядков отбойки запасов для управления интенсивностью сейсмических колебаний земной поверхности.

**Практическая значимость.** По результатам проведенных исследований разработана методика, предусматривающая определение геометрических параметров конструктивных элементов системы этажного обрушения как из условий их устойчивости, так и с учетом допустимых объемов одновременно взрывааемых взрывчатых веществ.

**Результаты.** Разработанная методика позволяет выбирать схемы и порядки отбойки запасов, обеспечивающие устойчивость конструктивных элементов систем разработки и сохранность поверхностных сооружений.

**Ключевые слова:** взрывчатые вещества, сейсмическое колебание, земная поверхность, здание и сооружение.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Спецификой особенности отработки магнетитовых кварцитов шахты им. Орджоникидзе является значительный объем

взрывааемых при массовых взрывах ВВ и наличие в непосредственной близости от шахтного поля промышленных и жилых зданий и сооружений. Общий объем взрывааемых при массовых взрывах ВВ колеблется от 30 до 180 т. При этом объем взрывааемых ВВ в одном замедлении в зависимости от способов отбойки колеблется от 1-5 до 30 т. Минимальные расстояния расположения жилых домов, промышленных зданий и сооружений от эпицентров взрывов находятся на расстоянии от 300-400 до 1000-1200 м. Вследствие изложенного при ведении взрывных работ интенсивность колебаний земной поверхности достигает 6-7 баллов, что иногда значительно превышает допустимые нормы для вышеуказанных зданий и сооружений.

В связи с этим авторами, применительно к горно-геологическим и горнотехническим условиям отработки магнетитовых кварцитов шахты им. Орджоникидзе, разработана методика определения геометрических параметров системы этажного обрушения, позволяющая определять параметры конструктивных элементов указанной системы как из условий их устойчивости, так и из условий обеспечения допустимой интенсивности сейсмических колебаний земной поверхности.

**Анализ исследований и публикаций.** Одной из основных задач геомеханики является определение допустимых размеров обнажений и целиков. Многофакторная зависимость указанных параметров обусловила многообразие методов определения геометрических параметров систем. Многочисленные исследования, проведенные С.Г.Авершиным [1], С.Г.Борисенко [2], В.П.Волощенко [3], В.С.Гириным [4], Б.Е.Грецингером [5], Г.М.Малаховым [6], И.Д.Ривкиным [7], Н.И.Ступником [8], Г.Т.Фаустовым [9], О.Е.Хоменко [10], позволили разработать методики определения геометрических параметров различных систем разработки. Указанные методики позволяют учитывать влияние на вышеуказанные параметры систем разработки весьма широкого спектра влияющих факторов - морфологии, степени отработанности и порядков отработки залежей, специфики сдвижения налегающих пород, физико-механических свойств руд и пород, глубины отработки, формы и интенсивности отработки очистных камер и т.д. Однако, до настоящего времени геометрические параметры систем разработки определялись из условий устойчивости их конструктивных элементов. При этом не учитывалось влияние объемов отбиваемых запасов в конструктивных элементах систем разработки на сохранность поверхностных зданий и сооружений.

**Постановка задачи.** Для эффективной отработки магнетитовых кварцитов шахты им. Орджоникидзе системами этажного обрушения при одновременном обеспечении сохранности поверхностных зданий и сооружений необходимо разработать методику определения параметров конструктивных элементов вышеуказанной системы разработки с учетом как устойчивости их, так и допустимых, с точки зрения интенсивности сейсмических колебаний земной поверхности, объемов одновременно взрывааемых ВВ.

**Изложение материала исследований и полученные результаты.** С целью разработки методики определения допустимых размеров конструктивных элементов системы этажного обрушения с учетом как их устойчивости, так и допустимых объемов одновременно взрывааемых ВВ при их обрушении авторами были проведены исследования, позволившие установить взаимосвязь между объемом одновременно взрывааемых ВВ и интенсивностью колебаний земной поверхности при различных горнотехнических условиях отработки запасов выемочных единиц.

В результате указанных исследований было установлено, что при отбойке запасов на одну обнаженную поверхность:

при взрывании зарядов ВВ массой 20 т интенсивность сейсмических колебаний земной поверхности составляет 6-7 баллов;

при взрывании зарядов ВВ массой 15 т интенсивность сейсмических колебаний земной поверхности составляет 5-6 баллов;

при взрывании зарядов ВВ массой 10 т интенсивность сейсмических колебаний земной поверхности составляет 4-5 баллов;

при взрывании зарядов ВВ массой 5 т интенсивность сейсмических колебаний земной поверхности составляет 2-3 балла;

при взрывании зарядов ВВ массой 1...2 т интенсивность сейсмических колебаний земной поверхности составляет 1-2 балла.

В результате исследований было установлено также, что интенсивность сейсмических колебаний земной поверхности зависит не только от объема одновременно взрываемого ВВ, но и от граничных условий расположения отбиваемого массива. Например, при массовых взрывах с массой ВВ взрываемого в одно замедление 15 т, интенсивность сейсмических колебаний земной поверхности составляет:

при отбойке массива, граничащего со всех сторон с нетронутым массивом, от 5 до 6 баллов;  
 при отбойке массива, отрезанного от всячего и лежащего боков открытыми очистными пространствами, от 4 до 5 баллов;  
 при отбойке массива, граничащего со стороны всячего и лежащего боков обрушенными породами мощностью 30-40 м и более, от 3 до 4 баллов;  
 при отбойке массива, отрезанного от всячего и лежащего боков, а также одной из сторон вкрест простирания открытыми очистными пространствами, от 2 до 3 баллов;  
 при отбойке массива, граничащего со всех сторон с обрушенными породами, от 1 до 2 баллов.

Указанные результаты исследований получены при замедлении между отдельными сериями взрывов не менее 75 мсек.

Так как суммарный объем взрываемых ВВ при проведении массовых взрывов зависит от возможного количества замедлений авторами произведена оценка возможного количества замедлений при различных способах инициирования ВВ. Установлено, что при использовании электродетонаторов типа ЭД-КЗ, ЭД-ЗД при интервале замедлений 75 мсек может быть реализовано в условиях ш. им. Орджоникидзе до 12 серий замедлений. При применении неэлектрической системы инициирования может быть использовано до 20 серий замедлений.

Результаты указанных исследований позволили разработать методику определения параметров конструктивных элементов системы этажного обрушения с учетом допустимых объемов одновременно взрываемых ВВ. При этом следует иметь в виду, что:

отбойка запасов при системах этажного обрушения производится в два этапа. На первом этапе отбиваются запасы компенсационной камеры, а на втором - обрушаются основные запасы блока (потолочин и целиков);

размер компенсационных камер по простиранию на практике равен расстоянию между откаточными ортами, т.е. 30-35 м;

высота компенсационных камер при высоте этажа 80 м колеблется в интервале 50-60 м.

Суть вышеуказанной методики заключается в следующем.

В начале определяются параметры системы этажного обрушения с учетом допустимых объемов одновременно взрываемых ВВ:

1. Определяется допустимое суммарное количество ВВ на отбойку основных запасов блока

$$Q_c = K_3 \cdot Q_3, \quad (1)$$

где  $Q_c$  – суммарный допустимый объем ВВ, необходимый для обрушения основной части запасов блока, кг;  $K_3$  – количество замедлений;  $Q_3$  – допустимый вес заряда ВВ на одно замедление, кг.

Допустимый вес заряда взрывчатых веществ на одно замедление определяется с учетом условий проведения взрывов, которые разделены на следующие группы:

отбойка рудного массива, граничащего со всех сторон с нетронутым массивом;  
 отбойка рудного массива на одну обнаженную поверхность;  
 отбойка рудного массива на две обнаженные поверхности;  
 отбойка рудного массива на одну обнаженную поверхность и обрушенные породы;  
 отбойка рудного массива, отрезанного от лежащего и всячего бока, а также граничащего одной из сторон с обрушенными породами;  
 отбойка рудного массива, граничащего со всех сторон с обрушенными породами.

2. Запас основной части блока определяется из выражения

$$Q_o = Q_c / q, \quad (2)$$

где  $Q_o$  – запасы магнетитовых кварцитов основной части блока, т;  $q$  - удельный расход ВВ на первичную отбойку, кг/т.

3. Запас компенсационной камеры составляет

$$Q_k = q_k \cdot Q_k / (1 - q_k), \quad (3)$$

где  $Q_k$  – запасы магнетитовых кварцитов компенсационной камеры, т;  $q_k = 0,20 \dots 0,40$  – удельный вес объема компенсационной камеры в общем объеме блока, доли единицы.

4. Объем компенсационной камеры определяется из выражения

$$V_k = Q_k / \gamma, \quad (4)$$

где  $\gamma$  – плотность (объемный вес) магнетитовых кварцитов, т/м<sup>3</sup>.

5. Площадь компенсационной камеры определяется из выражения

$$S_k = V_k / h_k, \quad (5)$$

где  $h_k = 50-60$  – высота компенсационной камеры, м.

6. По известной площади компенсационной камеры, приняв размер ее по простиранию равным, как указывалось раньше, 30...35 м, или исходя из других технологических соображений, размер компенсационной камеры вкрест простирания определяется по номограмме рис.6.23 работы [11].

После определения допустимых объемов взрывчатых веществ для отбойки основных запасов блока и геометрических параметров компенсационной камеры производится расчет геометрических параметров системы из условий их устойчивости в соответствии с требованиями работы [11] с учетом результатов определений согласно пунктов 1-6.

Если запасы целиков (основные запасы блоков), определенные из условий устойчивости конструктивных элементов, меньше основных запасов, определенных с учетом объемов одновременно взрывааемых ВВ, то они могут быть увеличены до уровня последних. Но в этом случае объемы компенсационных камер не должны превышать их величин, определенных из выражения (4).

Эффективность определения геометрических параметров этажного обрушения с учетом допустимых объемов взрывааемых взрывчатых веществ на снижение интенсивности сейсмических колебаний земной поверхности, подтверждена экспериментальными массовыми взрывами при отбойке запасов магнетитовых кварцитов в семи блоках в этаже 527-447 м. В качестве примера приведен опыт проведения массового взрыва по разрушению междукамерного целика (-7) оси 22 декабря 2012 г., объем запасов которого определен по предложенной методике.

Специфика данного массового взрыва заключалась в том, что севернее, южнее и в висячем боку запасы указанного междукамерного целика граничили с толщиной обрушенных пород мощностью от 35 до 90 м. Только со стороны лежачего бока они граничил с массивом пород лежачего бока.

С целью снижения сейсмического воздействия данного массового взрыва на земную поверхность сотрудниками НИГРИ ГВУЗ «КНУ» совместно с инженерно-техническими работниками шахты было предложено отбойку запасов целика (-7) оси начать с отрезки его запаса от массива горных пород лежачего бока. Исходя из этого были определены допустимые объемы зарядов взрывчатых веществ на одно замедление в размере от 9-12 т при отрезке запасов целика от массива пород лежачего бока до 13-15 т при отбойке оставшихся запасов. Суммарный допустимый объем взрывчатых веществ, необходимый для обрушения запасов целика (-7) оси согласно зависимости (1) был определен в 120,9 т.

Инструментальными измерениями сейсмической интенсивности колебаний земной поверхности на эпицентральной дистанции в висячем боку 360-500 м, а в лежачем боку – 1000...1200 м от места проведения взрыва была зарегистрирована интенсивность сейсмических колебаний земной поверхности в 3 балла при традиционных 5-6 баллах и выше.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Таким образом, комплексное использование установленных взаимосвязей между массой заряда взрывчатых веществ взрывааемых в одном замедлении, условиями отбойки запасов и интенсивностью колебаний земной поверхности совместно с действующими в Кривбассе нормативными материалами по определению геометрических параметров обнажений и целиков позволила авторам разработать методику определения геометрических параметров системы этажного обрушения с учетом как их устойчивости, так и допустимой интенсивности сейсмических колебаний земной поверхности при отработке запасов. Как показал опыт шахты им. Орджоникидзе реализация результатов исследований, представленных в данной работе позволяет эффективно обрабатывать магнетитовые кварциты при сохранении поверхностных зданий и сооружений, расположенных вблизи шахтного поля, за счет снижения интенсивности сейсмических колебаний земной поверхности.

## Список літератури

1. Авершин С.Г. Расчет междукамерных целиков с учетом фактора времени / С.Г.Авершин, В.Я.Степанов // Проблемы механики горных пород. – Новосибирск: «Наука», 1971. – С.16-24.
2. Борисенко С.Г. Расчет на прочность элементов блоков при разработке рудных месторождений / С.Г.Борисенко, Е.И.Камский. – К.: «Техника», 1970. – 79 с.
3. Баранов А.О. Расчет параметров технологических процессов в подземной добыче руд / А.О.Баранов – М.: «Недра», 1985. – 224 с.
4. Гирич В.С. Учет устойчивости обнажений целика при оценке его прочности / Гирич В.С., Кучер В.М., Разкевич Ф.С. // Разработка рудных месторождений. – 1980. – Вып. 30. – С.51-55.
5. Именитов В.Р. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений / В.Р.Именитов – М.: «Недра», 1984. – 504 с.
6. Малахов Г.М. Влияние фактора времени отработки камер и глубины горных работ на устойчивость потолочин и всячего бока / Г.М.Малахов, А.И. Арсентьев, Г.Т.Фаустов // Горный журнал. – 1964. – №4 – С.27-31.
7. Куликов В.В. Совместная и повторная разработка рудных месторождений / В.В.Куликов – М.: «Недра», 1972. – 328 с.
8. Ступник Н.И. Оптимизация параметров камер и целиков при поэтажно-камерной выемке / Н.И.Ступник // Известия ВУЗов: Горный журнал. – 1985. – №9. – С.24-28.
9. Фаустов Г.Т. К вопросу о расчете целиков в упругопластичном состоянии / Г.Т.Фаустов, П.А.Абашин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1974. - №3. – С.27-36.
10. Хоменко О.Е. Усовершенствование технологии добычи железных руд из охранных целиков / О.Е.Хоменко. – Днепропетровск: НГУ, 2007. – 99 с.
11. Визначення та контроль допустимих розмірів конструктивних елементів систем розробки залізних руд. Інструкція по застосуванню /Є.Бабець, В.Сакович, С.Сиротюк, В.Цариковський. – Київ: Мінпромполітики України, 2010, – 122 с.

Рукопись поступила в редакцию 15.03.17

УДК 622.647.2

А.І. СТЕЦЕНКО, магістрант, Л.І. ЄФІМЕНКО, канд. техн. наук, доц.  
І.О. ДОЦЕНКО, ст. викладач, Криворізький національний університет

## НЕОБХІДНІСТЬ СТВОРЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНВЕЄРНОЇ ЛІНІЇ

**Мета.** Метою цієї роботи є створення комплексної системи автоматизації та контролю конвеєрної лінії для її безперебійної, надійної та економічної роботи, крім того система стане більш захищеною від серйозних пошкоджень та довгих простоїв, що в свою чергу відобразиться на грошових затратах, що несе підприємство для утримання системи. Тому, розробка комплексної системи автоматизації та керування й аналізу режимів роботи автоматизованої конвеєрної лінії є важливим і актуальним завданням для розвитку гірничодобувної промисловості.

**Методи дослідження.** Для вирішення цього завдання використовуються методи технічної діагностики основних вузлів та агрегатів конвеєрної лінії, що характеризують її технічний стан, також використовуються загальні методи теорії систем автоматичного управління, а також метод пасивного експерименту.

**Наукова новизна.** Наукова новизна полягає у створенні комплексної системи автоматизації конвеєрної лінії, яка на відміну від існуючих, включає в себе підсистему контролю та керування роботою лінії, підсистему технічного діагностування, підсистему прогнозування та аналізу стану обладнання системи, підсистему архівування даних, які можуть бути використані для розрахунків в інших відділах підприємства та підсистему пожежної сигналізації.

**Практична значимість.** Створення комплексної системи автоматизації дасть повноцінний контроль та максимально розширений спектр параметрів конвеєрної лінії, що характеризують її роботу, які зібрані в одному місці. При впровадженні комплексної системи автоматизації конвеєрної лінії можна досягнути значного економічного ефекту за рахунок зменшення простоїв лінії, збереження обладнання від значних пошкоджень та швидкості реагування на виникнення аварійних ситуацій.

**Результати.** Сформували принципи взаємодії основних підсистем об'єкту для збирання та архівування даних, які в подальшому можуть бути використані для аналізу та прогнозування системи або для розрахунків в інших відділах системи. Під час проведення аналізу роботи конвеєрних ліній було перелічено основні типи витрат, які пов'язані з роботою об'єкту. Визначили основні діагностичні типи сигналів, які несуть інформацію про технічний стан основних вузлів та агрегатів.

**Ключові слова:** конвеєрна лінія, комплексна система управління, діагностування технічного стану, архівація поточних даних.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Відомо, що стрічкові конвеєри є найбільш поширеним типом транспортуючих машин безперервної дії у всіх галузях промисловості. Із усіх конвеєрних установок, що експлуатуються в нашій країні, 90% складають стрічкові конвеєри. Вони використовуються в гірничодобувній промисловості – для транс-

портування руд корисних копалин і вугілля при відкритій розробці, в металургії – для подачі гірничої маси і палива, на підприємствах з потоковим виробництвом – для транспортування заготовок між робочими місцями і т. д.

За даними зарубіжних джерел застосування конвеєрного транспорту забезпечує зниження витрат на енергоносії на 65-70% і підвищення продуктивності праці, при якому витрати на робочу силу зменшуються на 80-93%, при цьому конвеєрний транспорт характеризується найменшими затратами енергії на підйом гірничої маси, його питома енергоємність становить 1,7-2,3 г умовного палива на підйом 1 тонни гірської маси на один метр.

За допомогою установок, оснащених стрічковими конвеєрами, можна транспортувати сипкі вантажі на дуже великі відстані, що перевищують 100 км. В такому разі створюють конвеєрні лінії, які складаються з ряду конвеєрів, що підпорядковані одній системі керування. Концептуальна схема взаємодії конвеєрних ліній представлена на рис. 1.

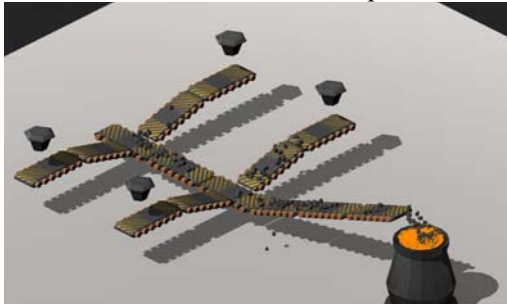


Рис. 1. Концептуальна схема взаємодії конвеєрної лінії

З цього виходить, що створення комплексної системи автоматизації та керування й аналізу режимів роботи автоматизованої конвеєрної лінії є актуальною задачею в умовах гірничодобувної промисловості.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Питаннями автоматизації конвеєрних ліній займався ряд авторів, які розробили загальні положення щодо цього питання [1-3].

Конвеєри вирішують завдання автоматизації й оптимізації процесу виробництва і є невід'ємною частиною різних технологічних ліній, наприклад, ліній транспортування руди, вугілля, шихти, обкотишів, фасування або розливу різних харчових і нехарчових продуктів, кондитерських ліній, ліній випічки хлібобулочних виробів. На відміну від інших видів транспорту цей вид дозволяє транспортувати матеріали до місць призначення під кутом до  $26^\circ$ , що дозволяє значно скорочувати довжину транспортних ліній і отримувати реальну економію, у порівнянні з використанням інших видів транспорту. Вони є складовою технологічного процесу, за їх допомогою встановлюють і регулюють темп виробництва, забезпечують його ритмічність, сприяють підвищенню продуктивності праці і збільшенню випуску продукції. Конвеєри є основними засобами комплексної механізації та автоматизації транспортних, завантажувально-розвантажувальних робіт і поточних технологічних операцій. Отже, від якості роботи конвеєрів залежить продуктивність, ефективність і швидкість роботи технологічних процесів виробництва, у яких вони задіяні.

Наявність автоматичної системи керування режимами роботи стрічкового конвеєра розширює можливості підвищення показників надійності, тому що застосування регульованого приводу зі змінною швидкістю транспортування, можливість регулювати запуск конвеєра, натяг стрічки, розподіляти тягове зусилля між барабанами, дозволяє впливати на термін служби окремих елементів і всього конвеєра в цілому.

Розглянемо деякі існуючі системи автоматизації конвеєрного транспорту.

Так, існує система автоматизації конвеєрної лінії ELSAP-01/2, яка може бути впроваджена для автоматизації конвеєрних ліній з 8 окремих конвеєрів. Вона дозволяє задавати режим роботи конвеєрної лінії та режим керування.

Система забезпечує взаємодію з системами гучного мовлення, візуалізацію режиму роботи, режиму керування та інформацію про стан датчиків. Зовнішній вигляд системи представлений на рис. 2 [4].

Але ця система не враховує зміни вантажопотоку, не виконує аналіз стану технічного обладнання, не зберігає значення поточних параметрів системи та не має інтегрованої системи пожежної сигналізації, що не задовольняє вимогам, які висуваються перед комплексною системою автоматизації конвеєрною лінією.



Рис. 2. Зовнішній вигляд системи ELSAP-01/2

Система WatchdogElite – це система комбінованого стеження за ходом стрічки, її швидкістю, температурою підшипників, центрування барабана, наявністю засмічень при роботі конвеєрів [5].

Система WatchdogElite включає сучасні PIC мікропроцесори. На екран виводяться повідомлення про статус конвеєра, а індикатор відображає швидкість стрічки. Доступ до калібрування і налаштувань здійснюється за допомогою пароля і кнопок на передній панелі [5].

Дана система забезпечує контроль швидкості стрічки, контроль зсуву стрічки, контроль температури підшипників контроль центрування барабана контроль наявності забруднень контроль прискорення, LED індикація. Зовнішній вигляд системи представлено на рис. 3 [5].

Рис. 3. Система комбінованого стеження WatchdogElite



Дана система керування не передбачає архівування та збереження даних, що характеризують роботу системи, не має інтегрованої системи протипожежної сигналізації та має не великий запас для подальшої модернізації системи.

Розглянуті системи вирішують окремі питання автоматизації конвеєрів не враховуючи вимоги до комплексної системи автоматизації. Також однією з найголовніших функцій комплексної автоматизованої системи керування та контролю конвеєрною лінією повинно бути архівування поточних даних для можливості простеження та аналізу роботи системи з плином часу та розрахунками, що пов'язані з економічною стороною процесу.

Постановка завдання. З аналізу наведених робіт видно, що необхідно створювати комплексні системи автоматизованого контролю та керування, які будуть включати в себе не тільки функції стеження за конвеєрною лінією, відображення поточних значень параметрів її роботи та можливість зміни режимів та параметрів керування, а ще і інтегровану взаємодію з іншими службовими системами, дія яких направлена на покращення роботи системи та її надійність.

Тому, розробка комплексної системи автоматизації та керування й аналізу режимів роботи автоматизованої конвеєрної лінії є важливим і актуальним завданням для розвитку гірничодобувної промисловості.

Викладення матеріалу та результати. Для створення комплексної системи автоматизації конвеєрної лінії було проаналізовано витрати пов'язані із експлуатацією конвеєрного транспорту у гірничодобувній промисловості для їх подальшого загального зменшення.

Відомо, що загальні експлуатаційні витрати грошових коштів при роботі конвеєрної лінії та її системи керування можна уявити як суму окремих груп витрат:

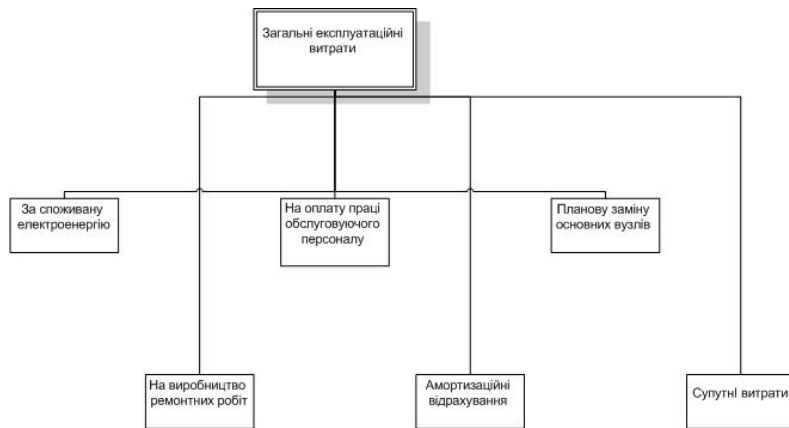
- за споживану електроенергію;
- на виробництво ремонтних робіт;
- на оплату праці обслуговуючого персоналу і працівників, які забезпечують нормальну експлуатацію конвеєрної лінії.

Крім того, в роботі враховуються додаткові статті витрат:

- витрати, що характеризують експлуатаційний ресурс системи.
- планову заміну основних вузлів та агрегатів системи.
- супутні витрати на видаткові матеріали.

У загальному вигляді аналітична модель експлуатаційних витрат може бути представлена на рис. 4.

на рис. 4.



**Рис. 4.** Модель експлуатаційних витрат конвеєрної лінії

Проаналізовані існуючі системи керування та слідкування за роботою конвеєрних ліній деякою мірою можуть зменшувати енерговитрати за допомогою оптимізації процесу керування. Тому, необхідно включати в загальну систему автоматизації і контролю підсистему, яка б підвищувала надійність системи та оберігала її від

значних пошкоджень.

Для вирішення подібної задачі потрібно до загальної системи включити підсистему технічного діагностування обладнання, що підвищить надійність системи в цілому та забезпечить зменшення часу простою, що виникає під час аварійних ситуацій. Також, для великих промислових конвеєрних ліній, що використовуються у гірничо-видобувній промисловості велику роль відіграють системи пожежної сигналізації та системи пожежного контролю.

Оскільки, майже всі конвеєри такого типу працюють у спеціальних галереях, то в такому випадку ускладнюється можливість ліквідації пожежної небезпеки. Тому, дуже важливо створювати надійні та сучасні системи пожежної безпеки, які зможуть попередити виникнення пожежної небезпеки і тим самим зберегти обладнання системи.

Аналіз стану технічного обладнання конвеєрної лінії доцільно сфокусувати на основних вузлах та агрегатах, що найчастіше піддаються пошкодженням, це є електродвигуни, редуктори та охолоджуюче обладнання. Найефективнішими методами аналізування стану обладнання є метод вібродіагностики та контроль температур основних вузлів та агрегатів.

Методи вібродіагностики спрямовані на виявлення та ідентифікацію несправностей агрегатів гірських машин і обладнання, що впливають на їх вібрацію - дефектів роторів, дефектів опорної системи, вузлів статора, підшипників ковзання і під-підшипників кочення, зубчастих і ремінних передач, які відчувають або генерують динамічні навантаження [6, 7, 8, 9, 10].

Як відомо цілями вібродіагностики є:

- попередження розвитку дефектів агрегату і скорочення витрат на його відновлення;
- визначення оптимальної технології відновлення та працездатності агрегату.

Носієм інформації про технічний стан елементів працюючого обладнання є віброакустичний сигнал. Вібраційний сигнал практично миттєво реагує на зміну стану обладнання, що обумовлює швидкість постановки діагнозу і прийняття рішення.

Аналіз дефектів конвеєрів дозволяє виділити наступні характерні дефекти [11, 12, 13, 14]:

- дисбаланс електродвигуна і барабана; розцентрування валів, дефекти елементів з'єднувальних муфт;
- ослаблення посадки підшипників;
- дефекти зубчастих передач в редукторі ;
- дефекти підшипників (збільшені зазори, дефекти тіл кочення, дефекти сепаратора і мастила);
- дефекти кріплення до фундаменту.

Температурний контроль в свою чергу передбачає контроль температури обмоток електродвигунів, температуру охолоджуючого повітря для них, температуру охолоджуючого повітря для допоміжного обладнання (частотні перетворювачі та ін.). Контроль температури підвищить захист обладнання від перегріву, чим збільшить час його нормальної експлуатації [15].

Таким чином, необхідність створення комплексної системи автоматизації конвеєрної лінії, полягає у врахуванні усіх чинників, що впливають на якість її роботи:

- швидкість та ціну ремонту;
- супутнє обслуговування;
- можливість попередження та ліквідації аварійних ситуацій та пожежної небезпеки.

Створення комплексної системи контролю та управління конвеєрною лінією з інтегрованою, діагностувальною та протипожежною системами, що дозволить проводити якісний контроль та управління, збирання поточної інформації про стан об'єкту, основних його параметрів та параметрів діагностуючих сигналів, поточне відображення та архівування цих даних для можливості подальшого аналізу, простеження зміни характеристик обладнання, економічних розрахунків. Принцип взаємодії основних частин системи представлений на рис. 5.



Рис. 5. Принцип взаємодії основних частин системи

Модернізована система керування за рахунок впровадження якісної системи пожежної безпеки дозволить швидко і якісно реагувати на виникнення пожежі або навіть попереджувати виникнення відкритого полум'я в конвеєрній галереї при використанні нових типів газоаналізаторів.

У випадку створення комплексної системи автоматизації та контролю такого типу, підвищується ефективність роботи системи, система стане більш захищеною від серйозних пошкоджень та довгих простоїв, що в свою чергу відобразиться на грошових затратах, що несе підприємство для утримання системи.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Таким чином, видно, що створення комплексної автоматизації конвеєрною лінією, яка включає в себе системи керування та слідкування, систему аналізу стану технічного обладнання, інтегровану систему протипожежної безпеки, систему зберігання та архівації поточних параметрів системи є необхідною умовою для можливості повноцінного контролю та підвищення ефективності роботи такої системи.

Частково розроблене програмне забезпечення для підсистем комплексної системи автоматизації конвеєрної лінії повністю задовольняє вимогам, що висувають перед системами автоматизації. Подальший напрямок досліджень доцільно спрямувати на можливість інтеграції такої комплексної системи автоматизації в загальну систему АСУТП підприємства, розробку повноцінного програмного забезпечення, що повністю забезпечить коректну роботу всіх підсистем та їх взаємодію з іншими системами підприємства, а значення основних параметрів системи, що впливають на прибутки, поєднати з економічними відділами підприємства.

### Список літератури

1. Новиков Е.Е., Смирнов В.К. Теория ленточных конвейеров для крупнокусковых горных пород. – Киев: Наукова думка, 1983. – 184 с.
2. Спиваковский А.О., Дмитриев В.Г. Теория ленточных конвейеров. – М.: Наука, 1982. – 190 с.
3. Полуниин В.Т. Эксплуатация мощных конвейеров. / В.Т. Полуниин, Г.Н. Гуленко - М.: Недра. - 1986. -344 с.
4. Система автоматизации конвейеров [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.ingortech.ru/novosti/item/42-система-автоматизации-конвейеров-elsap-01-2>
5. Комбинированная система слежения WatchdogElite [Электронный ресурс] - Режим доступа: [https://www.kck.ua/dir/oborudovanie\\_dlya\\_sypuchih/sistemy\\_kontrolya\\_rabty\\_norii\\_i\\_konveyerov/kombinirovannaja-sistema-clezhenija-watchdog-elite.html](https://www.kck.ua/dir/oborudovanie_dlya_sypuchih/sistemy_kontrolya_rabty_norii_i_konveyerov/kombinirovannaja-sistema-clezhenija-watchdog-elite.html)
6. Тиханський М.П. Принципи побудови автоматизованої системи діагностики технічного стану конвеєра / М.П. Тиханський, Л.І. Єфіменко // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. - 2010. - Вип. 25.- С. 250-254.
7. Єфіменко Л.И. Диагностические признаки и модели технического состояния приводного двигателя / Л.И. Єфіменко, М.П. Тиханський// Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. - 2011. - Вип. 28.- С. 213-218.
8. Назаренко В.М. Методи вібродіагностики механізмів ленточного конвеєра. Вибрація і вібродіагностика. Проблеми стандартизації. / В.М. Назаренко, М.П. Тиханський, Л.И. Єфіменко - Тез. докл. 3 Всесоюз. конф. - Нижний Новгород - 1991. - С. 78-79.
9. Клюев В.В. Технічні засоби діагностування: довідник / В.В. Клюев, П.П. Пархоменко, В.Л. Абрамчук й ін., під заг. ред. В.В. Клюєва. - М.: Машинобудування. - 1989. - 672 с.
10. Маренич М.К. К вопросу о стабилизации производительности конвейерной линии техническими средствами автоматизации / М.К. Маренич, С.В. Дубинина //VII Международная научно-техническая конференция «Автоматизация технологических объектов и процессов»: сб. научных трудов, Донецкий национальный технический университет. - Донецк – 2007. - С.26-28.
11. Тиханський М.П. Методи й системи діагностики та прогнозування технічного стану стрічкових конвеєрів / М.П. Тиханський, Л.І. Єфіменко// Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. - 2008. - Вип. 21.- С. 163-167.

13. **Монастирський В.Ф.** Прогнозування технічного стану стрічкових конвеєрів за допомогою діагностики / **В.Ф. Монастирський, В.И. Плахотник.** // Шахтний і кар'єрний транспорт. М.: Надра. - 1986. - Вип.10. - С.38-42.
14. **Савицкий А.И.** Диагностика электродвигателей и параметров конвейера по сигналу мощности (тока) / **А.И. Савицкий, Л.И. Ефименко** // Новое в технологии и технике переработки минерального сырья» Сб. научных трудов ПАО НИПИ «Механобрчермет» - Кривой Рог: Изд-во Механобрчермет. -2011. - С.208-215.
15. **Воробйов В.А.** Стан і перспективи вдосконалювання температурного захисту електродвигунів. / **В.А. Воробйов, А.Б. Тубис, И.В. Нікітіна** // Електротех. пр-сть. Сірий.07. Електр. апарати й пристрої низької напруги: Оглядінформ. - 1990. - Вип.15. - 36 с.

Рукопис подано до редакції 04.04.17

УДК 681.2.084

С.Т. ТОЛМАЧОВ, д-р техн. наук, І.М. БУРЧАК, магістр  
Криворізький національний університет

## СИСТЕМА БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРУ МОМЕНТУ НА ВАЛУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

**Мета.** Метою даної публікації є викладення досвіду розробки та впровадження системи автоматичного безконтактного виміру та бездротової передачі інформації щодо крутного моменту на валу електродвигунів в умовах експлуатації в широкому діапазоні зміни статичного та динамічного навантаження.

**Методи дослідження.** Проведено порівняльний аналіз існуючих та перспективних систем безпосереднього виміру моменту на обертових валах електричних машин. Основна увага приділена найбільш поширеним на сьогодні тензорезисторним системам вимірювання пружних деформацій валу. Практична робота по конструюванню системи безконтактного виміру моменту пов'язана з підбором параметрів та формуванням тензорезисторного моста, реалізацією дистанційної передачі інформації з тензодатчиків після її оцифрування на зовнішній приймач за допомогою радіомодуля Bluetooth. Для програмування мікроконтролера використана апаратна та програмна платформа Arduino. Мова програмування пристроїв Arduino заснована на C/C++. Для роботи з кодами АЦП використано середовище розробки та платформа для виконання програм LabVIEW, що базується на графічній мові програмування «G» фірми National Instruments. Для фільтрації високочастотних шумів використано фільтр медіальної фільтрації.

**Наукова новизна.** Доказано, що на основі сучасних досягнень в галузі інтегральної електроніки можна створювати безконтактні та безпроводні системи виміру моменту та інших характеристик двигунів, вартість яких може бути значно меншою, ніж присутніх на сучасному ринку аналогів.

**Практична цінність.** Використання результатів роботи дає можливість в лабораторних умовах виконувати лабораторно-практичні заняття та наукові дослідження з однієї з важливих проблем електромеханіки – ефективного моніторингу моменту на обертових валах двигунів.

**Результати роботи.** Розроблено та впроваджено функціонально завершений пристрій для безпосереднього виміру крутного моменту. Практична реалізація системи показала, що тензорезистори як чутливі до пружних деформацій елементи залишаються одними з найбільш дешевих, точних та надійних компонентів в системах автоматичного вимірювання зусиль та моментів.

**Ключові слова.** Крутний момент, вимірювання, тензорезистори, Bluetooth, Arduino, LabVIEW.

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Задача надійного виміру крутного моменту двигунів є однією зі складних і важливих науково-технічних проблем. Розробка доступних для широкої практичної реалізації методів визначення моменту необхідна не тільки для розрахунку керуючих впливів систем регулювання, для наукового обґрунтування при розробці конструкцій нових двигунів, але й для рішення задач діагностики, визначення параметрів та сертифікації двигунів, що пройшли стадію ремонту, забезпечення високого рівня їх енергоефективності у процесі експлуатації. Необхідність вимірювання і керування моментом на валу присутня в приводах стрічкових конвеєрів, транспортерів, дозаторів, підйомних механізмів, робототехнічних комплексів. Відповідно кожний тип задач формує свої вимоги до параметрів вимірювальної частини дослідного стенда, точності вимірювань, способу та діапазону навантажень, тривалості досліджень, форми та способу передачі інформації, відповідного програмного забезпечення.

Проблема є особливо актуальною для найбільш поширених асинхронних двигунів (АД), одним з недоліків яких є суттєве зменшення енергетичних показників (ККД,  $\cos \varphi$ ) при недовантаженні. Не випадково нормативними документами Міністерства палива та енергетики України рекомендовано при коефіцієнті завантаження АД в діапазоні  $0 < k_3 < (0,4-0,5)$  встановлення

двигуна меншої потужності, а при  $(0,4-0,5) < k_3 < (0,7-0,75)$  доцільність зменшення встановленої потужності слід підтвердити відповідними розрахунками.

Для встановлення відповідності параметрів АД і навантаження найчастіше використовують зв'язок між потужністю на валу АД, частотою його обертання і крутним моментом. Але вимір моменту, особливо на обертових валах в умовах експлуатації, є складним технічним завданням, для вирішення якого розроблено значну кількість прямих та непрямих методів і пристроїв з різними принципами дії, системою обмежень, параметрами точності, універсальності тощо [1-10]. В останні десятиліття успіхи інтегральної стимулювали підвищення інтересу дослідників до цієї проблеми. Ряд закордонних фірм запропонували на зовнішній ринок великий спектр датчиків крутного моменту з високими технічними параметрами та функціональними можливостями [11-17]. Можна стверджувати, що прогрес у даному напрямку за останні 15-20 років перевершує досягнення всіх попередніх років. Але, на жаль, висока вартість цих пристроїв є суттєвою перешкодою на шляху їх широкого впровадження. Тому задача розробки недорогих та доступних для широкого практичного використання пристроїв при збереженні прийнятних параметрів точності, надійності та універсальності залишається актуальною. Саме у такому контексті розглядається основний матеріал даної публікації.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Дослідження проблеми вимірювання різних деформацій має достатньо велику історію. Способи вимірювання ККД (моменту, потужності на валу електричної машини) регламентуються ГОСТ 25941-83 [10]. За даним стандартом всі методи виміру класифікуються за двома типами – прямі й непрямі. Однозначної думки щодо доцільності застосування прямих або непрямих методів виміру моменту не існує, оскільки відповідь на це питання залежить від багатьох факторів як в області техніки та технологій, так і в області математичного моделювання. Слід зазначити, що незважаючи на значні успіхи у розробці та впровадженні пристроїв для прямого виміру моменту, велика вартість цих засобів вимірювання є серйозним обмежувальним фактором. Тому ГОСТ 25941-83 дозволяє застосовувати методи безпосереднього визначення ККД тільки для машин, що мають гарантовані значення ККД менше 85%. Для машин з великими значеннями ККД його визначення повинно проводитися непрямыми методами, які можна розділити на дві групи:

методи, що ґрунтуються на проведенні фізичних експериментів з подальшою обробкою їх результатів;

методи, засновані на математичному моделюванні з використанням каталожних даних та ідентифікації параметрів двигуна при деяких спрощуючих припущеннях.

Слід відзначити, що активний розвиток і досягнення техніки та технологій вимірювання фізичних величин дозволяють стверджувати, що деякі норми згаданого стандарту є застарілими і підлягають перегляду. Це стосується в першу чергу безпосередньому виміру крутного моменту на обертових валах електричних та інших машин за допомогою високочутливих датчиків, вихідний сигнал яких пропорційний моменту.

При навантаженні валу двигуна відбувається його скручування на кут, пропорційний крутному моменту. Цей кут можна виміряти за допомогою кутовимірювальної системи, яка реалізує перетворення вимірюваного моменту в електричний сигнал за допомогою оптичних, ємнісних, індуктивних, тензорезистивних, п'єзоелектричних, магнітопружних та інших типів перетворювачів [1]. Один із суттєвих недоліків цих систем полягає в тому, що для вимірювання крутного моменту потрібно відносно великий кут скручування. Це призводить до м'яких торсійних конструкцій, які дозволяють здійснювати тільки повільні вимірювальні процеси. Більш універсальними і точними є тензодатчики, які здатні реагувати на деформації навіть мікрометрового діапазону.

Деякі дослідники вважають початком історичного розвитку технології безпосереднього вимірювання крутного моменту далекий 1678-й рік, коли англійський учений Р. Гук встановив пропорційну залежність між деформацією і напруженням матеріалу (закон Гука). Помітний внесок у вирішення проблеми датований 1833-м роком. Він пов'язаний з мостовою схемою, яку англійський учений Х. Крісті запропонував для вимірювання найменших змін напруги. Після цього більше 100 років проводилися чисельні досліді з різними провідниками з метою пошуку найбільш чутливого до пружних деформацій провідникового матеріалу. І лише у 1938 році професор Руге розробив першу модель тензорезистора з можливістю його вільного наклеювання. Вже через три роки стали активно використовуватися перші індустриально виготовлені дро-

тяні тензорезистори, на основі яких були виготовлені перші статичні тензодатчики з вимірюванням крутного моменту реакції. Але більш важливим застосуванням датчиків крутного моменту завжди було вимірювання на обертовому валу машини.

Справжнім проривом у цьому напрямку стала поява на ринку в 1952 р. плівкових тензорезисторів. У цьому ж році плівкові тензорезистори були використані для вимірювань крутного моменту; при цьому передача вимірюваного сигналу тензорезисторного моста, наклеєного на обертовий вал, проводилася за допомогою контактних кілець. На даному етапі розробки перспективних датчиків крутного моменту виникли серйозні технічні проблеми, пов'язані з необхідністю забезпечення належної ізоляції кілець від валу і один від одного, сили натискання та надійності ковзаючого контакту, ретельної обробки поверхонь. Особливо значні труднощі виникали при високих швидкостях обертання валу.

Для усунення перелічених проблем з передачею сигналу була розроблена технологія безконтактної передачі сигналу з тензорезисторного моста. Перші зразки з реалізацією даної технології були пов'язані з передачею аналогового амплітудно-модульованого сигналу завдяки трансформаторній передачі. Після цього тензометрична техніка безконтактного виміру крутного моменту з обертових датчиків за динамікою свого розвитку стала основною.

Є всі підстави вважати, що тензометрична техніка в найближчому майбутньому залишиться основою датчиків крутного моменту [11,12]. Завдяки постійному зменшенню розмірів і поліпшенню стабільності електронних елементів стане можливим конструювати датчики з невпинним покращенням динаміки вимірювань. З іншого боку, поліпшена якість обробки сигналу інформації забезпечить збільшення точності вимірювального пристрою в цілому.

На сьогодні на ринку датчиків крутного моменту присутній великий спектр пропозицій провідних фірм і компаній у даній галузі – Datum Electronics (Великобританія) [13], Magtrol Inc (США) [14], НВМ (ФРН) [15], ТІЛКОМ (Білорусь). У всіх серіях датчиків застосовується технологія безконтактної передачі вимірюваного сигналу, що дозволяє проводити випробування при частоті обертання до 50000 об/хв. Тензодатчик серії M425 Datum Electronics для стандартного ряду корпусів забезпечує вимірювання моменту в інтервалі від 5 Нм до 10кНм, причому ті ж самі модульні елементи використовуються на замовлення для вимірювань в інтервалі від 1 Нм до 500 кНм. Датчик крутного моменту T40HS від НВМ в системі силової передачі для високошвидкісних випробувань потужності двигуна забезпечує надійні результати вимірювань крутного моменту в діапазоні до 1000 Нм з точністю 0,05%. Спеціально для компанії Marengo НВМ розробила чотири трикомпонентних датчика сили, які використовувалися при експериментальному аналізі напружено-деформованих станів комплектуючих гвинтокрила.

Останнім часом запропоновані акустoeлектронні пасивні датчики на основі поверхнево-акустичних хвиль (ПАХ) [16,17]. В основі роботи ПАХ-датчиків лежить властивість поверхневих акустичних хвиль змінювати свою швидкість і частоту в залежності від стану середовища, по поверхні якого вони розповсюджуються. Вони чутливі до механічних напруг і температури середовища, що дозволяє використовувати ПАХ-датчики для вимірювання крутного моменту, тиску і температури за рахунок зміни резонансної частоти. Правда, істотним ускладненням на сьогодні є необхідність герметичного корпусу, який здатний передавати деформації безпосередньо на підкладку з розташованим на ній поверхнево активним резонатором. Тому створення ПАХ-датчиків без залежності від конструкції корпусу, а за рахунок деформації спеціально сконструйованого ємнісного елемента, є одним з перспективних напрямків розробки бездротових датчиків. Датчики на ПАХ виконуються у вигляді мініатюрних плівок або таблеток і застосовуються в різних пристроях – від електронних і промислових систем до біомедичних приладів. На сьогодні найбільшого поширення вони набули в системах моніторингу технічних параметрів автомобілів за двома основними напрямками: вимір крутного моменту в системах рульового керування та трансмісії, а також вимір тиску в шинах. Лідером у розробці ПАХ-датчиків є англійська компанія Transense, до якої останнім часом підключилися такі потужні корпорації як Honeywell, Michelin, Texas Instruments и ряд інших компаній.

ПАХ-датчики мають ряд важливих переваг: відсутність джерел живлення, бездротове з'єднання з опитуваним пристроєм, проста установка, можливість роботи в агресивних середовищах з температурою до 250 °С, слабка чутливість до вібрацій та електромагнітних збурень, малі масогабаритні параметри, захищеність від зовнішніх впливів, великий термін служби і т. і.

За прогнозами [17] обсяг виробництва датчиків тиску Transense / Honeywell може досягти від декількох десятків до декількох сотень мільйонів штук на рік. Але на перспективність ПАХ-датчиків на сьогодні найбільше поширення набули датчики моменту на тензорезисторах.

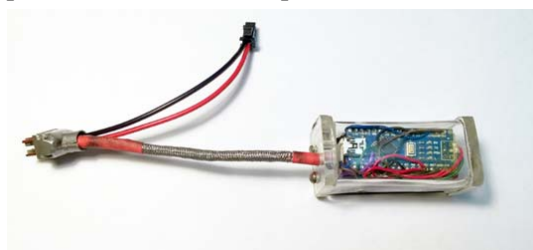
**Постановка завдання.** Основним завданням публікації є викладення досвіду розробки та впровадження системи безконтактного вимірювання та бездротової передачі інформації щодо крутного моменту на обертових валах електродвигунів в широкому діапазоні зміни навантаження. Виконання цього завдання базується на наступних технічних умовах:

- використання тензометричного способу виміру крутного моменту;
- забезпечення температурної стабілізації та лінійності характеристик тензорезисторів;
- використання стандартних модулів Arduino як найбільш доступних на сучасному ринку засобів електронного забезпечення розробки;
- цифрова форма сигналу при його передачі з тензомоста;
- дистанційна передача інформації на основі радіомодуля Bluetooth;
- розробка програмного забезпечення для реалізації проекту;
- розробка зручного інтерфейсу на базі системи графічного програмування LabVIEW;
- цифрова фільтрація сигналу для усунення впливу високочастотних шумів;
- виконання комплексу фізичних експериментів в лабораторії електричних машин кафедри електромеханіки на базі асинхронного двигуна з фазним ротором типу MTF-111-6У2;
- підготовка технічної документації щодо розробленої системи виміру крутного моменту.

**Викладення матеріалу та результати.** Один з найбільш перспективних і поширених методів виміру крутного моменту через деформації валу базується на використанні тензометричного моста [11,12]. Основною проблемою при використанні тензометрів є надійна передача інформації з обертового валу для подальшої обробки. Для реалізації цієї функції довгий час використовувалися індукційні, контактні, світлотехнічні та інші пристрої. Сучасні досягнення інтегральної електроніки дозволяють максимально спростити передачу інформації і в той же час підвищити точність і надійність передачі та обробки даних за допомогою цифрових технологій. Дистанційна безконтактна і бездротова передача інформації з обертового валу електродвигуна стала на сьогодні одним із основних напрямків вирішення проблеми. Один із варіантів пристрою, що використовує тензометричні елементи та цифровий радіоканал, проілюстровано в публікації [6]. Бездротова передача сигналу з тензометричного моста реалізована також практично у всіх промислових системах виміру крутного моменту.

Використання тензодатчиків для вимірювання пружних деформацій валу двигуна дозволяє отримати досить точні показники. В комплексі з досягненнями сучасної електроніки та мікропроцесорної техніки це дозволило провідним фірмам налагодити випуск високотехнологічних пристроїв, які забезпечують точність вимірювання моменту у класі 0,1 і вище. Але ці системи вимірювання мають відносно високу вартість, яка іноді перевищує вартість самої машини. У той же час сучасний стан розвитку електроніки дозволяє конструювати системи виміру, що здатні конкурувати з промисловими аналогами при значному зменшенні їх вартості.

Сучасні засоби передачі інформації з обертового валу машини по Bluetooth дозволяють отримувати інформацію максимально зручно і просто. У лабораторії електричних машин кафедри електромеханіки реалізований пристрій для прямого безконтактного виміру крутного моменту на валу працюючого електродвигуна. Малогабаритний пристрій у вигляді повністю завершеного модуля для закріплення на валу машини (рис. 1) можна встановлювати на різні вали технологічних пристроїв, транспортних засобів та інших агрегатів, де потрібно реєструвати крутні моменти шляхом перетворення вимірюваних аналогових сигналів у цифровий код і передачі на статичний приймач для подальшої обробки.



**Рис. 1.** Загальний вид мікроконтролера на базі модулів Arduino

Для отримання цифрових даних використаний 24-бітний АЦП, зібраний на мікросхемі НХ711. Ця мікросхема містить підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення і сігма-дельта АЦП. Вона була спеціально розроблена для застосування із тензодатчиками. У складі мікросхеми є також регулятор напруги для живлення тензодатчиків і два диференціальні канали для підключення одно-

часно двох датчиків (як альтернативу другий канал можна використовувати для контролю напруги батареї живлення).

Використаний у розробленому пристрої модуль Bluetooth HC-06 представляє собою функціонально завершений пристрій, який можна встановити на одній платі із мікроконтролером. Модуль Bluetooth дозволяє підключати модулі Arduino до телефонів, PDA, планшетів, смартфонів, ноутбуків і будь-яких інших пристроїв, які мають Bluetooth, що працює в режимі master. Він дозволяє передавати дані на контролер через стандартний інтерфейс RS-232. Радіус дії до 10 м, при прямій видимості - до 30 м. Протокол зв'язку Bluetooth Specification v2.0+EDR, хост інтерфейс UART. Під час зв'язку споживається струм 30-40 мА, в режимі очікування – 8 мА.

У якості керуючого процесора використаний мікроконтролер ATmega328 на основі Arduino IDE.

Для тарування (градування) пристрою необхідно штучно створити заздалегідь відомі значення деформації, а на виході фіксувати реакцію системи. Тарування дозволяє визначити чутливість тензометричної системи до вимірюваної величини та виконати перевірки роботи системи у всьому діапазоні її зміни, зокрема перевірити лінійність вимірювальної системи. Таке механічне тарування проводиться експериментальними методами та досить трудомістке. Забезпечення автоматичного тарування пристрою не є достатньо складним завданням і його реалізація передбачена у процесі модернізації приладу.

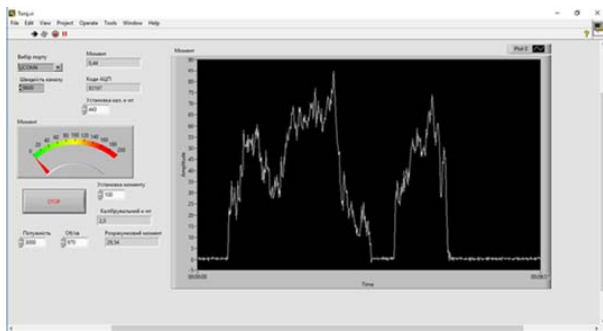


Рис. 2. Загальний вигляд віртуального приладу для відображення сигналу

Для подальшої роботи з кодами АЦП була використана система LabVIEW – середовища розробки та платформи для виконання програм, що базується на графічній мові програмування «G» фірми National Instruments [18].

Гнучке та універсальне програмне забезпечення LabVIEW дозволяє інтегруватись з іншими математичними та текстовими процесорами, такими як MATLAB, Mathcad, Exel та ін. За допомогою готових програмних блок-діаграм розроблено просту програму, яка повторює роботу програми Termit та може фіксувати значення АЦП, отримані по каналу Bluetooth [19].

Для усунення високочастотних випадкових шумів у сигналі інформації використані алгоритми згладжування (smoothing), реалізовані в системі MathCad. Деякі уявлення про роботу системи дають наведені на рис. 3-6 ілюстрації. Як видно з рис. 3, сигнал дуже зашумлений, що не дозволяє чітко його оцінити.

Обробка цього сигналу за допомогою математичного фільтра медіальної фільтрації (medsmooth) (рис. 4) дозволяє чітко виділити корисний сигнал на фоні шумів, які викликані биттям ротора та власними шумами АЦП і які чітко проявляються на малих величинах корисного сигналу.

У ході експериментів використовувався асинхронний двигун з фазним ротором МТФ-111-6У2. Для полегшення пуску в коло ротора вводилися опори, а після пуску було подано постійний струм на обмотку ротора для імітації роботи синхронного двигуна.

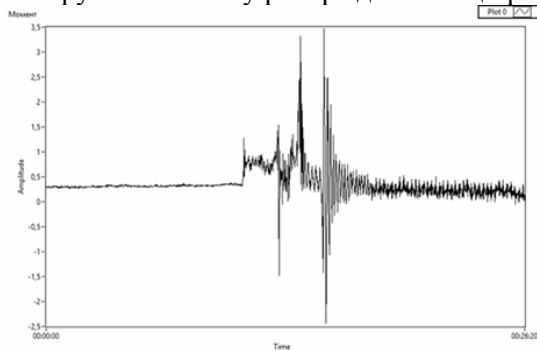


Рис. 3. Візуалізація пуску асинхронного двигуна

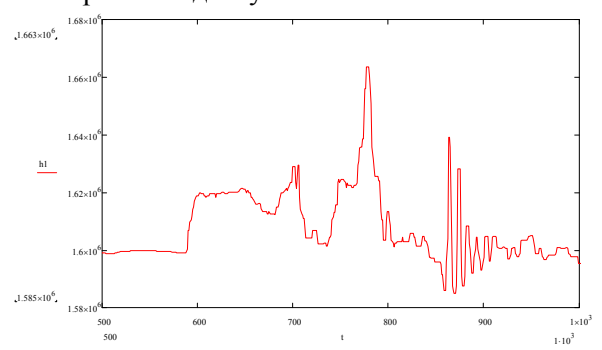


Рис. 4. Опрацьований за допомогою медіальної фільтрації сигнал пуску асинхронного двигуна у середовищі LabVIEW

Так було проведено моделювання роботи синхронного двигуна при усталеному режимі та його перевантаження з подальшим випадом із синхронізму. При перевищенні моментом на валу двигуна критичного рівня машина працює нестабільно, що можна побачити на (рис. 5). На рис. 6 цей же процес відображено при цифровій фільтрації вихідного сигналу датчика.

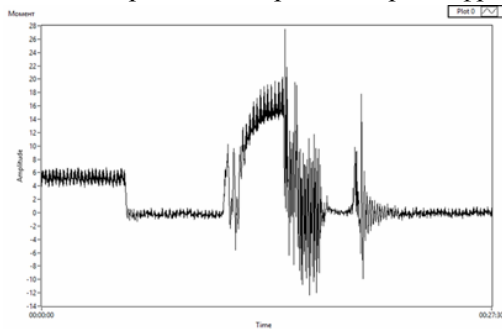


Рис. 5. Візуалізація перевантаження синхронної машини з подальшим випадом із синхронізму

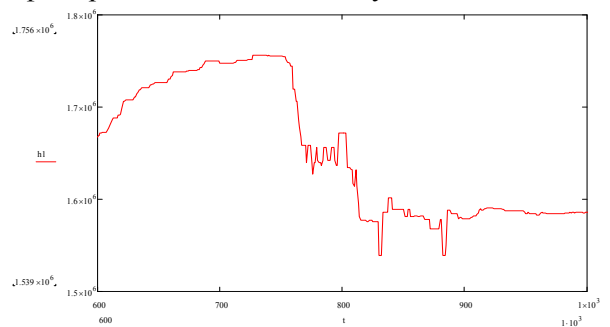


Рис. 6. Візуалізація перевантаження синхронної машини з подальшим випадом із синхронізму після обробки математичним фільтром (medsmooth)

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Розроблена система безпосереднього безконтактного вимірювання моменту в умовах працюючого двигуна має великий спектр практичного використання – від виконання лабораторних робіт і проведення наукових досліджень до впровадження на підприємствах різних галузей для контролю ККД, потужності на валу двигуна, відповідності двигуна навантаженню, сертифікації та діагностики тощо.

Сучасні досягнення в галузі електроніки і мікропроцесорної техніки дозволяють створювати системи виміру моменту та інших характеристик двигунів, вартість яких може бути значно меншою, ніж присутніх на сучасному ринку аналогів.

Практична реалізація системи прямого вимірювання моменту показала, що тензорезистори як чутливі до пружних деформацій елементи, залишаються одними із найбільш дешевих, точних та надійних компонентів в системах автоматичного вимірювання зусиль та моментів.

Подальші дослідження будуть спрямовані на підвищення технічних характеристик пристрою, зокрема на спрощення та автоматизацію системи тарування, впровадження технологій віддаленого доступу, забезпечення більш якісної цифрової фільтрації, розробку документації та широку апробацію в різних напрямках практичного використання.

#### Список літератури

1. Фролов Л. Б. Измерение крутящего момента / Л. Б. Фролов // – М.: Энергия, 1967. – 120 с.
2. Лейтман М.Б. Автоматическое измерение выходных параметров электродвигателей / М.Б. Лейтман // – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 152 с.
3. Умурзакова А. Д. Алгоритм и способ измерения крутящего момента двигателя в асинхронном электроприводе / А. Д. Умурзакова, Ю.Н. Дементьев // XIX Международная научно-практическая конференция «Современные техника и технологии». – С. 355-356.
4. Москаленко В.В. Измерение динамических моментов в электроприводах переменного тока / В.В. Москаленко, Л.С. Масандилов // – М.: Энергия, 1975. – 184 с.
5. Потапов Л.А. Измерение вращающихся моментов и скоростей вращения микроэлектродвигателей / Л.А. Потапов, Ф.М. Юферов // – М.: Энергия, 1976. – 121 с.
6. Батищев Ю.А. Измерение крутящего момента двигателя транспортных машин для построения математической модели загрязнения приземного слоя атмосферы / Ю.А. Батищев, В.В. Калашников // 2010.
7. Дементьев Ю.Н. Устройство для измерения крутящего момента трехфазного асинхронного электродвигателя / Ю.Н. Дементьев, А.Д. Умурзакова // Патент на полезную модель РФ № 131874, 27.08.2013.
8. Умурзакова А.Д. Способ измерения крутящегося момента асинхронного электродвигателя / А.Д. Умурзакова, В.Ю. Мельников // Инновационный патент РФ № 20031, 14.02.2009. бюл. № 2.
9. <http://leg.co.ua/info/elektricheskie-mashiny/izmerenie-mehchanicheskogo-momenta-na-valu-elektricheskoy-mashiny.html>
10. Методы определения потерь и коэффициента полезного действия электрических машин. – ГОСТ 25941-83.
11. В. Криммель. Развитие и будущее технологии измерения крутящего момента. АЛЬФА-СЕНСОР © 2010
12. Мехеда В.А. Тензометрический метод измерения деформаций: учеб. пособие / В.А. Мехеда // – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 56 с.
13. <http://www.datum-electronics.co.uk/products/torque-transducers-and-sensors/m425-rotary-torque-transducer/>
14. [http://www.magtrol.ru/catalog/torque\\_detectors/torque\\_detectors\\_tm.html](http://www.magtrol.ru/catalog/torque_detectors/torque_detectors_tm.html)
15. <http://www.hbm.com/en/5626/multi-axis-sensor-mcs10/>

16. Фильтры на поверхностных акустических волнах (расчёт, технология и применение) / Под ред. В. Б. Акпамбетова // – М.: Радио и связь, 1981. – 472 с.
17. Lohr R. Transense Technology Update, May 2007. – [www.transense.co.uk/downloads/articles](http://www.transense.co.uk/downloads/articles).
18. Пейч Л.И. LabVIEW для новичков и специалистов / Л.И. Пейч, Д.А. Точилин, Б.П. Поллак // – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 268 с.
19. Федосов В. П. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW: учеб. пособие / В. П. Федосов, А. К Нестеренко // под ред. В. П. Федосова. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 456 с.

Рукопис подано до редакції 19.03.17

УДК 622.53:681.518.52

С.Т. ТОЛМАЧОВ, д-р техн. наук, проф., О.В. ІЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.,  
Криворізький національний університет

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ НАСОСНИХ УСТАНОВОК ГОЛОВНОГО ВОДОВІДЛИВУ ШАХТ ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМУМУ ВАРТОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

**Мета.** Метою даної публікації є розробка методу оптимізації робочих режимів головних водовідливних установок гірничорудних шахт за критерієм мінімуму питомої вартості електроенергії.

**Методи дослідження.** Основна увага приділена можливості вибору таких робочих режимів насосних установок головного водовідливу, які відповідають характеристикам системи «насос – трубопровідна мережа», добовому графіку притоку води з нижніх горизонтів, технічним обмеженням (об'єм водозбірника, максимальна кількість насосних установок, які можуть працювати одночасно, горизонт головного водовідливу). Пошук оптимального варіанта роботи системи головного водовідливу реалізується шляхом погодинної дискретизації зони ефективної роботи насосних установок, формування масиву потенціально можливих робочих режимів та перебору комбінацій різних варіантів з урахуванням часових зон споживання електроенергії. Аналіз режимів роботи системи головного водовідливу розглядається на прикладі шахт «Гвардійська» і «Родіна».

**Наукова новизна.** Вирішення сформульованої проблеми ґрунтується на спеціально розробленому алгоритмі, реалізованому у вигляді комп'ютерної програми, яка автоматично формує добовий графік роботи головних водовідливних установок з урахуванням поточного об'єму води у водозбірнику, динаміки притоку води та пріоритетної роботи насосів по можливості у години мінімальної вартості електроенергії. Розрахунок добового графіка роботи насосних установок виконано з використанням системи візуального програмування LABVIEW.

**Практична цінність.** Використання результатів роботи дає можливість в умовах різних шахт сформувати добовий графік роботи системи головного водовідливу, які з урахуванням фактичних технічних параметрів та технологічних обмежень забезпечують мінімальну вартість електроенергії при роботі насосних установок, а також можливість оцінки потенціалу енергозбереження та визначення шляхів його реалізації.

**Результати роботи.** Основними результатами роботи є: метод оптимізації режимів роботи насосних установок головного водовідливу шахт за критерієм мінімуму питомої вартості електроенергії, алгоритм визначення погодинного графіка роботи насосів, комп'ютерна програма для реалізації даного алгоритму, практичні розрахунки щодо оптимізації роботи системи головного водовідливу.

**Ключові слова.** Водовідлив, насосні установки, енергоефективність, добовий графік роботи, оптимізація, вартість електроенергії.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Система водовідливу шахт займає важливе місце у технологічному процесі підземного видобутку корисних копалин. У схемі водовідливу глибоких гірничорудних шахт задіяно до 20 насосних установок (НУ) зі встановленою потужністю електрообладнання до 10 МВт. У загальному технологічному процесі видобутку руди водовідлив є одним з найбільш енергоємних процесів (до 25% у загальношахтному обсязі споживання електроенергії, який за рік становить в середньому 25-30 тис. МВт-год). Разом з тим НУ мають один з найбільших потенціалів енергозбереження – до 30-40% [1, 2]. Тому поряд з головною вимогою до них – забезпечення надійного обезводнення гірничих робіт, стоїть завдання виконання цієї функції при мінімальному споживанні і вартості електроенергії.

Проблема підвищення енергоефективності роботи систем водовідливу тісно пов'язана з комплексом практичних задач, зокрема, з експлуатаційною економічністю та надійністю НУ. В останні роки ця комплексна проблема набула виключної актуальності, оскільки за результатами експериментальних досліджень у виробничих умовах середній ресурс найбільш поширених у системах водовідливу НУ типу ЦНС не перевищує 1400-2000 годин, а ККД головного водовідливу складає всього 0,45-0,46 [3].

У контексті проблеми підвищення енергоефективності НУ важливою особливістю системи водовідливу є незалежність його графіка роботи від основного технологічного процесу. Завдяки цьому комплекс водовідливу за рахунок зсуву робочих режимів із зони пікового споживання електроенергії у зони напівпікового і базового споживання може суттєво впливати на проблему вирівнювання графіка енергоспоживання шахти й скорочення витрат підприємства на електроенергію [4]. Але ефективне використання цієї можливості також вимагає виконання ряду практичних організаційно-технічних завдань.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Слід відзначити, що дослідження комплексу проблем, пов'язаних з ефективним функціонуванням систем водовідливу шахт, є предметом уваги багатьох дослідників як в теоретичному, так і в практичному плані. Загальні питання теорії і практики роботи НУ розглянуто в роботах [1, 2, 5-9].

Резерви підвищення економічності і надійності установок головного водовідливу шахт розглянуто в роботі [3]. Зокрема, звертається увага на зменшення середньої фактичної подачі насосів ЦНС 300 приблизно до  $240 \text{ м}^3/\text{год}$  (тобто на 20%). Таке суттєве погіршення робочих характеристик НУ обумовлено їх інтенсивним кавітаційним зношенням (більше 60-70% НУ). Як стверджують автори, підвищення ресурсу НУ і економічності водовідливу в цілому може бути досягнуто за рахунок забезпечення роботи насосів водовідливу з підпором. При цьому можна не тільки повністю позбавитися від кавітації, знизити рівень вібрацій насосів і усунути цілий ряд інших експлуатаційних недоліків, а й забезпечити значне підвищення показників енергоефективності процесу відкачування води. Так, за рахунок роботи насосів з підпором реально забезпечити середню експлуатаційну подачу в діапазоні  $Q = 330-380 \text{ м}^3/\text{год}$ , при якій можна очікувати зниження питомих енерговитрат (на відкачку одиниці маси води) приблизно на 16-17%. Зазначимо додатково, що суттєве збільшення інтенсивності відкачки води створює більш сприятливі умови для використання переваг зонного тарифу. Заслуговує також на увагу рекомендація щодо більш широкого використання економічних і надійних насосів ряду НСШ (ЦНСШ), коефіцієнт корисної дії яких на 3-7% вищий, ніж аналогічний показник широко поширених на водовідливі насосів типу ЦНС. Більш розгорнуту інформацію щодо організації системи підбору надано в роботах [10-12].

В публікації [4] розглянуто ефективність заходів щодо переведення водовідливу в режим регулятора споживання електроенергії. Відзначається необхідність повного звільнення головного водозбірника від води і мінімального рівня води в інших водозбірниках до початку пікового навантаження енергосистеми. У роботах [13, 14] розглянуто функціонування багатоступінчастих систем водовідливу в базисі Мах-плюс алгебри, яка відбиває дискретно-последовний взаємозв'язок окремих технологічних ділянок комплексу шахтного водовідливу. Визначальним при цьому є час заповнення дільничних водозбірників і час роботи відповідних насосів з відкачки. Ці часові параметри можуть бути визначені за величинами власних припливів у відповідні водозбірники й обсягу води, що перекачується з нижніх горизонтів, а також за величинами подачі насосів у робочому режимі протягом поточного циклу роботи НУ. Оскільки величина годинного припливу є нестационарною, у цитованій роботі запропоновано декілька методів її прогнозування. На основі проведеного порівняльного аналізу ряду альтернативних варіантів у якості моделі прогнозування швидкості припливу прийнята модель, побудована з використанням методу Хольта.

З наведеної інформації видно, що інструментальне визначення фактичних показників режимів роботи кожної НУ та забезпечення дієвого контролю за допустимим в межах  $10 \div 15\%$  експлуатаційного зниження їх робочих характеристик є необхідною умовою комплексного вирішення проблеми експлуатаційної надійності та високої енергоефективності роботи системи головного водовідливу шахт.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка методу оптимізації робочих режимів головних водовідливних установок гірничорудних шахт за критерієм мінімуму вартості електроенергії. Для оцінки енергетичної ефективності системи водовідливу можна використовувати як локальні (для окремо взятої шахти з конкретними параметрами встановленого на ній устаткування), так і універсальні (наприклад, для галузі або групи споріднених підприємств) показники. На практиці використовують наступні показники [5]: коефіцієнт корисної дії перетворювальної частини електромеханічної системи водопостачання або водовідведення (ЕМСВ); енергоємність водопостачання (питомі витрати електроенергії на одиницю об'єму відкачаної води);

питомі енерговитрати на підняття  $1 \text{ м}^3$  води на висоту  $1 \text{ м}$ ; питомі енерговитрати на переміщення  $1 \text{ м}^3$  води на довжину  $1 \text{ м}$ . У цитованій статті [3] для порівняння енергетичної ефективності насосів використовуються питомі витрати енергії на відкачку  $1 \text{ кг}$  води –  $h_n = H/\eta$ , де  $H$  і  $\eta$  – напір і ККД насоса відповідно.

Технічні заходи, пов'язані з налагодженням дієвого контролю за технічним станом НУ, моніторингом відповідності робочих характеристик насосів паспортним, поступовою заміною морально застарілих насосів новими типами насосів з більш високим ККД та ін., повинні бути передбачені у перспективних планах модернізації устаткування шахтного водовідливу та знаходитися під постійним контролем служб енергоменеджменту підприємств. Комплекс цих організаційно-технічних заходів відноситься до компетенції відповідних підрозділів підприємств, тому далі він не розглядається. Більш детальне обґрунтування вимагає питання регулювання режимів роботи НУ, зокрема частотного регулювання. Але оскільки системи водовідливу глибоких шахт є системами з високим статичним тиском (наприклад, на шахтах «Гвардійська» і «Родина» головний водовідлив розташований на горизонтах  $472 \text{ м}$  і  $500 \text{ м}$  відповідно) діапазон регулювання насосів ЦНС 300х600 є незначним навіть для номінальних параметрів насоса:  $v = (H_0/H_{ст})^{1/2} = (665/500)^{1/2} \approx 1,15$  (рис. 1). При частотному регулюванні навіть незначне зниження частоти обертання робочого колеса здатне забезпечити суттєве зниження кількості споживаної енергії, яке пропорційне кубу частоти обертання робочого колеса. Так, при зменшенні частоти на  $7\%$  потужність зменшується на  $(1-0,93)^3 \cdot 100 = 20\%$ , але при цьому зменшується подача і тому для збереження балансу треба відкачати певний об'єм води, що дещо зменшить вказану цифру економії. Все ж зменшення споживання енергії було б достатньо значним, якби не було ризику нестійкої роботи при  $H \approx H_{ст}$  (див рис. 2).

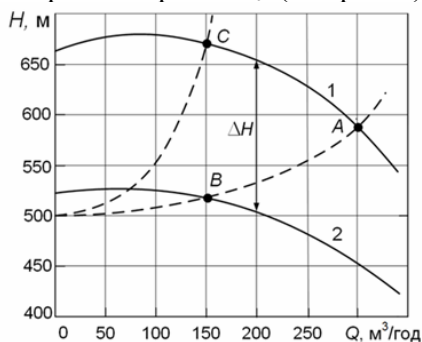


Рис. 1. Визначення положення робочих точок при різних режимах роботи насосів ЦНСх300-600

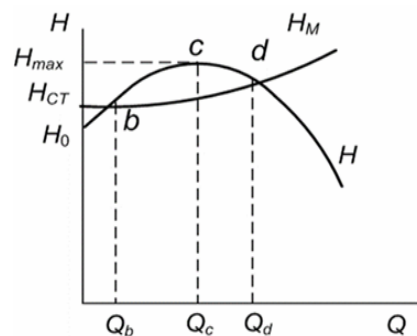


Рис. 2. Виникнення нестійкого режиму роботи насоса: т.  $d$  – точка стійкої роботи, т.  $b$  – нестійкої

Отже, високий статичний тиск, характерний для систем водовідливу глибоких шахт, обмежує використання частотних перетворювачів не тільки з урахуванням незначного діапазону регулювання, а й небезпеки виникнення нестійкої роботи системи НУ. Оскільки в практиці водовідливу недоцільно використовувати регулювання подачі дроселюванням, найбільш прийнятним в умовах діючих шахт є регулювання роботи системи водовідливу зміною числа працюючих насосів. За цих умов зусилля персоналу в даному питанні повинні бути спрямовані на реалізацію заходів щодо мінімізації гідравлічного опору трубопровідної системи. Як відомо, ця система порівняно з іншими може забезпечити найбільш високий рівень ККД за умови, що енергетичні показники кожної НУ мають оптимальне значення. Це досягається узгодженням напірної характеристики кожного насоса з індивідуальною характеристикою трубопровідної мережі. При відхиленні робочого режиму від точки оптимального навантаження насоса знижується ККД насоса, що призводить до зростання витрат електроенергії на транспортування гідросуміші. Крім того, при роботі насоса в неоптимальному режимі електродвигун також експлуатується не в оптимальному режимі, що зменшує його ККД і коефіцієнт потужності і викликає додаткові втрати електроенергії в електродвигуні і елементах електропостачання.

Слід також мати на увазі, що при роботі на гідросуміші характеристики насоса і системи можуть істотно відрізнятись від паспортних характеристик, одержуваних на воді. Тому необхідно провести перерахунок характеристик насоса з води на гідросуміш і розрахунок втрат напіру в гідротрасі проводити з урахуванням щільності гідросуміші, щільності твердих частинок,

об'ємної (або масової) концентрації твердих частинок в гідросуміші та гранулометричного складу [5].

Отже, в реальних умовах експлуатації завжди присутня велика кількість факторів, які мають достатньо вагомий вплив на енергетичні показники, але не можуть бути в комплексі точно визначені. В цих умовах логічним є моделювання ряду потенціально можливих комбінацій параметрів і режимів роботи елементів системи водовідливу, який дасть можливість визначити головні фактори впливу на загальні показники енергоефективності системи головного водовідливу в цілому.

**Викладення матеріалу та результати.** На основі наведеного вище аналізу можливих шляхів підвищення енергоефективності роботи системи головного водовідливу діючих шахт запропоновано наступний алгоритм: аналізується динаміка погодинної зміни припливу води з нижніх горизонтів та з горизонту розташування системи головного водовідливу; розраховується динаміка зміни рівня води у водозбірнику головного водовідливу; при допустимих рівнях води у водозбірнику пріоритет мають години роботи насосів у період мінімуму вартості електроенергії; кількість одночасно працюючих насосів автоматично обчислюється з урахуванням часу, рівня води у водозбірнику та динаміки її приросту; при формуванні погодинного режиму роботи насосних установок паралельно для кожного варіанта обчислюються параметри роботи системи головного водовідливу, зокрема поточна кількість одночасно працюючих насосів, споживана електроенергія, погодинна та добова вартість електроенергії, споживаної на відкачку води на поверхню.

Для реалізації вказаного алгоритму необхідно задати наступні вихідні дані: добовий графік подачі води на систему головного водовідливу; об'єм водозбірника головного водовідливу та його критичні рівні (мін, макс); діючу на підприємстві систему тарифів на електроенергію; типи насосів та їх реальні індивідуальні характеристики  $H-Q$  і  $\eta(Q)$ ; реальні  $H-Q$  характеристики трубопровідної мережі; максимальне число НУ, що можуть працювати одночасно; ККД електропривода для різних навантажень на валу.

Для візуалізації результатів роботи програми використана система візуального програмування LabVIEW [15,16]. На рис. 3-6 наведено приклади зображення інформації про деякі режими роботи НУ головного водовідливу в різні часові інтервали доби, а також деякі показники електроспоживання та вартості електроенергії.

Так, при робочій подачі насосів  $300 \text{ м}^3/\text{год}$  і добовому об'ємі відкаченої води  $4200 \text{ м}^3$  спожито  $11175,4 \text{ кВт}\cdot\text{год}$  електроенергії.

При цьому питомі витрати енергії на  $1 \text{ м}^3$  складають  $2,66 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$  і не залежать від добового графіка подачі води з нижніх горизонтів.

Але щодо вартості спожитої електроенергії, то при роботі НУ в години мінімуму (рис. 5, 6) вона становить  $2793,86 \text{ грн.}$ , у той час як при роботі у всі часові інтервали тарифної сітки (рис. 4) вартість спожитої електроенергії становить  $3613,39 \text{ грн.}$ , тобто на  $29 \%$  більше.

Відповідно питома вартість підйому  $1 \text{ м}^3$  води становить  $0,665 \text{ грн}/\text{м}^3$  і  $0,86 \text{ грн}/\text{м}^3$ . Питома вартість підйому  $1 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ м}$  висоти дорівнює  $13,3 \text{ коп}/\text{м}\cdot\text{м}^3$  і  $17,2 \text{ коп}/\text{м}\cdot\text{м}^3$ .

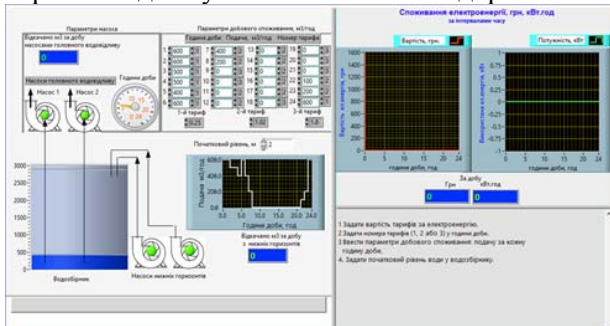


Рис. 3. Інформація про роботу системи головного водовідливу о 6-й годині ранку

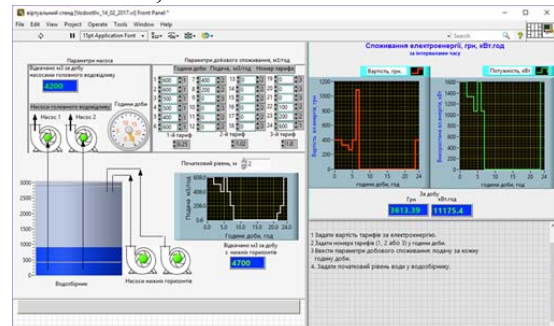


Рис. 4. Інформація про роботу системи головного водовідливу протягом доби (на 24-у годину). Робота у всі часові інтервали тарифної сітки

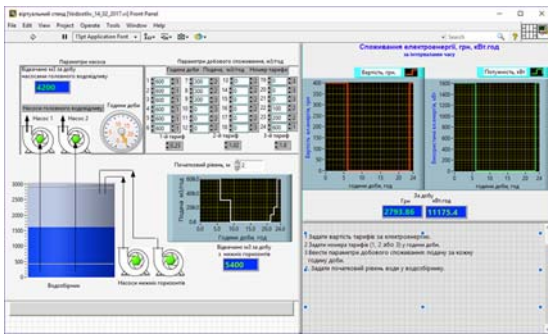


Рис. 5. Інформація про роботу системи головного водовідливу протягом доби (на 24-у годину). Робота у часовому інтервалі мінімальної вартості електроенергії

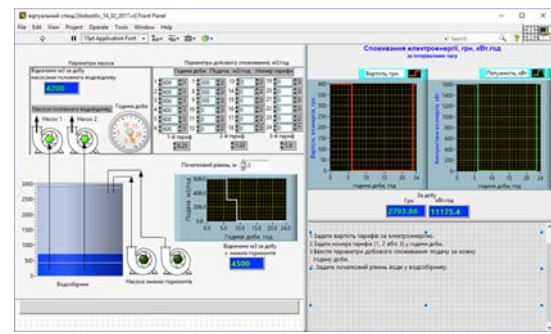


Рис. 6. Інформація про роботу системи головного водовідливу протягом доби (на 24-у годину). Робота у часовому інтервалі мінімальної вартості електроенергії

Наведені вище показники отримані для ідеальних умов роботи НУ при номінальних параметрах і максимальному ККД. В реальних умовах за рахунок відхилення робочих точок НУ від оптимальних показники енергоефективності можуть значно зрости. Так, при зменшенні напору на 10 %, як показують розрахунки, енергетичні показники зростають на 12% навіть при роботі в зоні мінімальної вартості енергії. Це зростання стає більш суттєвим при збільшенні припливу води до 6-8 тис. м<sup>3</sup> за добу.

Обчислювальні експерименти показують, що наведені вище показники не є універсальними. Вони залежать від об'єму водозбірника, висоти підйому води, максимальної кількості НУ, які можуть працювати одночасно та ряду інших факторів. У річному обчисленні вартість електроенергії з урахуванням тарифної сітки при об'ємі водозбірника 3000 м<sup>3</sup> і добовому припливі води в діапазоні 3000-7000 м<sup>3</sup> для різних варіантів може коливатися в межах від 200 тис. грн до 1200 тис. грн.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Використання розробленої програми дозволяє досить легко промоделювати енергоефективні режими роботи системи головного водовідливу та сформулювати добові графіки роботи насосного устаткування для різних комбінацій варіантів вихідних даних. Зокрема, якщо достатньо точно задані робочі характеристики і параметри всієї системи водовідливу шахти, то легко обчислити не тільки фактичні на даний період експлуатації енергетичні показники, а й визначити аналогічні показники при відхиленні параметрів в ту чи іншу сторону (наприклад, при зміні опору гідромережі, зменшенні робочого тиску або, навпаки, при заміні застарілих насосів на більш сучасні, зміні об'єму водозбірника тощо). Це дає можливість оцінити існуючий потенціал енергозбереження або негативні наслідки відхилення робочих параметрів НУ від оптимальних або паспортних. У подальшому планується узагальнити дослідження в напрямку комплексного врахування дискретно-неперервного характеру процесу відкачування води з кожного горизонту, а також провести серію обчислювальних експериментів для систем головного водовідливу ряду шахт.

#### Список літератури

1. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках. / Б.С Лезнов. – М.: ИК «Ягобра» Биоинформсервис, 1998. – 285 с.
2. Лезнов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках. /Б.С Лезнов// –М.: Машиностроение, 1981.– 144 с.
3. Антонов Э.И. Резервы повышения эксплуатационной экономичности и надежности установок главного водоотлива шахт / Э. И. Антонов, А. Н. Галанин // Наукові праці ДонНТУ. Випуск 22(195), Серія: Гірничо-електромеханічна. 2011. – С. 3-12.
4. Червінська Н. В. Прогнозування швидкості припливу при управлінні комплексом шахтного водовідливу / Н. В. Червінська// Вісник Хмельницького національного університету №4. 2012. – С. 18-22.
5. Шевчук С. П. Насосні, вентиляторні та пневматичні установки: підручн. / С.П. Шевчук, Г.М. Попович, О.М. Світлицький // – К.: НТТУ «КПІ», 2010. – 308 с.
6. Боярский В. А. Водоотлив и осушение на горных предприятиях: учеб. пособие / В. А. Боярский, И. П. Киров // – М.: Высш. шк., 1980. – 304 с.
7. Холоменюк М. В. Насосні та вентиляторні установки: навч. посіб. / М. В. Холоменюк. – Дніпропетровськ: Нац. гірн. ун-т, 2004. – 330 с.
8. Каргавый Н.Г., Топорков А.А. Шахтные стационарные установки. – М.: Недра, 1978. – 263 с.
9. Данильчук Г.И. Автоматизация электропотребления водоотливных установок / Г.И. Данильчук, С.П. Шевчук, П.К. Василенко. – К.: Техника, 1981. – 102 с.

10. Антонов Э.И. Схема и оценка параметров шахтной водоотливной установки с насосоструйной подкачивающей системой организации подпора / Э.И. Антонов // Горная механика: Сб. науч. тр. НИИГМ им. М.М. Федорова. – Донецк, 1991. – С. 126-148.
11. Галанин А.Н. Совершенствование насосно - струйной системы создания подпора на входе насосов водоотлива / А.Н. Галанин // Проблемы эксплуатации оборудования шахтных стационарных установок. Сб. научн. тр. НИИГМ им. М.М.Федорова. – 2007. – Вып. 101. – С. 227-236.
12. Малеев В.Б. Эффективность центробежно-струйных систем в составе шахтного водоотлива / В.Б. Малеев, Э.И. Антонов, В.А. Романов // Уголь Украины. – 1995. – №3. – С. 47-48.
13. Червинская Н.В. Моделирование процессов динамики комплекса шахтного водоотлива в базе Max-plus алгебры / Н.В. Червинская, В.И. Бессараб, В.В. Червинский // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація». Вип. 147 (30). – Донецьк :ДонНТУ, 2009. – 248 с. – С. 51–58.
14. Червинская Н.В. Использование аппарата Max-plus алгебры при описании объектов дискретно– непрерывного класса / Н.В. Червинская // Bulletin d'Eurotalent-Fidjip, 2009. – Volume 4. – France, Romilly sur Seine: Editions du Jipto, 2009. – ISSN 2101–5317. – 74 p. – P. 51–56.
15. Моделирование задач в среде LabVIEW - <http://automationlab.ru/index.php/2014-08-25-13-20-03/449-24----labview->
16. Пейч Л.И., Точилин Д.А., Поллак Б.П. LabVIEW для новичков и специалистов. М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 268 с.

Рукопис подано до редакції 19.03.17

УДК 624.012.454

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф., О.Ю. ЄРЬОМЕНКО, канд. техн. наук, доц.,  
М.О. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

## ХАРАКТЕРИСТИКИ МІЦНОСТІ ТА ЖОРСТКОСТІ БАЛОК АРМОВАНИХ БАЗАЛЬТОВОЮ АРМАТУРОЮ

**Мета.** Метою даної роботи є порівняння напружено-деформованого стану балок армованих базальтовою арматурою (BFRP) з аналогічними залізобетонними балками. Базальтова арматура є, відносно, новим матеріалом і особливості її роботи, у складі тих чи інших будівельних конструкцій, досліджені не в повній мірі. Існує обмежена кількість відомостей про характер впливу специфічних, притаманних композитним матеріалам, фізико-механічних властивостей базальтової арматури на загальну несучу здатність та деформативність конструкцій.

**Методи дослідження.** Вивчення, аналіз та систематизації результатів новітніх експериментальних досліджень поведінки базальтової арматури у складі будівельних конструкцій. Проведення оцінки характеру руйнування, тріщиноутворення, показників міцності та жорсткості за результатами випробувань експериментальних балок.

**Наукова новизна.** З'ясовані відмінності в характері руйнування, тріщиноутворення, прогинах та показниках міцності балок армованих базальтовою арматурою порівняно з балками армованими металевою арматурою. Встановлено потребу в удосконаленні методів оцінки прогинів балок армованих базальтовою арматурою зважаючи на показники жорсткості цієї арматури.

**Практична значимість.** Розглянуті відомості про особливості роботи балок армованих базальтовою арматурою порівняно з балками армованими металевою арматурою дають підстави стверджувати про ефективність використання базальтової арматури у складі бетонних конструкцій. Розширення бази експериментальних відомостей дасть змогу підвищити надійність конструкцій армованих базальтовою арматурою, вдосконалити існуючу нормативну базу з розрахунку та проектування таких конструкцій.

**Результати.** Встановлено, що балки ідентичних розмірів, виготовлені з бетону одного класу, армовані базальтовою та металевою арматурою одного діаметру показали приріст міцності при випробуваннях на згин, до 210% для випадку використання базальтової арматури порівняно зі зразками армованими металевою арматурою. В той же час прогини при руйнуванні балок з базальтовою арматурою більше ніж у 2.5 рази перевищували прогини балок армованих металевою арматурою. Прогини обох зразків балок при рівні навантажень, яке відповідає руйнівному для балок армованих металевою арматурою, були однаковими.

**Ключові слова:** композит, базальтова арматура, балка, бетон, міцність, прогин, тріщиностійкість.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Фіброармовані полімерні матеріали (FRP) все більше використовуються в будівництві, як для підсилення існуючих конструкцій, так і при виготовленні нових, в якості альтернативи металевої арматури. Вони характеризуються низькою питомою вагою, підвищеними показниками міцності на розтяг, втомної міцності. Однією з причин використання FRP матеріалів є те, що вони стійкі до впливу більшості агресивних середовищ і не зазнають корозії на відміну від металевої арматури [1]. Таким чином використання композитної арматури дозволить забезпечити нові функціональні переваги, підвищити надійність та довговічність конструкцій.

Застосування нових матеріалів потребує всебічного дослідження їх властивостей, а також властивостей конструкцій виготовлених з їх використанням.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Промисловість випускає, порівняно, велику кількість FRP матеріалів для будівництва. До них відносять композитну арматуру, яку за вмістом армуючої фібри поділяють на вуглепластикову (CFRP), арамідну (AFRP), базальтову (BFRP) та склопластикову арматуру (GFRP). Базальтова арматура є, порівняно, новим видом композитної арматури.

Базальтова арматура складається з безперервних базальтових волокон та полімерного композиту. Технологія пултрузії дозволяє виготовляти арматурні стержні шляхом поєднання цих двох компонентів. Дана технологія представляє собою процес протягування безперервного волокна через систему нагрітих фільтрів з одночасним просочуванням полімерним в'язким. За рахунок поступового зменшення перерізу фільтрів відбувається формування арматурного стержня [2].

Базальтові волокна отримують шляхом розплавлення подрібненої вулканічної базальтової породи при температурі 1400-1700 °С. Потім розплавлену породу екструдують через спеціальні платинові втулки для виробництва безперервного базальтового волокна. Останнє має властивості та характеристики подібні до скляних волокон, але вони більш стійкі до впливу агресивного середовища. Їх міцність та жорсткість поступається волокнам з арамідну чи вуглецю, але вартість базальтових волокон і матеріалів на їх основі набагато нижча [2].

В якості полімерної матриці, зазвичай, використовують такі термореактивні смоли, як вінілестер або епоксидна смола. Вони мають добрі показники міцності, хімічної стійкості, низьку повзучість порівняно з іншими термореактивними смолами [3]. Полімерна матриця потрібна для забезпечення сумісної роботи окремих волокон композиту між собою, рівномірного розподілу зусиль між ними, а також захисту волокон від механічних ушкоджень.

Волокна (фібра), що використовується для виготовлення композитів є високоміцними та відзначаються пружною роботою до руйнування в той час, як полімер представляє собою пластичний матеріал з низькою міцністю та жорсткістю.

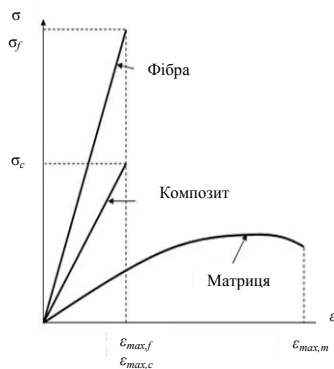


Рис. 1. Напружено-деформований стан композиту та його компонентів [4]

Оскільки композитна арматура є двокомпонентним матеріалом, то поєднання фібри і матриці дасть усереднені показники фібро пластиків порівняно з компонентами, які їх утворюють. Типова залежність напруження-деформація для композиту та його складових наведено на рис. 1.

На теперішній час існує досить велика кількість виробників композитної арматури, при цьому практично відсутні нормативні документи, які б регламентували характеристики продукції, що вони випускають.

Вважаючи на це гарантовані показники міцності того чи іншого виду композитної арматури можна отримати безпосередньо від виробника або експериментальним шляхом.

Нижче наведено табл. 1 типових механічних властивостей арматурних стержнів композитної арматури залежно від армуючого волокна та металевої арматури.

Таблиця 1

Механічні характеристики арматурних стержнів [5]

Назва характеристики	Сталь	GFRP	CFRP	AFRP	BFRP*
Межа текучості, МПа	276-517	-	-	-	-
Межа міцності, МПа	483-690	483-1600	600-3690	250-2540	1200
Модуль пружності, ГПа	200	35-51	120-580	41-125	50
Пружна деформація, %	0,14-0,25	-	-	-	-
Деформація при руйнування, %	6,0-12,0	1,2-3,1	0,5-1,7	1,9-4,4	2,5

\* - для випадку об'ємної долі волокна 0,8.

На теперішній час є дуже обмежена кількість відомостей про специфіку роботи BFRP арматури у складі бетонних конструкцій. В той же час накопичено значну кількість експериментальних відомостей стосовно поведінки конструкцій армованих GFRP арматурою. З огляду на певну спорідненість властивостей цих матеріалів можна виділити спільні, для конструкцій армованих композитною арматурою, особливості роботи під навантаженням.

Дослідження FRP арматури вказують на її пружний характер поведінки аж до руйнування. В той же час залізобетонні балки відзначаються пружнопластичною поведінкою за рахунок металевих арматурних стержнів у їх складі. Зважаючи на це дослідники [6] відмічають крихкий характер руйнування властивий для елементів армованих композитами, внаслідок розриву розтягнутої арматури або руйнування бетону стиснутої зони. Оскільки композитна арматура має менший модуль пружності, порівняно з металевою, дослідні зразки показують більші прогини [7]. Порівняння результатів випробувань балок армованих склоарматурою та металевою арматурою показало, що за однієї величини навантаження прогини балок з GFRP арматурою були в 1.5 рази більшими [8, 9]. Підвищена деформативність композитної арматури також впливає і на збільшену ширину розкриття тріщин. Однак зважаючи на корозійну стійкість такої арматури, даний критерій можна віднести до другорядних [10]. В роботах [9, 10] міститься детальний аналіз прогинів дослідних конструкцій армованих GFRP арматурою, наведені апроксимуючі криві теоретичних (побудованих за різними методиками) та експериментальних величин прогинів, зроблено намагання систематизувати наявні експериментальні дані з намаганням встановити залежність між відсотком армування конструкцій і їх прогином.

Наведені вище відомості, переважно, стосуються конструкцій армованих склопластиковою арматурою і, зважаючи на характеристики наведені в табл. 1, вони можуть відрізнятися для балок армованих базальтовою арматурою.

**Постановка завдання.** Визначення фактичних показників міцності та жорсткості конструкцій армованих базальтовою арматурою дозволить з'ясувати можливість використання BFRP арматури для армування конструкцій що працюють на згин. Результати експериментальних випробувань можуть слугувати за базис для розробки окремої нормативної бази по розрахунку та проектуванню таких елементів. З огляду на сказане, було проаналізовано результати новітніх експериментальних досліджень [11-15] поведінки базальтової арматури у складі будівельних конструкцій.

**Викладення матеріалу та результати.** Аналіз доступних експериментальних відомостей [11-15] вказує на те, що показники міцності та деформативності дослідних зразків мають багато спільного, тому нижче розглянуто результати описувані в роботі [15], як більш репрезентативні.

Програмою експериментальних випробувань [15] передбачалося дослідження балок двох серій. Балки першої серії (BC) армувалися базальтовою арматурою (BFRP), а другої (SC) – металевою арматурою. Кожна серія налічувала по два зразки. Зразки обох серій були довжиною 2000мм та мали розміри поперечного перерізу  $b \times h = 150 \times 200$  мм.

Армування зразків балок першої серії в розтягнутій зоні виконувалось двома стержнями BFRP  $\varnothing 8$  мм з руйнівним навантаженням на розтяг 1350 МПа та модулем пружності 46,98 ГПа. В розтягнутій зоні балок серії SC передбачалося два стержня металевої арматури  $\varnothing 8$  мм з руйнівним навантаженням на розтяг – 650 МПа. Поперечна арматура та конструктивна арматура в стиснутій зоні балок обох серій була металевою  $\varnothing 6$  мм [15].

Для визначення характеристик міцності бетону виконували бетонування зразків кубів розміром  $100 \times 100 \times 100$  мм. Усереднена кубкова міцність бетону, на момент проведення випробувань балок, склала 38 МПа [15].

Випробування дослідних зразків балок на згин виконували статичним навантаженням прикладеним в третинах прольоту. Навантаження прикладалися ступенями по 0,5 кН до руйнування.

Характер роботи під навантаженням балок армованих металевою арматурою (серія SC) був типовим з утворенням нормальних тріщин, їх поступовим розвитком і руйнуванням зразків внаслідок розриву розтягнутої арматури.

Балки армовані базальтовою арматурою (серія BC) зруйнувалися від руйнування бетону стиснутої зони (рис. 2).

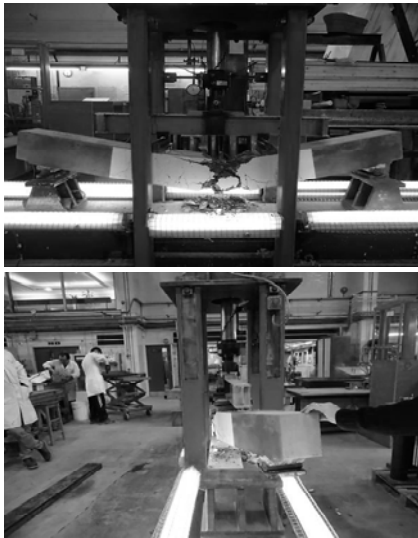


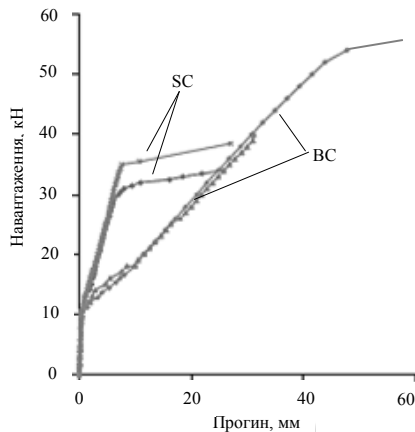
Рис. 2. Загальний вид зруйнованих зразків балок серії BC [15]

При рівні навантажень  $\approx 80\%$  від руйнівного дослідні зразки балок втрачали стійкість з площини дії моменту. На думку дослідників [15] це відбувалося внаслідок проковзування одного з двох стержнів через втрату зчеплення з бетоном.

Зважаючи на те, що модуль пружності базальтової арматури майже в 4 рази менший за модуль пружності металевої арматури з'ясування величин прогинів дослідних зразків становить певний інтерес. До рівня навантажень  $\approx 15\%$  від руйнівного балки серії BC не виявляли ознак надмірних прогинів. Після утворення тріщин в розтягнутій зоні ефективний момент інерції зменшився, що призвело до зменшення жорсткості перерізу. Останнє призвело до збільшення прогинів (рис. 3).

Подальше монотонне збільшення навантаження характеризувалося лінійною залежністю між прогинами і величиною навантаження. Відхилення від лінійності спостерігаються при рівнях навантажень близьких до руйнівних.

Рис. 3. Прогини дослідних зразків балок серії BC [15]



Останнє можна пояснити виникненням пластичних деформацій при зминанні бетону стиснутої зони балок. На рис. 3 залежність прогин-навантаження для однієї балки серії BC побудована не повністю оскільки завчасно були зняті прогиноміри [15].

В табл. 2 наведено експериментальні значення міцності, жорсткості та тріщиностійкості дослідних балок обох серій.

Дані наведені в табл. 2 свідчать про те, що армування балок базальтовою арматурою збільшило їх несучу здатність на  $\approx 210\%$  порівняно з балками армованими металевою арматурою.

Зріс також момент тріщиноутворення, в середньому, на 10%. В той же час прогини балок з BFRP арматурою також збільшилися.

Таблиця 2

Характеристики міцності та жорсткості дослідних зразків [15]

Зразок	Експериментальний згинальний момент при руйнуванні, кНм	Експериментальний момент тріщиноутворення, кНм	Експериментальне руйнівне навантаження, кН	Експериментальний прогин, мм
SC-1	10,2	10	34	25,6
SC-2	10,65	10,5	28	25,4
BC-1	17,4	11,2	57	73,5
BC-2	18,3	12,0	61	-

Так порівняння прогинів, які відповідають руйнівному навантаженню балок вказує на те, що для балок серії BC вони зросли, в середньому, у 2,5 рази порівняно з балками серії SC.

Даний показник співвідноситься зі зростанням несучої здатності балок серії BC у 2,1 рази.

Порівнювати прогини, які відповідають руйнівному рівню навантажень не зовсім коректно, оскільки безпосередньо перед руйнуванням відбулося проковзування базальтової арматури в тілі бетону, що не могло не вплинути на даний показник.

Аналіз рис. 3 показує, що для рівня навантажень, яке відповідали руйнівному для балок серії SC величина прогинів була однаковою в балках обох серій.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Результати експериментальних випробувань балок армованих базальтовою та металевою арматурою свідчать про те, що базальтова арматура може використовуватися в якості заміни металевої при армуванні конструкцій, які працюють на згин. Заміна металевої арматури стержнями базальтової арматури того ж діаметру створює двократний запас міцності та підвищує момент тріщиноутворення.

Надмірні прогини, яких зазнали зразки армовані базальтовою арматурою потребують додаткового аналізу та порівняння з результатами аналогічних експериментів.

Зважаючи на те, що при заміні металевої арматури на базальтову того ж діаметру міцність перерізу буде забезпечено, то розрахунок можна вести лише за другою групою граничних станів.

Самі вимоги, які містяться при розрахунку за придатністю до нормальної експлуатації можуть бути скореговані зважаючи, що утворення тріщин та їх розкриття для конструкцій армованих базальтовою арматурою є не таким критичним як при використанні металевої, оскільки базальтова арматура не зазнає корозії.

Зрозуміло, що наведені вище припущення потребують додаткових експериментальних випробувань.

#### *Список літератури*

1. **Іванов А. И.** Совершенствование конструкции и методики расчёта пролётных строений мостов с несущими элементами из композиционных материалов: дис... канд. техн. наук: 05.23.01/**Іванов Артём Сергеевич.** – Новосибирск: СГУПС, 2015.–183 с.
2. **Subramanian, D.N.**, Sustainability of RRC Structures Using Basalt Composite Rebars. The Masterbuilder, 9/2010: p. 156-164.
3. ISIS Design Manual No.3. “Reinforcing Concrete Structures with Fibre Reinforced Polymers (FRPs)”, ISIS Canada, 2007.-151p.
4. **Tuakta C.**: Use of Fiber Reinforced Polymer Composite in Bridge Structures, Massachusetts Institute of Technology, 2005.
5. ACI 440.1R-03, Guide for the Design and Construction of Concrete with FRP Bars, American Concrete Institute, Detroit, MI., 2003.-41p.
6. Structural design with FRP materials, Composite for Construction, **L.C.Bank, Jhon Willey** and son, 2006.
7. Load deflection analysis of FRP reinforced concrete flexural members, **M.A.Aiello**, Journal of Composite for Construction, vol.4, no.4, 2000.
8. Glass FRP Reinforcing Bars for Concrete, S.S.Faza and GangaRao, Fiber-Reinforced-Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures: Properties and Applications. **A.Nanni** (editor) @ 1993, Elsevier publication.
9. Experimental Testing of Concrete Beams Reinforced with Carbon FRP Bars, **M.M.Rafi, A.Nadjai and F.Ali**, Journal of Composite Materials, vol.41, no.22, 2007.
10. Flexural Behavior of Concrete Beams Reinforced with GFRP Bars, **Toutanji and Safi**, ACI Structural Journal, vol.97, no.5, 2000.
11. **Adhikari, S.** “Mechanical Properties and Flexural Applications of Basalt Fiber Reinforced Polymer (BFRP) Bars” Thesis, 2009.-385p.
12. **Eythor Jhorhallsson and Bjorgvin Smari Jonsson**, 2011 “Test of prestressed concrete beams with basalt fiber reinforcement polymer (BFRP) tendons”, Thesis in Civil Engineering with specialization in structural design submitted to School of Science and Engineering at Reykjavik University, Iceland, June 2011
13. **Jónsson, Björgvin Smári** “Prestressed BFRP tendons in concrete beams”. M.S thesis. Reykjavik University, Iceland 2011.
14. **Gan Yil, Jiang, Fei Weil, Sun, & Li Bing.** “Nonlinear Finite Element Analysis on Prestressed and Non-prestressed Concrete Beams with BFRP Tendons”. Journal of Logistical Engineering University.
15. **Luna Salh**, “Analysis and Behaviour of Structural Concrete Reinforced with Sustainable Materials”, M.SC thesis, Liverpool Universite, Liverpool, United Kingdom, 2014.-108p.

Рукопис подано до редакції 17.03.17

УДК 691.328.4; 691.175.3

Д.В. ПОПРУГА, канд. техн. наук, доц., О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф.  
Криворізький національний університет

## ВИКОРИСТАННЯ СКЛОПЛАСТИКОВОЇ КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ В ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТАХ ВИГОТОВЛЕНИХ З БЕТОНІВ НА ВІДХОДАХ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ

**Мета.** Метою даної роботи є визначення реальних фізико-механічних властивостей композитної склопластикової арматури і порівняння їх з аналогічними характеристиками металеві арматури. Визначення передумов використання склопластикових композитів в якості арматурних виробів згинальних елементів виготовлених на бетонах з відходів гірничо-збагачувальних комбінатів.

**Методи дослідження.** Окрім аналізу літературних джерел планується проведення натурного експерименту зі зразками композитної склопластикової арматури і металеві арматури А400С.

**Наукова новизна.** Реальні фізико-механічні характеристики композитної склопластикової арматури дозволять встановити закономірності рівномірної заміни металеві арматури А400С і можливість подальшого використання композитів в бетонних згинальних елементах.

**Практична значимість.** Згідно експериментальних даних, отриманих під час випробування зразків композитної склопластикової арматури на розрив, буде розроблена програма наукового дослідження згинальних бетонних елементів виготовлених на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів і армованих композитною склопластиковою арматурою. Визначення реального напружено-деформованого стану згинальних елементів армованих композитами і виготовлених з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів, дозволить встановити передумови використання подібної арматури в згинальних бетонних будівельних конструкціях, а особливо виготовлених на бетонах, що мають знижені деформативні характеристики.

**Результати.** Під час експериментального дослідження різних діаметрів композитної склопластикової арматури на розрив буде встановлено: фактичні розміри і вага арматурних зразків, визначення тимчасового опору арматури на розтяг, побудовано графічну залежність "напруження-деформації", визначення наявності або відсутності площадки текучості, відносні деформації арматурних зразків, початковий модуль пружності. Визначені фізико-механічні характеристики металеві арматури А400С дозволять встановити реальні залежності рівномірної заміни її композитною склопластиковою арматурою при виготовленні бетонних згинальних елементів.

**Ключові слова:** композитна склопластикові арматура, металеві арматура, фізико-механічні характеристики, тимчасовий опір на розрив, рівномірна заміна, модуль пружності.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Складна економічна ситуація в Україні і світі потребує рішучих дій у напрямі зниження собівартості будівельно-монтажних робіт. Використання відходів промисловості у вигляді заповнювачів для бетонів і новітніх композитних матеріалів в якості арматурних виробів, може призвести до зниження вартості монолітного будівництва в Україні.

Для Криворізького залізничного басейну гостро стоїть проблема переробки відходів гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК). Використання відходів ГЗК при виготовленні бетонних елементів може здешевити вартість  $1 \text{ м}^3$  бетону [1], а армуванням побічних бетонних конструкцій склопластиковою композитною арматурою може надати нових якісних характеристик конструкціям.

Особливості роботи склопластикової композитної арматури в згинальних бетонних конструкціях на сьогоднішній день недостатньо вивчені, а робота подібного матеріалу в бетонах виготовлених на відходах ГЗК, що мають знижені деформативні характеристики, взагалі не ведеться. Саме тому запропонований науковий напрям має наукову і практичну цінність.

**Постановка завдання.** Перед авторами стоять наступні завдання:

дослідити фізико-механічні властивості композитної склопластикової арматури аналітичним і експериментальним шляхом;

порівняти отримані дані фізико-механічних характеристик композитної склопластикової арматури з металеві арматурою А400С.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Склопластикові композитна арматура є абсолютно новим матеріалом з іншими властивостями, ніж у традиційного металу. Залежно від умов застосування її властивості можуть бути як істотними плюсами так і недоліками.

Враховуючі недостатню кількість фахової літератури з композитної арматури, були проаналізовані загальнодоступні джерела інформації в мережі Інтернет.

Переваги композитної арматури [2]:

композитна склопластикова арматури в бетонних конструкціях не піддається корозії ні в лужному середовищі бетону, ні під впливом агресивного середовища хімічних реагентів, морської води й продуктів життєдіяльності;

діапазон робочих температур від  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$  градусів дозволяє працювати з композитною арматурою цілий рік у будь-якому кліматичному поясі в різних технологічних процесах;

діелектричні властивості склопластикової арматури роблять її особливо ефективною при армуванні стін і перекриттів, де екранізуючі властивості металевого каркаса впливають на поширення електромагнітних хвиль, що призводить до значних погіршень у вимірах спеціальної техніки;

композитна арматури в багато разів легша сталевій, а більш висока міцність у конструкціях дозволяє різницю у вазі збільшити до 2-х разів. Легкість арматури дозволяє спростити процес транспортування й монтажу, знижуючи витрати.

Недоліки композитної арматури [3]:

недостатня термостійкість. При температурі більше  $2000^{\circ}\text{C}$  композитна арматури починає втрачати свої міцнісні властивості. Саме тому, якщо до бетонних конструкцій ставляться вимоги з вогнестійкості, то використання композитної арматури є обмеженим;

низький модуль пружності подібної арматури свідчить про значну деформативність подібного матеріалу, що потребує додаткових розрахунків за другою групою граничних станів при використанні її в згинальних елементах;

неможливість зварювання арматурних елементів. Подібні арматурні вироби з композитної арматури поєднуються в'язанням;

недостатня стійкість у лужному середовищі деяких композитів.

Сфера застосування композитної арматури [2]:

увесь спектр індивідуального будівництва: стрічкові фундаменти, фундаментні плити, тротуари й доріжки, під'їзні колії, вимощення, фундаменти огорожень, армування цегляної і газобетонної кладки, армування бетонних конструкцій;

композитна арматури застосовується як гнучкі в'язі в тришарових стінових панелях, а також у вигляді дюбелів для кріплення зовнішнього утеплювача стін, підвищуючи енергоефективність будівель;

рекомендується використовувати композитну арматури в конструкціях, що постійно перебувають у зоні підвищеної вологості й контакті з морською водою – дамби, пірси, хвилеломи, смуги берегоукріплень, очисні споруди, колодязі, колектори, канали, фонтани, басейни, резервуари;

композитна арматури використовується при армуванні дорожнього одягу з метою збільшення строку експлуатації дорожніх покриттів, зниження колійності, запобігання утворенню тріщин і збільшення міжремонтного періоду;

улаштування сейсмостійких поясів будівель і споруд у сейсмоактивних зонах, де не рекомендується використання сталевій арматури. Застосовується на об'єктах, що експлуатуються в умовах підвищеної вібрації (атомні й гідроелектростанції, мости та ін.);

застосування в каналах водовідведення, каналізації й меліорації;

конструкції з бетонів із попередньо напруженим і ненапруженим армуванням (освітлювальні опори, опори й ізолюючі траверси ЛЕП; дорожні й тротуарні плити, забірні плити й стовпчики, бордюрий камінь, бетонні опори, малі архітектурні форми (балясини); залізничні шпали; фасонні бетонні вироби для трубопроводних і трасопровідних (теплоцентралі, кабельні канали) комунальних систем;

елементи інфраструктури промислових споруд хімічної й харчових сфер, дослідницьких комплексів і лабораторій, злітно-посадочні смуги та інші споруди аеропортів;

як альтернативне використання - у якості опор для садових рослин, сітки для винограду, елементів каркасу парників та інше.

**Викладення матеріалу та результати.** Аналізу підлягала композитна склопластикова арматури, що випускається компанією "Торгпромконтракт" (м. Дніпро) під торговою маркою Arvit.

Композитна склопластикова арматура Arvit представляє із себе несучий стержень, у якому високоміцні пучки зі скляних волокон зв'язані між собою полімерним компаундом. У композитній арматурі Arvit безперервна спіральна ребристість, створена методом обмотування спеціальною ниткою ровінгу, що просочена особливим полімерним сполученням.



Рис. 1. Композитна склопластикова арматура Arvit

Виробник надав результати випробування зразків композитної арматури, що проводилися у листопаді - грудні 2014 року в ДП НДІБК (м. Київ) [10]. Дослідженню підлягали дослідні зразки композитної арматури діаметром 8, 10 і 12 мм. У кожній партії по три зразки довжиною від 800 до 860 мм.

Основною характеристичною міцністю композитної неметалевої арматури є характеристичне значення опору на розтяг  $f_{yk}$  [5], що відповідає тимчасовому опору розриван-

ня  $\sigma_b$ .

Основною характеристичною міцністю металеві арматури є її значення на межі фізичної або умовної текучості  $f_{yk}$  [7]. Для арматури A400C згідно таблиці 3.2 [7]  $f_{yk} = 400 \text{ Н/мм}^2$ .

Таблиця 1

Результати визначення механічних властивостей зразків композитної склопластикової арматури Arvit і нормативні показники арматури A400C

Номер партії	Діаметр зразків, мм	Фактичний діаметр зразків, мм	Площа поперечного перерізу, $\text{мм}^2$	Границя текучості фізична, $\sigma_t$ , $\text{Н/мм}^2$	Тимчасовий опір розриванню, $\sigma_b$ , $\text{Н/мм}^2$	Середнє значення тимчасового опору розриванню партії, $\sigma_b$ , $\text{Н/мм}^2$	Характеристична міцність арматури A400C аналогічного діаметру $f_{yk}$ [7], $\text{Н/мм}^2$	Рівномісний діаметр металеві арматури A400C, мм
1	8	7,5	44,16	-	827,63	820,35	400	12
		7,6	45,34	-	810,89			
		7,6	45,34	-	822,53			
2	10	8,9	62,18	-	809,52	808,51	400	14
		9,3	67,89	-	809,14			
		8,8	60,79	-	806,87			
3	12	11,6	105,63	-	764,36	794,83	400	18
		11,6	105,63	-	815,09			
		11,4	102,02	-	805,03			

Згідно таблиці 6.2 [5] розглянута склопластикова композитна арматура відноситься до класу АКС 800 з  $f_{yk} = 800 \text{ Н/мм}^2$ .

Спираючись на отриманні результати і рекомендації [7] визначенні рівномісний діаметри металеві арматури A400C згідно [8]: для склопластикової арматури  $\varnothing 8 \text{ мм} - \varnothing 12 \text{ A400C}$ ; для склопластикової арматури  $\varnothing 10 \text{ мм} - \varnothing 14 \text{ A400C}$ ; для склопластикової арматури  $\varnothing 12 \text{ мм} - \varnothing 18 \text{ A400C}$ .

При випробуванні зразків всіх партій композитної арматури фізична границя текучості  $\sigma_t$  не була визначена, що свідчить про пружну роботу зразків до руйнування.

Дослідження відносних деформацій не проводилося, тому визначення і порівняння початкового модуля пружності неможливе.

Вагові параметри дослідних зразків також невідомі.

При подальшому дослідженні композитної арматури Arvit, враховуючі заявлений виробником майже в чотири рази менший в порівнянні з металеві арматурою модуль пружності, окрему увагу заслуговує застосування подібної арматури у конструкціях, що виготовляються на бетонах з відходів гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК).

Бетони на відходах ГЗК можна вважати практично пружними матеріалами при роботі до рівнів напружень 0,75-0,8 від руйнівних і їх деформативність в порівнянні зі звичайними бетонами нижче на 25-30% [1, 4].

Виконані різними науковцями дослідження показали, що бетони на відходах ГЗК відрізняються граничною деформативністю від звичайних (рис. 2) [1, 4].

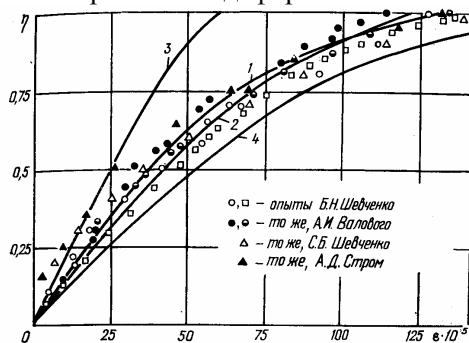


Рис. 2. Графіки деформування бетонів: 1 - крива, що отримана в результаті аналізу дослідних даних; 2-4 - теоретичні криві

Аналіз експериментальних даних показав, що модуль пружності бетонів на відходах ГЗК в середньому на 16% вищий ніж у аналогічного традиційного бетону [1, 4].

Поєднання подібних властивостей двох конструктивних матеріалів може надати нові якісні характеристики згинальним композитобетонним конструкціям.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Розглянута склопластикова композитна арматура Arvit відноситься до класу АКС 800. Відсутність фізичної границі текучості при випробуванні зразків арматури свідчить про її пружний характер роботи до руйнування.

Встановлена рівномірна заміна композитної склопластикової арматури Arvit металеву арматурою класу А400С: для склопластикової арматури Ø 8 мм - Ø 12 А400С; для склопластикової арматури Ø 10 мм - Ø 14 А400С; для склопластикової арматури Ø 12 мм - Ø 18 А400С.

В подальшому, при отриманні від виробника зразків, планується визначити деформативні властивості арматури і реальний модуль пружності. Потім, спираючись на нормативні документи [5], будуть запроєктовані дослідні зразки згинальних композитобетонних елементів і складена програма наукового дослідження.

### Список літератури

1. Шевченко Б.Н. Конструкции из бетонов на отходах обогащения железных руд / Б.Н. Шевченко. - Киев: Выща школа, 1989 - 192 с.
2. Arvit композитная арматура [Електрон. ресурс] / Режим доступу : <http://arvit.com.ua>.
3. Недостатки стеклопластиковой арматуры (минусы) [Електрон. ресурс] / Режим доступу : <http://www.tdbazalt.com>.
4. Попруга Д.В. Міцність стикових з'єднань при підсиленні залізобетонних згинальних елементів у стиснутій зоні: автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.23.01 "Будівельні конструкції, будівлі та споруди" / Д.В. Попруга. - Київ, 2009. - 20 с.
5. Настанова з проектування та виготовлення бетонних контрукцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу : ДСТУ-Н В.2.6-185:2012. - [Чинний від 2013-04-01]. - Київ : Мінрегіон України, 2012. - 28 с. - (Нац. стандарт України).
6. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення : ДБН В.2.6-98:2009. - [Чинний від 2011-07-01]. - Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. - 71 с.
7. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б В.2.6-156:2010. - [Чинний від 2011-06-01]. - Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. - 118 с.
8. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови (ISO 6935-2:1991, NEQ) : ДСТУ 3760:2006. - [Чинний від 2007-10-01]. - Київ : Держспоживстандарт України, 2007. - 28 с. - (Нац. стандарт України).
9. Пластмассы. Метод испытаня на растяжение (СТ СЭВ 1199-78) : ГОСТ 11262-80. - [Действует с 1985-09-09]. - Москва : Госком СССР, 1985. - 11 с. - (Гос. стандарт СССР).
10. Протокол №221-323/153/14 випробування зразків композитної арматури. - Київ: ДП НДІБК, 2015 - 7 с.

Рукопис подано до редакції 17.03.17

УДК 656.11

В.О. СІСТУК, канд. техн. наук, доц., А.О. БОГАЧЕВСЬКИЙ, асистент  
Криворізький національний університет

## ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ПЕРЕХРЕСТЯ МАГІСТРАЛЬНОЇ ТА ОБ'ЇЗНОЇ ВУЛИЦЬ З РЕГУЛЬОВАНИМ РУХОМ

**Мета.** Метою роботи є комплексне дослідження пропускної здатності перехрестя магістральної та об'їзної вулиць у місті Кривий Ріг, яке використовується учасниками дорожнього руху для зменшення часу проїзду між Саксаганським та Центральні-міським районами міста. Об'єктом дослідження виступає Х-подібна транспортна розв'язка, яка складається з проспекту Миру з 6 смугами руху, та примикаючої вулиці Гетьманської з 2 смугами з одного боку від проспекту, 4 смугами – з іншого. Предметом дослідження є показники часу проїзду перехрестя та довжини транспортних заторів.

**Методи дослідження.** У роботі було використано польові дослідження, метод комп'ютерного імітаційного моделювання та аналіз статистичних залежностей та показників.

**Наукова новизна.** Наукову цінність представляє розроблена комп'ютерна імітаційна модель перехрестя у програмному середовищі PTV VISSIM з урахуванням режиму світлофорної сигналізації та отриманих у польових умовах показників інтенсивностей руху.

**Практична значимість.** За результатами моделювання встановлено, що за напрямками з південної частини міста по вулиці «пр. Миру» та зі східної частини міста по вулиці Гетьманська утворюється значна черга транспортних засобів. У першому напрямку така черга (139 м) обумовлена необхідністю зупинки транспортних засобів перед перехрестям і недостатнім часом включення дозволяючого сигналу світлофору (30 с) для закінчення водіями маневру. У другому напрямку черга (156 м) утворюється через недостатню ширину проїзної частини (3,5 м). Для підвищення пропускної здібності проблемних ділянок перехрестя розроблені практичні рекомендації щодо розширення проїзної частини по вулиці Гетьманська на 2 м, для забезпечення 2-х смугового руху транспортних засобів (по 2,75 м на смугу), та розроблено нову 3-х фазну циклограму режиму світлофорного регулювання.

**Результати.** Проведений аналіз альтернативного варіанту будови та регулювання перехрестя показав, що з'являється можливість скоротити час руху транспортних засобів з південної частини міста по вулиці «пр. Миру» на 130 с, та зменшити довжину черги у напрямку з південної частини міста по вул. «пр. Миру» на 14 м, й зі східної частини міста по вулиці Гетьманська – на 18 м.

**Ключові слова:** транспортна система, комп'ютерне імітаційне моделювання, статистичні параметри, інтенсивність руху, світлофорне регулювання, PTV VISSIM.

**Проблема та її зв'язок з науковими та прикладними завданнями.** Місто Кривий Ріг є потужним транспортним вузлом, який пропускає через себе безліч видів легкового і вантажного транспорту, що ускладнює підтримку міських доріг у належному стані. Незважаючи на те, що в місті ремонтуються дороги, облаштовуються нові перехрестя, встановлюються нові дорожні знаки, залишається відкритим питання щодо зменшення аварійності на дорогах загального користування, а особливо на перехрестях шляхом їх ремонту, реконструкції та впровадженні нових засобів регулювання дорожнього руху. Одним із таких перехресть, що потребує реконструкції та зміни часу роботи світлофорної сигналізації є перетин вулиці «проспект Миру» та вулиці Гетьманської.

**Аналіз досліджень і публікацій.** При дослідженні складних транспортних систем і їх підсистем, у якості однієї з яких можна розглядати окрему транспортну розв'язку, виникають численні завдання, що вимагають оцінки кількісних характеристик і якісних закономірностей процесів функціонування таких систем [1,2,3]. Обмеженість можливостей експериментального дослідження великих транспортних систем унеможливило їх повне проектування, впровадження і експлуатацію без використання методики моделювання, яка дозволяє в відповідній формі представити процеси функціонування систем і опис перебігу цих процесів з допомогою математичних моделей [4,5,6]. Для врахування якомога більшої кількості факторів, що впливають на стохастичний транспортний процес складних систем, подальшої реалізації алгоритмів управління дорожнім рухом, використовується метод комп'ютерного імітаційного моделювання, що реалізується за допомогою відповідного програмного забезпечення [7,8,9]. Програми імітаційного моделювання вулично-дорожньої мережі мають можливість підтримки різних математичних транспортних моделей, у тому числі детермінованих, із стійким причинно-наслідковим зв'язком між станами транспортного потоку, і стохастичних, що використовують апарат теорії ймовірностей [3,6,9].

**Постановка задачі.** Метою роботи є розробка рекомендацій щодо підвищення безпеки руху на одному з міських транспортних вузлів за допомогою методу комп'ютерного імітаційного моделювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

визначити інтенсивності вхідних потоків руху і розподіл транспортних та пішохідних потоків у вузлі вулично-дорожньої мережі шляхом натурних спостережень;

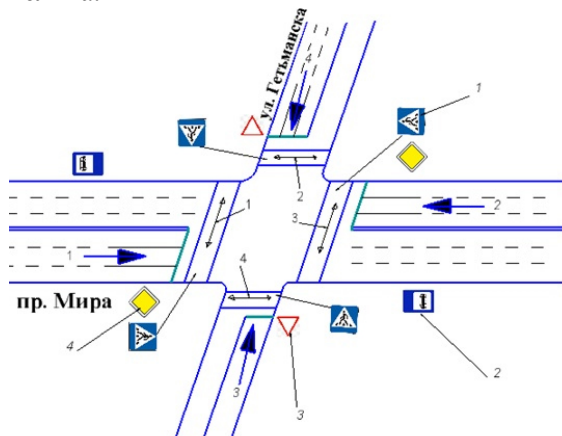
розробити імітаційну модель перехрестя регульованого світлофорною сигналізацією;

провести аналіз статистичних залежностей, отриманих за результатами комп'ютерного моделювання, у вигляді довжин черги транспортних засобів, що утворюються, часу проїзду ними відповідних маршрутів у різні періоди доби та дні тижня;

розробити рекомендації щодо реконструкції досліджуваного перехрестя та вдосконалення режиму його світлофорного регулювання.

**Викладення матеріалу і результати.** Вулиця «проспект Миру» з'єднує дві крупні транспортні розв'язки у місті Кривий Ріг - площу Визволення й площу ім. Горького. Одним з перехресть, яке відноситься до даної магістралі є Х-подібне перехрестя «вулиця «пр. Миру» - вулиця Гетьманська». Це перехрестя водії часто використовують для зменшення часу проїзду маршруту між Саксаганським та Центрально-міським районами міста, минаючи кільце 95-го кварталу (площу ім. Горького).

Автодорога проспекту Миру має шість смуг для руху (по три у кожному напрямку), вулиця Гетьманська характеризується двома смугами з одного боку від проспекту (по одній в кожному напрямку), чотирма смугами - з іншого (три в одному і одна в протилежному напрямку) (рис. 1,2). Рух на перехресті регулюється світлофором, але навіть при цьому концентрація дорожньо-транспортних пригод, за статистикою органів контролю за безпекою руху, на ньому велика.



**Рис. 1.** Перехрестя вулиць Гетьманська і проспект Миру: 1, 2, 3, 4 → - вхідні транспортні потоки; 1, 2, 3, 4 ↔ - рух пішохідів через перехрестя; 1 - знак 5.19.1 - 5.19.2 «пішохідний перехід»; 2 - знак 5.16 «місце зупинки автобуса і (або) тролейбуса»; 3 - знак 2.1 «дати дорогу»; 4 - знак 2.1 «головна дорога»

Шляхом натурних спостережень було визначено, що через перехрестя в окремих напрямках в середньому рухається більше 800 автомобілів за годину, що призводить до виникнення заторів, значно збільшуючи час проїзду транспортних засобів по певній ділянці дороги [10,11].

Крім інтенсивності транспортних потоків, за допомогою натурних спостережень визначені інтенсивності пішохідних потоків, які в середньому складають 100 осіб на годину. Оскільки для дослідження було обрано один із найнапруженіших регульованих перехресть міста,



**Рис. 2.** Маршрути руху транспортних потоків на перехресті вул. Гетьманська і проспект Миру: 1 - від Центрально-міського ринку по вул. «пр. Миру» до Екоспецтранс по вул. Гетьманська; 2 - з південної частини міста по вул. «пр. Миру»; 3 - від Центрально-міського ринку по вул. «пр. Миру» до АЗС RLS по вул. Гетьманська; 4 - від кільця 95-го кварталу по вул. «пр. Миру» до Екоспецтранс по вул. Гетьманська; 5 - з північної частини міста по вул. «пр. Миру»; 6 - від кільця 95-го кварталу по вул. «пр. Миру» до АЗС RLS по вул. Гетьманська; 7 - від Екоспецтранс по вул. Гетьманська до Центрально-міського ринку по вул. «пр. Миру»; 8 - зі східної частини міста по вул. Гетьманська; 9 - від Екоспецтранс по вул. Гетьманська до кільця 95-го кварталу по вул. «пр. Миру»; 10 - від АЗС RLS по вул. Гетьманська до Центрально-міського ринку по вул. «пр. Миру»; 11 - з західної частини міста по вул. Гетьманська; 12 - від АЗС RLS по вул. Гетьманська до кільця 95-го кварталу по вул. «пр. Миру»

також одним з основних параметрів, який був зафіксований в польових умовах, був час перемикання сигналів світлофорного регулювання. Числові значення вхідних параметрів показані у вигляді діаграм, таблиць і рисунків (табл. 1, рис. 3-6).

При більш детальному вивченні світлофорного регулювання на даному перехресті, було відзначено, що воно має 4 фази регулювання. Однак ефективним вважається світлофорний цикл, який складається з 3-х фаз, і в якому кожен такт має мінімально необхідну тривалість. Саме така структура світлофорного циклу здатна забезпечити безперебійний рух транспорту, відсутність пробок і зручність переходу проїзної частини пішоходами [1,2,12,13]. Також час світлофорного циклу не повинен перевищувати 120 с.

Час циклу світлофора становить 125 с. Тривале очікування водіями його дозволяючого сигналу виводить їх з психічної рівноваги, що в свою чергу, дуже негативно впливає на безпеку дорожнього руху.

На підставі отриманих даних при дослідженні перехрестя (інтенсивності транспортних і пішохідних потоків, циклограми світлофорної сигналізації) була побудована імітаційна модель перехрестя в програмі PTV Vissim [14,15].

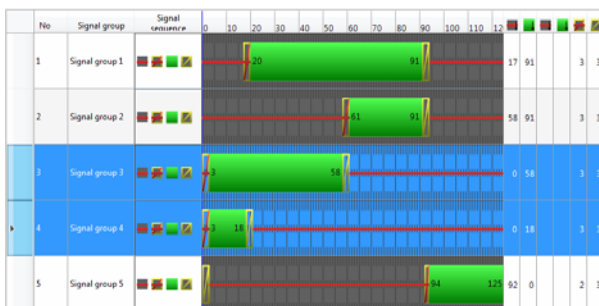


Рис. 3. Перша фаза: від кільця 95-го кварталу (в усіх напрямках)

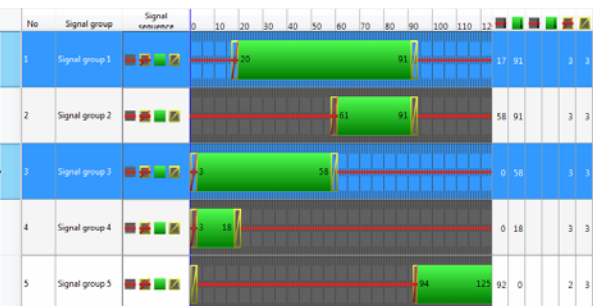


Рис. 4. Друга фаза: від кільця 95-го кварталу (прямо, направо), від Центрально-міського ринку (прямо, направо)

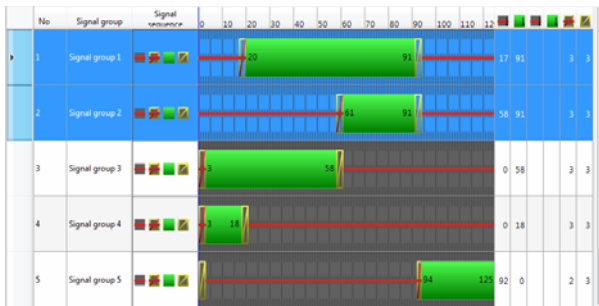


Рис. 5. Третя фаза: від Центрально-міського ринку (в усіх напрямках), від АЗС RLS (направо)

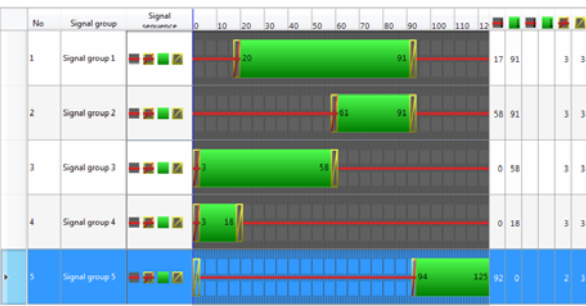


Рис. 6. Четверта фаза: від АЗС RLS (в усіх напрямках), від Екоспецтранс (в усіх напрямках)

Після проведення імітації було сформовано списки результатів, на основі яких побудовані графіки часу проїзду транспортними засобами окремих напрямів й довжини черги в різний час доби (рис. 7, рис. 8).

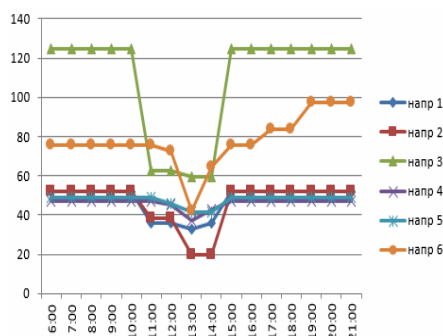


Рис. 7. Максимальний час проходження ділянок перехрестя транспортними засобами

Максимальний час проходження по напрямкам 1 і 3 спостерігається в «час пік» з 6:00 до 10:00 та з 15:00 до 20:00 (рис. 7).

Також з отриманих графіків слідує, що по напрямку 12 (Від АЗС RLS по вулиці Гетьманська до кільця 95-го кварталу по вулиці «пр. Миру») спостерігається найбільший час проходження маршруту, а саме 250 с.

За результатами моделювання встановлено (рис. 8), що за напрямками 1 і 3 (з південної частини міста по вулиці «пр. Миру» та зі східної частини міста по вулиці Гетьманська відповідно) утворюється значна черга транспортних засобів.

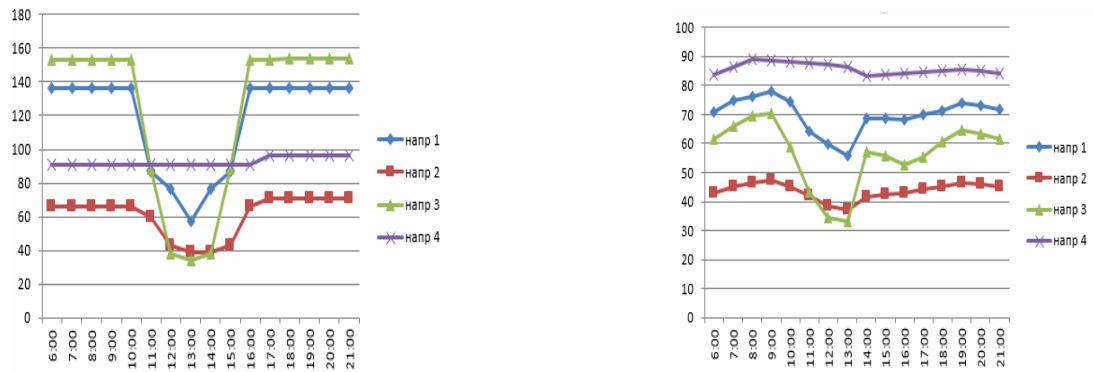


Рис. 8. Середня и максимальна довжина черги транспортних засобів

У напрямку 1 (з південної частини міста по вулиці «пр. Миру») така черга (139 м) обумовлена необхідністю зупинки транспортних засобів перед перехрестям і недостатнім часом включення зеленого сигналу (30 с) для закінчення водіями маневру.

У напрямку 3 (зі східної частини міста по вул. Гетьманська) черга (156 м) утворюється через недостатню ширину проїзної частини (3,5 м).

Проаналізувавши отримані показники, було прийнято рішення щодо зміни циклу світлофорної сигналізації та реконструкції даного перехрестя. Реконструкція перехрестя включала розширення проїзної частини по вул. Гетьманська від «Екоспецтранс» на підході до перехрестя на 2 м, для забезпечення 2-х смугового руху транспортних засобів (по 2,75 м на смугу).

Зміна часу циклу світлофорної сигналізації передбачала наявність 3-х фаз регулювання (рис. 10-12).



Рис. 9. Розширення проїзної частини по вул. Гетьманська

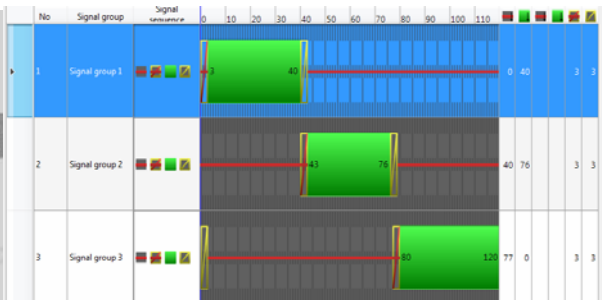


Рис. 10. Перша фаза: від Центрально-міського ринку (в усіх напрямках)

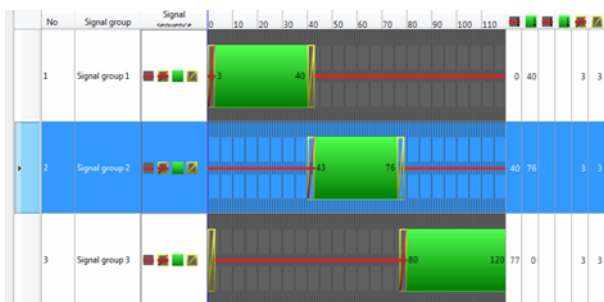


Рис. 11. Друга фаза: від кільця 95-го кварталу (в усіх напрямках)

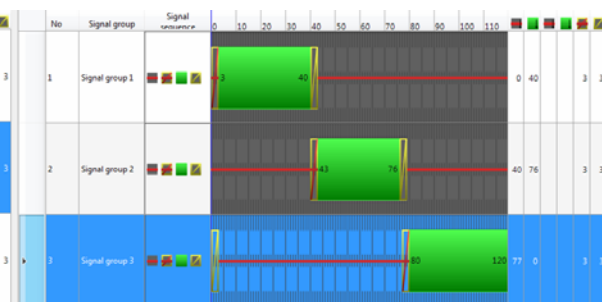


Рис. 12. Третя фаза: від АЗС «RLS» та від «Екоспецтранс» (в усіх напрямках)

У результаті моделювання з урахуванням представлених рекомендацій, побудовано нові залежності тривалості проїзду напрямів та довжин черг транспортних засобів, що утворюються на перехресті у разі впровадження запропонованих заходів (рис.13,14).

Із отриманих залежностей випливає, що з впровадженням описаних заходів, з'являється можливість значно зменшити час руху транспортних засобів (на 130 с) на одному з найбільш перевантажених маршрутів перехрестя (напрямок 2).

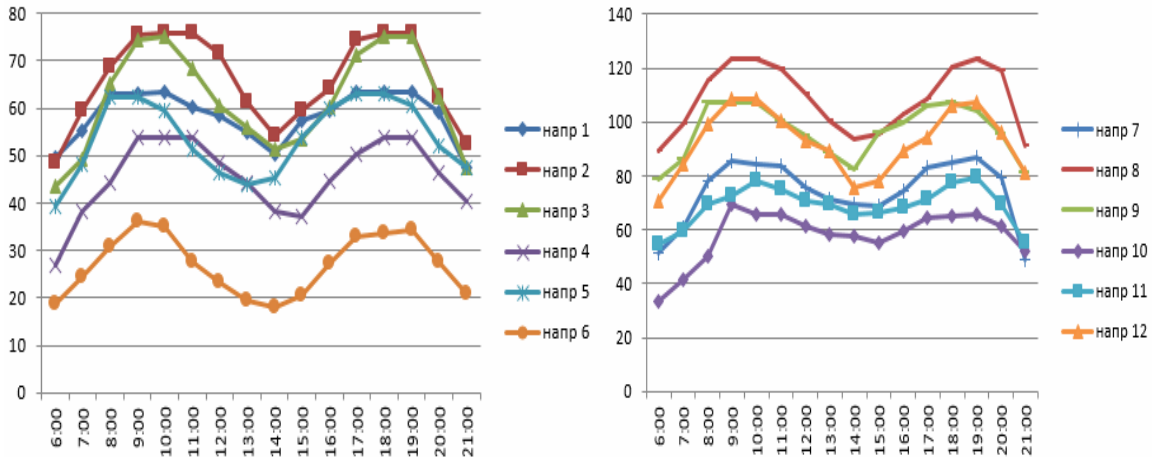


Рис. 13. Максимальний час проходження транспортними засобами ділянок перехрестя

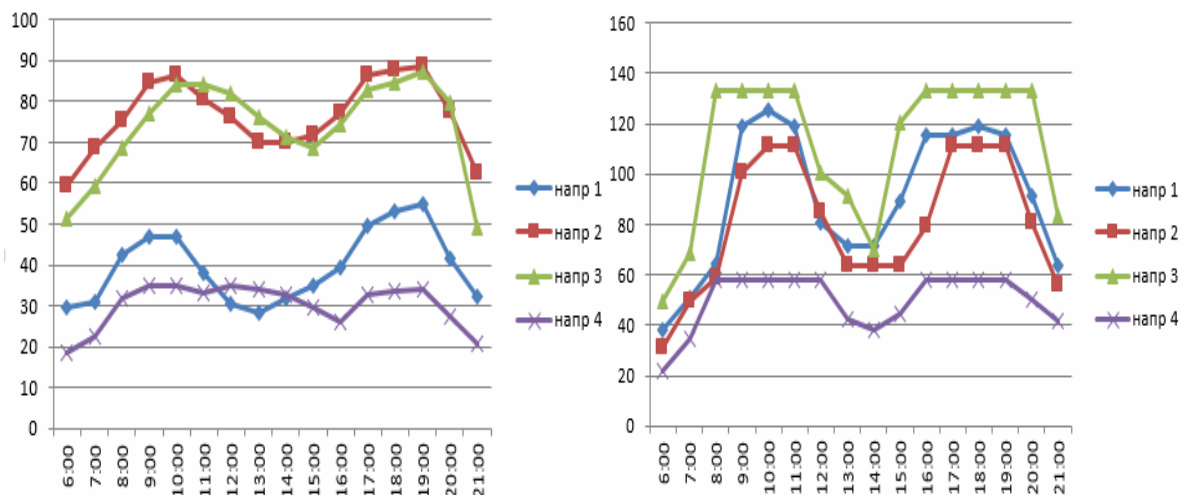


Рис. 14. Середня і максимальна довжина черги транспортних засобів

У напрямку 12 при цьому спостерігається ще й більше зменшення часу проїзду (на 140 с), що позитивно впливає на рух автомобілів і безпеку дорожнього руху.

Окрім скорочення часу проходження транспортними засобами ділянок перехрестя, також зменшується пов'язана з ним довжина черги: у напрямку 1 – на 14 м, у напрямку 3 – на 18 м.

Такі показники значно впливають на рух транспортних потоків через перехрестя, створюючи умови безпечного його проїзду.

**Висновки та напрямлення подальших досліджень.** Таким чином, проведенні дослідження транспортної розв'язки вулиці «пр. Миру» та вулиці Гетьманської у місті Кривому Розі дозволили розробити рекомендації щодо зменшення довжини черги транспортних засобів, яка утворюється у напрямках з південної частини міста по вулиці «пр. Миру» та зі східної частини міста по вулиці Гетьманська.

Основні результати роботи полягають у наступному:

на основі проведених натурних спостережень на досліджуваному перехресті визначено інтенсивність транспортних потоків, яка складає більше 800 автомобілів за годину, та пішохідних потоків (в середньому 100 осіб на годину);

отримані статистичні показники потоків руху транспорту та пішоходів слугували вхідними параметрами для розробки комп'ютерної імітаційної моделі перехрестя;

результати моделювання дозволили визначити проблемні ділянки перехрестя з максимальною довжиною черги транспортних засобів (156 м) та часу проїзду (250 с);

для підвищення пропускної здібності проблемних ділянок перехрестя рекомендовано розширення проїзної частини по вул. Гетьманська від «Екоспецтранс» на підході до перехрестя на 2 м, для забезпечення 2-х смугового руху транспортних засобів (по 2,75 м на смугу), та розроблено нову 3-х фазну циклограму режиму світлофорного регулювання;

результати перевірки методом імітаційного моделювання запропонованих змін у роботі світлофорної сигналізації та розширення проїзної частини перехрестя дозволяють стверджувати, що з'являється можливість скоротити час руху транспортних засобів з південної частини міста по вулиці «пр. Миру» на 130 с, що є значним показником, та зменшити довжину затору у напрямку з південної частини міста по вул. «пр. Миру» на 14 м, й зі східної частини міста по вулиці Гетьманська – на 18 м.

### Список літератури

1. Кликовштейн Г. И. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов.– 5-е изд., перераб. и доп./ Кликовштейн Г. И., Афанасьев М. Б., – М: Транспорт, 2001 – 247 с.
2. Пальчик А.М. Организация дорожного руху: навч. посіб. / . – К.: НТУ, 2011. – 228 с.
3. VISSIM Simulation Based Expressway Exit Control modes Research / Zhu Zhandong, Chen Shaohui, Yang Yanquan та ін.] // Procedia Engineering. – 2016. – №137. – P. 738 – 746.
4. Сисдук В.А. Возможности использования программы имитационного моделирования PTV VISSIM для подготовки специалистов по направлениям "Транспортные технологии" и "Автомобильный транспорт" [Электронный ресурс] / В. А. Сисдук, А. А. Богачевский, В. Ю. Шумский // Інформаційні технології і засоби навчання. – 2016. – Т. 52, Вип. 2. – С. 93–107. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ITZN\\_2016\\_52\\_2\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ITZN_2016_52_2_11)
5. Применение программы PTV VISSIM для имитационного моделирования улично-дорожной сети при подготовке специалистов в области автомобильного транспорта [Электронный ресурс] / В.А. Сисдук, А.А. Богачевский, В. Ю. Шумский // Матеріали Всеукраїнської науково-методичної Інтернет-конференції «Освітні тенденції розвитку сучасної вищої школи: проблеми методології навчання». – Х.: ХНАДУ, 2016 р. – С.199–202. – Режим доступу: <http://dl.khadi.kharkov.ua/course/view.php?id=207>
6. Khaled Shaaban. Comparison of SimTraffic and VISSIM Microscopic Traffic Simulation Tools in Modeling Roundabouts / Khaled Shaaban, Inhi Kim. // Procedia Computer Science. – 2016. – №52. – P. 43 – 50.
7. Бекмагамбетов М. М. Анализ современных программных средств транспортного моделирования / М. М. Бекмагамбетов, А. В. Кочетков // Исследования, конструкции, технологии. – 2012. – №6 (77). – С. 25–34.
8. Per Strömgren. A model for traffic simulation of flared rural road intersections / Per Strömgren, Johan Olstamb, Andreas Tapanib. // 4th International Symposium of Transport Simulation-ISTS'14, 1-4 June 2014, Corsica, France. – 2015. – P. 239 – 258.
9. Amudapuram Mohan Rao Microscopic simulation to evaluate the traffic congestion-mitigation strategies on urban arterials / Amudapuram Mohan Rao, K. Ramachandra Rao // Euro-pean Transport \ Trasporti Europei (2015) Issue 58 – ISSN 1825-3997 – Trieste, 2015 –P. 2-20.
10. Пальчик А.М. / Транспортні потоки: [монографія]. – К.: НТУ, 2010. – 171с.
11. Организация дорожного движения[Текст] : учебно-практическое пособие / Н.С. Поготовкина. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2015. – 64 с.
12. Литвин В. В. Имитационное моделирование транспортных потоков с помощью программного обеспечения PTV VISION VISSIM / В. В. Литвин, А. Н. Мирошниченко // Сборник научных трудов международной конференции «Современные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2014» – Днепропетровск, 2014 – С. 251 – 260.
13. Правила дорожного руху України – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://pdd.ua/ua>.
14. A+S. Краткое руководство по выполнению проектов в PTV VISSIM 6, 2014 – 76 с.
15. VISSIM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ptv-vision.ru/produkty/vissim> (in English)

## STUDY OF CURRENT METHODS FOR IDENTIFYING AND EVALUATING THE OCCUPATIONAL HAZARD AT THE MINING INDUSTRY ENTERPRISES

**Purpose.** Analysis and systematization of the existing quantitative and qualitative methods and methodology for risk assessment in the field of occupational health and safety with a view to further justifying a choice of a method to adapt the calculations for occupational hazard in the mining enterprises.

**Research methods.** Currently, there is a countrywide need for developing and improving the given methods, means and principles for the protection and promotion of worker's health, whose work on existing criterion is applied to the category of high life and health risk.

Thus, to achieve this purpose there was the complex method of scientific research, comprising: generalization and analysis of the literature and static information on the working conditions in the iron-ore mines; methods of injury analysis, expert assessments, mathematical statistics and probability theory on occupational hazard assessment, which enables further development of integration of occupational health and safety management system in terms of underground iron-ore mining.

**Originality.** The necessity of a unified approach to risk assessment and implementation of the management of occupational hazards in the occupational health and safety management system of the mining enterprises is grounded.

**Practical value.** A new approach to identification and hazard assessment, which minimizes the accidents, injuries, occupational hazards and, consequently, to increase the stability of production functions, is given.

**Findings.** The main approaches to improve the effectiveness of health and safety management at the mining enterprises are overviewed.

**Keywords:** a human-machine-environment system, working-environment factor and working process, hazardous event, injury probability, harmful conditions and hazardous job, occupational hazard, criteria for risk acceptance, risk management, occupational health and safety management system.

**The problem and its connection with the scientific and practical tasks.** The problem for hazard systematization involved scientists for a long time, however, the criteria to uniquely classifying all health hazards at the mining enterprises have not identified yet. In practice, some enterprises and organizations use different risk assessment techniques, which, however, do not account for all the indicators of a risk assessment related to the specifics of the enterprise. To date, the regulatory system in Ukraine that would be regulate the risk assessment methodology in the field of occupational health and safety in the mining enterprises is not available. There are only scattered recommendations on this subject. It should be taken into account that the technique can encompass all existing workspace, moreover, different components of the different techniques can be applied to workplace.

**Research and publication analysis.** The basic scientific contribution to assess and increase social and economic effectiveness of measures for improving working conditions were made by scientists Amosha A.I., Belov P.G., Beresnyevych P.V., Bulgakov Yu. F., Vodyanik A.A., Hohitashvili G.G., Holinko V.I., Gurin A.O., Zaporozhets A.I., Klebanov F.S., Kozlov V.I., Lapshin O.E., Levchenko O.G., Levchenko O.G., Lesenko G.V., Lesenko G.G., Lysyuk M.O., Luchko I.A., Tkachuk K.N., Schwager N.Yu., Shvidkiy M.I. and others. Formation of the concept of risk are associated with domestic and foreign researchers, as Brown D.B., Kachinskiy A.B., Korniychuk M.T., Kumamoto Kh., Marshall W., Henley E.J..[2].

**Formulation of the problem.** On the basis of existing modern risk assessment techniques of occupational health and safety, it can be concluded that nowadays there is a significant number of techniques as a common risk assessment technique of occupational health and safety, risk assessments in certain select process of safety hazard and harmful production factors affecting the workers during the production process. Therefore, the purpose of this study is to analyse and systematize the existing quantitative and qualitative methods and risk assessment techniques of occupational health and safety with a view to further choosing the calculation method of occupational hazards at the mining enterprises.

**Presentation of the material and results.** Recently the formation of the regulatory framework of health and safety and general risk assessment methodology are used in practice. Their tasks are to

identify and objectively assess risks including quantitative indicators, to provide informed choice and application of practicable and economically substantiated measures aimed at minimizing the injury risk at the place production.

The DSTU OHSAS 18001: 2010, risk is defined as the combination of the probability of hazardous event or the influence(s) and materiality injury or deterioration of health that can be caused by such an event or influence(s).

All definitions are reduced to the risks generated by two quantities - the probability of negative events and the amount of damages.

Such terms as individual risk, collective risk, professional, industrial risk are used in risk management.

The state standard DSTU 2156-93 define an individual risk as the value of the risk for a particular individual, and a collective risk as the value of the risk for two or more individuals.

According to the state standard DSTU 2293: 2014 the occupational hazard is defined as the probability of damage to worker's health during the production process by the hazard and/or dangerous working conditions and scientific and technical state of production.

The work safety classification in terms of hazard and dangerous environment factors identifies a professional risk as a probability of damage to worker's health with the consequences due to factors effect of production environment and work processes [4].

According to WHO, a professional risk is a mathematical concept that includes the expected frequency and (or) severity of adverse reactions to this exposure hazards of working environment.

Professional risk is the result of complex technological, organizational, social and economic causes [5].

As for health and safety risks in the production, it is estimated as a probability of manifestation the dangerous factor system "human-machine-environment" (equipment, technology and type of production environment factors, severity and intensity of work, work organization, workers training) that affect the security [4].

However, in theory the risk is distinguished "a priori" (prognostic) and "a posteriori" (real) risks. Assessment of working conditions for hygiene criterion is a priori and preliminary should reinforce posteriori, i.e., a real risk assessment. The main criterion in the posteriori risk assessment is an occupational illness, so the frequency diseases from influence of specific occupational factors.

The evaluation diagram of risk (fig. 1) involves the actions resulting in an informed decision as a manner of risk influence [1-5].

Methods of research are integrated into a scheme shown in fig. 1 and should: provide information on the injury causes (explicit and implicit), obtain quantitative estimates of the injury risk for these reasons, transform research results into preventive measures.

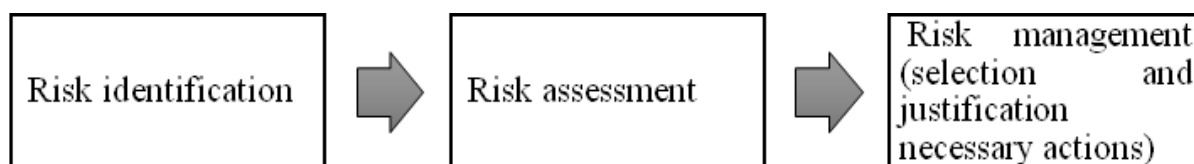


Fig. 1. Scheme of justification of preventive measures to minimize the risk of [1- 3]

According to the international standard OHSAS 18001: 2010 hazard identification is to recognize that danger exists, and to determine its characteristics.

Identifying hazards (DSTU 2156-93) establishes each of the potential dangers initiated now: events that initiate the dangers and conditions of their implementation; probability of occurrence;

source;  
 recipients and exposure to nature;  
 the character and means of measurement (quantitative expression), the impact (critical danger);  
 a combination of factors that increases or decreases the probability of potential danger and factors that reinforce its negative effects [1-5].

The choice of indicators and methods for risk assessment of occupational health and safety at the mining enterprises depends on various factors. The risk management is to identify the dangers, to define possible damage to employee's health and life and the probability of their occurrence, as well as the adequate availability of statistical data about the calculation of the required risk indicator.[1].

The main direct risk assessment techniques include:

- the British Standard BS-8800 (UK);
- the risk assessment techniques based on the matrix "the probability of injury" (the UK, France, Latvia, the US, Australia);
- the method of building the risk assessment graph (Germany, Finland);
- the Research and Development Establishment methodology for occupational health and safety (Nats NIIOT in Ukraine);
- the risk assessment code methodology (United Kingdom);
- the method of verbal functions (European Union).

The indirect risk assessment techniques of worker's health and life use indicators characterizing the deviation of current (controlled) conditions (parameters) of the rules and have a risk effect. They do not involve the direct detection and identification of hazards in the workplace and in the performance of production activity.

The main indirect risk assessment techniques of occupational health and safety are:

- an occupational risk assessment technique for Elmer method;
- risk assessment technique of ranking on the basis of risk requirements (code IAD).

Index iAd, as well as the index of Elmer, is not directly associated with the presence and assessment of specific risks in the workplace and is based on the assumption of the consequences related to possible dangers, already accounted for occupational health and safety requirements by assigning the specific levels of the system of occupational health and safety (government requirements, industry, local).

Nevertheless, there is an opportunity to further improve of the ISI index due to the competent professionals or specialized organizations. [1-15].

It should be considered that risk analysis methods are determined by the selected criteria for acceptable risk. This criterion can be specified in regulatory documentation and determined at risk analysis planning. In order to emphasize that we are talking about the measured, the concept of "risk score" and "the level of risk" are used.

According to the level of risk, the production is usually divided into four (or more) groups with high, intermediate, low or negligible risk. In this case, a high level of risk is considered, as a rule, inadmissible, interim requires a program of work to reduce the risk, a low level is considered acceptable, and insignificant is not considered.

The main requirement for the selection of criteria for risk acceptance in conducting risk analysis is not its austerity and relevance, certainty. The correct measures and choice of acceptable risk allow for processing the risk analysis results clearly, which significantly improve the effectiveness of risk management.

Based on the foregoing, we compare different approaches of the methodology presented in this paper. This allows us to establish the correspondence between the parameters of the risk assessment techniques of occupational health and safety. Table 1 shows the results of this comparison [1].

Comparison of risk assessment technique parameters of occupational health and safety accepted in modern techniques

Techniques	Risk assessment according to standard "risk assessment of occupational health and safety" [8]		
	low (accepted)	average (accepted)	high (accepted)
The British Standard BS-8800	1 - Very low (accepted); 2 - Low (accepted)	3 - Medium (accepted)	4 - High (unaccepted); 5 - Very high (unaccepted)
Risk methodology score	R<20 A moderate (measures are not required)	20÷70 Medium (measures are required)	200≤R<400 High (requires immediate action); R≥400 Very high (the operation should be stopped)
NatsNIIOT methodology	R<1,0÷10 <sup>-6</sup> Minor (accepted)	2,17·10 <sup>-5</sup> ÷1,0·10 <sup>-6</sup> Medium (accepted)	R>2,17÷10 <sup>-5</sup> High (unaccepted)
Risk assessment code methodology	1 - The low risk , any measures are not required, danger control is recommended	2 – Risk accepted, control risk is required; 3 - The undesirable risk , it is necessary to monitor and control risk probability.	4 - The unacceptable risk must be eliminated or controlled guarantee
Techniques of Work Safety Institute (Moscow) ISI index,%	90≤DOH≤100	60<DOH≤90	DOH≥60

The above techniques allow for concluding that the effectiveness of a risk assessment depends substantially of the level:

- development and precision of calculation methods;
- auxiliary agents for practicing (databases, information systems, etc.);
- qualifications and competence of experts carrying out risk analysis;
- risk analysis organization, including the choice of objects for analysis.

Based on the previously mentioned risk reduction recommendations in manufacturing, one can recognize the existing risk acceptable or specify measures to reduce the risk.

Risk reduction measures could be technical, operational or organizational. A general assessment of the effectiveness in choosing the type of critical measures affect risk is of vital importance [8].

The risk reduction measures must take into account:

- primarily there were developed and implemented simple and cost-related recommendations aimed at improving security;
- the risk reduction achieved through the introduction of a recommendation is not known in advance;
- the resources directed to risk reduction are limited;
- for the development of each recommendation, it is not feasible to spend a lot of time and money;
- the significant investment in further reduction of the more or less "tolerant" risk is not included.

In the operation of the dangerous object, the operational and organizational measures can be offset with the limited possibilities for making major technical measures for risk reduction. The risk analysis of the operating objects is of great importance [8].

Report on the risk analysis should document risk analysis process. The dimensions of report depend on the risk-analysis purposes and should reflect: objectives and targets; baselines and constraints that limit risk analysis; description of the system analysed; analysis methodology; identification of hazards; description of the used models, their original settings and use; input data sources; the results of a risk assessment; the uncertainty analysis; recommendations.

Conclusions. The implementation of the methodology of risk - management in developing the occupational health and safety management system (HSE-MS) allows enterprises to improve occupational health and safety, to prevent financial, material and human losses from injuries, occupational diseases, accidents.

#### List of reference

1. Лис Ю. Оцінка ризиків в системі управління охороною праці / Лис Ю. С. // Системи обробки інформації. — 2016. — № 9(146). — С. 193-196.
2. Водяник А. О. Методологічні основи врахування фактора ризику в профілактиці виробничого травматизму : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05.26.01 «Охорона праці» / А. О. Водяник. – К.,

2008. – 38 с.

3. Закон України «Про охорону праці»: [зі змін. та допов., внесеними Законом № 191-VIII від 12.02.2015, ВВР, 2015, № 21, ст.133]. – К.: Верховна Рада України, 2015. – 52 с. – (Серія «Закони України»).

4. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища – [Чинний від 2014–04–08]. – К.: Міністерство охорони здоров'я України, 2014. – 37 с. – (Державні санітарні норми та правила України).

5. **Karczewski J.** System zarządzania bezpieczeństwem pracy / **Karczewski J. T.** // – Gdansk, 2000. – 310 s.

6. **Wrightson, I.** (2014). Occupational health and safety management systems. [WWW document]. URL [http://www.rsc.org/images/Occupational-Health-and-Safety-Management-Systems\\_tcm18-240421.pdf](http://www.rsc.org/images/Occupational-Health-and-Safety-Management-Systems_tcm18-240421.pdf)

7. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог OHSAS 18001:2007 : ДСТУ OHSAS 18002:2015 (OHSAS 18002:2008, IDT) – [Чинний від 2015–06–22]. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2015. – (Серія «Закони України»).

8. **Швыряев А.А.**, Меньшиков В.В. Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе: Учебное пособие для вузов/ **А. Швыряев, В. Меньшиков** – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 124с

9. **Муртонен Мерви.** Оценка рисков на рабочем месте – практическое пособие : [пер. с финского] / **Мерви Муртонен.** – Тампере, 2007. – 66 с.

10. Конвенции о безопасности и гигиене труда и производственной среды / Міжнародне законодавство про охорону праці, том 1. – К.: Основа, 1997. – С. 376–382.

11. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки: Державний комітет України з нагляду за охороною праці. – К.: Основа, 2003. – 192 с.

12. BS 31100. Risk management. Code of practice. – 46 с.

13. ISO/IEC/FDIS 31010. Risk management – Risk assessment techniques. – 92 с.

14. ISO 31000:2009. Risk management – Principles and guidelines. – 34 с.

15. **Гогіташвілі Г. Г.** Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами : Навч. посіб.

**Г. Г. Гогіташвілі, С. Т. Карчевські, В. М. Лапін** // – К.: Знання, 2007. – 367 с.

Рукопис подано до редакції 15.04.17

УДК 504.056:502.5/8 (477.63)

В.І. АНТОНІК, канд. біол. наук, пров. наук. співроб., А.В. ПЕТРУХІН, заст. директора Науково-дослідний гірничорудний інститут ДВНЗ «КНУ»;

І.П. АНТОНІК, канд. біол. наук, доц., Криворізький державний педагогічний університет

## ВПЛИВ ВІДВАЛІВ ТА ХВОСТОСХОВИЩ ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ КРИВОРІЗЬКОГО НА СТАН ЕКОЛОГІЇ ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ

**Актуальність проблеми.** Відвали та хвостосховища гірничо – збагачувальних комбінатів (ГЗК) є місцями складування і накопичення відходів відкритого видобутку та збагачення залізорудної сировини. Відвали сучасних ГЗК конструктивно представляють собою величезні за площею та висотою насипи (терикони) із пустих скальних розкритих порід або із гематитових кварцитів (окислених руд) поверхневих шарів залізистих горизонтів кар'єрів. Хвостосховища є місцями накопичення відходів збагачення у формі твердих залишків, що у вигляді водної суспензії (пульпи) транспортуються пульпопроводами від збагачувальних комплексів та намиваються на спеціальні карти намиву (пляжі). Конструктивно хвостосховища можуть бути площинного типу або багатоярусними спорудами, подібні відвалам.

Розміщуючись на поверхні землі, відвали та хвостосховища не тільки докорінно спотворюють ландшафт місцевості, а і стають новими техногенними елементами в структурі екології оточуючого навколишнього середовища [1]. В результаті цього, похідні природні структурні елементи території, а саме: геологічні масиви, ґрунти та гідросфера отримують джерела локального інтенсивного впливу, а не знищені техногенезом живі організми зазвичай вступають у взаємодію з новими абіотичними чинниками техногенного походження. Завдяки цього на ділянках раніше існуючої природної екосистеми виникає нова система змішаного походження **техногенна геоекосистема** (ТГЕС) або сучасний ландшафт. Як відомо, геоекосистема – це керована або підконтрольна людині територіальна система, що являє собою частину ландшафтної сфери із характерними для неї процесами обміну речовин, біогеохімічними кругообігами, певними видами господарської діяльності та соціокультурних стосунків [2]. Техногенна геоекосистема складається із геосистеми (відносно цілісного географічного утворення із елементів

взаємодіючих компонентів: літосфери, гідросфери, атмосфери та біосфери ) людини та об'єктів господарсько-економічної діяльності [3].

В техногенних геоекосистемах, створених за участю об'єктів ГЗК, має місце довготривале постачання, міграція і акумуляція шкідливих факторів, у тому числі аерогенного, гідрологічного та гідрохімічного характеру. Завдяки цього можливі поступові, необоротні зміни складу та структури окремих елементів біогеоценозів, що є проявом вторинних антропогенних **сукцесій**. Сукцесійні ряди в межах ТГЕС можуть виникати в місцях глибокого забруднення ґрунтів або пересихання водойм, на територіях підтоплення, заболочування чи засолення земель тощо). За тенденцією зміни видового багатства сукцесії бувають прогресивні або регресивні; за ступенем сталості - постійні і непостійні; за часом – швидкі, середні чи повільні; за причинами виникнення - зовнішні (алогенні) або внутрішні (автогенні). Кінцевий сталий стан зоо- та (або) фіто- угруповань, що утворюється на певній території і набуває рівноваги з оточуючим середовищем, називається *клімаксом* [4]. Насамкінець, до виникнення клімаксу ведуть усі сукцесії незалежно від того, чи почалися вони на відкосах новостворених відвалів розкритих порід чи на теренах деградованого ставка, що поступово переходить в суходільне угруповання. Поява клімакських біоценозів свідчить про створення нових стійких формувань, які більше відповідають новим абіотичним умовам середовища в певний період [5].

Дослідження характеру і напрямків алогенно обумовлених трансформацій екологічних систем на територіях, що межують з техногенними спорудами (багаторусними відвалами розкритих порід чи хвостосховищами) сучасних гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) є *важливим та актуальним* питанням як для об'єктивізації оцінок впливу техногенних споруд на довкілля, так і для розробки найбільш ефективних методів охорони навколишнього середовища.

**Мета роботи.** Оцінка впливу відходів видобутку і збагачення залізородної сировини, сконцентрованих у формі відвалів та хвостосховищ, на стан екології навколишнього середовища та встановлення характерних ознак техногенної геоекосистеми, що формується під дією шкідливих факторів з боку цих об'єктів.

**Об'єкт дослідження.** Місцем дослідження була обрана північна частина території Широкивського району Дніпровської області, а саме землі Новолатівської сільради загальною площею 10910 га, на якій розташовано 5 сел та мешкає (станом на 2016 р.) більше 2000 тисяч осіб. З півночі на південь територією сільради тече річка Інгулець, яка умовно ділить її землі на правобережну та лівобережну частини. З північної та північно-східної сторони лівобережної частини земель сільради розташовані об'єкти Південного ГЗК(ПАТ «ПВДГЗК»), а саме: відвали розкритих порід «Лівобережні» (діють з 1969 р.) та багаторусні хвостосховища: «Войково» (діє з 1977р.) і «Об'єднане. I карта» (діє з 1964 р.), а також хвостосховище ГЗК гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (ГЗК ГД ПАТ «АМКР») «Об'єднане. УІ карта» (діє з 1964 р.). На західній межі правобережної частини земель сільради з 1972 р. розміщені відвали окислених руд «№ 2- 3» ГЗК ГД ПАТ «АМКР».

**Результати та їх обговорення.** Дослідженнями встановлено, що основними факторами впливу на навколишнє середовище з боку оточуючих техноспоруд є, перш за все, пил. Значна висота відвалів та багаторусних хвостосховищ (+130 – +160 м), при частих порушеннях на об'єктах проти пилових заходів, обумовлюють інтенсивне забруднення атмосферного повітря, міграцію, осідання та накопичення забруднення у ґрунтах на всій території сільради під дією північного, північно-східного або східного вітру (більше 47% усіх вітрів в продовж року віють саме з боку техногенних споруд). При вказаних напрямках вітру, до пилу відвалів можуть додаватися пило – газові викиди збагачувальних комплексів «ПВДГЗК» та ГЗК «АМКР». У складі вказаних аерогенних забруднювачів містяться окиси кремнію, заліза, марганцю, мікроелементи хрому, свинцю, кадмію, нікелю, міді та цинку, а газові домішки викидів комплексів збагачення додають феноли, формальдегіди, окис вуглецю, діоксиди сірки та азоту [6]. Друга група техногенних факторів впливу на довкілля пов'язана з величезними розмірами (площа окремих об'єктів коливається від 480 до 830 га) та значною масою (від 380 до 770 млн. т. відходів) відвалів і хвостосховищ, що обумовлює значні локальні геостатичні навантаження на земну поверхню з наслідками руйнівних гідрогеологічних та геофізичних порушень задіяних та прилеглих територій [7]. Третя група факторів впливу на довкілля пов'язана з функціонуванням хвостосховищ, як потужних гідроспоруд. Значні (приблизно 4-6 млн. м<sup>3</sup> за рік) фільтраційні втрати високомінералізованої та хімічно забрудненої води цими спорудами, при відсутності

чи малоефективних засобах з їх перехвату, обумовлюють деградацію підземних водних горизонтів як четвертинного, так і неогенового шарів [8].

Під дією комплексу вказаних вище факторів на території сільради сформувалася складна ТГЕС *стихийного* типу, яка в цілому має *ландшафтний* рівень. Еволюція такої екосистеми найчастіше йде шляхом деградації навколишнього середовища. На певних ділянках території досліджень мають місце приклади *регульованих* процесів, стан яких контролюється за допомогою спеціальних інженерно-технічних систем. Такими елементами ТГЕС на території дослідження можна вважати систему електрозабезпечення, централізованого водопостачання та газопостачання (прогресивні перебудови), ставок - накопичувач шахтних вод у балці Свистунова (регресивна перебудова).

*Керованих* складових ТГЕС на теренах Новолатівської сільради, типу добре облаштованих помешкань лікувально-профілактичних закладів чи зон відпочинку, станом на 2016 р. не виявлено, а навпаки, колишній оздоровчий комплекс, так як і будь які зони відпочинку вдовж поверхневих ставків та берега річки Інгулець знаходяться в глибокому занепаді.

В цілому ТГЕС, що склалася на сьогодні в межах сільради, характеризується, перш за все, значними, а в деяких випадках - незворотними змінами геологічних структур земної поверхні, а також гідрологічного та гідрохімічного стану підземних вод [8].

На прилеглих до багатотонних техноспоруд ділянках території виявлені суттєві геофізичні порушення на рівні кристалічного фундаменту (утворення тріщин та посилення природних розломів, переміщення геологічних шарів і блоків тощо) і осадкового чохла земної поверхні (вспучування одних ділянок та ущільнення інших, зсуви ґрунтів, обвали та просідання земних масивів тощо). Гідрогеологічні порушення на лівобережній частині території досліджень, на сам перед, проявилися у зміні рівнів горизонтів і напрямків руху потоків підземних вод [8]. Локальні геостатичні ущільнення порід під масивами відвалів та багатоярусних хвостосховищ «передавлюють» підземні водні артерії, а новоутворені розломи та тріщини кристалічних порід перенаправляють частину водних потоків з четвертинного та неогенового шарів у більш глибокі горизонти. В результаті має місце, наприклад, факт пересихання та замулення ставка джерельної води в районі оздоровчого комплексу сільради, що розміщений на відстані 2 – 2,5 км від хвостосховища «Об'єднане, I-IV карта». За останні 25 -30 років ставок втратив будь яке джерельне живлення, площа його зменшилася з 4-5 до 0,6 га, відбулася повна деградація біоценозу водойми. Разом з вказаним, на інших ділянках території досліджень техноспороди призвели до видавлювання на поверхню підземних мінералізованих вод і, як наслідок, відбулося підтоплення (більше 360 га в районі дії відвалів № 2-3 та хвостосховища «Об'єднане, I-IV карта»), заболочування (134 га поблизу відвалів «Лівобережні») та засолення ґрунтів (більше 260 га між хвостосховищем «Войково» та лівим берегом річки Інгулець). «Видавлені» підземні води разом із водами, що змивають опади з поверхонь відкосів відвалів стають високомінералізованими (до 12-17 г/дм<sup>3</sup> солей), забруднюють підземні води прилеглих територій та на сам кінець збігають в низину фарватеру річки і не санкціоновано потрапляють в її воду.

Потоки високомінералізованих вод фільтратів хвостосховищ в напрямку лівого берега р. Інгулець обумовлюють інтенсивне вимивання вапняків неогенового шару та утворення карстових порожнин, що призвело до утворення зони зсувів, провалів та обвалів ґрунту на прибережній ділянці площею у 94 га в районі с. Новоселівка і продовжує збільшувати ризики нових наземних суфозій та провалів на всій дистанції від хвостосховищ до берега річки, сприяє активізації яружно – балкових процесів.

Хімічний склад підземних вод усіх водних горизонтів лівобережної частини території сільради під дією фільтратів гідроспоруд за період 1979-1982 рр. змінився з прісного на високомінералізований хлоридно-сульфатно-кальцієво-магнієвий з вмістом солей важких металів, нітратів та нітритів. В результаті підземна вода стала абсолютно не придатною для господарсько - питного використання, що призвело до руйнації більше сотні колодязів та свердловин питної води по селах лівобережжя. Забруднення підземних вод обумовило також незворотні зміни параметрів абіотичних чинників поверхневих водойм (ставків), що мали живлення від підземних джерел (мінералізація води в них зросла у 25-30 разів, а хімічне забруднення набуло загрозливого стану). В результаті ряд поверхневих ставків сільради загальною площею більше 18 га, станом на 2016 р. повністю втратили свою первинну придатність для

господарсько - рекреаційного використання. Зрозуміло, що біотична складова біоценозів цих ставків також значно постраждала, має місце інволюція видового та кількісного складу гідробіонтів.

Розвантаження фільтратів частково відбувається, як вказувалося вище у більш глибокі підземні горизонти по розломам і тріщинам кристалічних порід, а решта утворює багаточисельні витоки забрудненої рідини вдовж лівого берега річки Інгулець з наслідками постійного несанкціонованого забруднення води в цій річці. Про наявність такого забруднення свідчать результати визначення колювань мінералізації води в Інгульці: 1,37 г/л на рівні виходу з Карачунівського водосховища, 3,2-5,1 г/л після проходження річкою території сільради. Мінералізовані фільтраційні води інтенсивно забруднюють водне середовище р. Інгулець хлоридами, сульфатами, нітритами, нітратами, важкими металами (в тому числі: свинцем, цинком, літєм, кадмієм, марганцем, окислами заліза тощо). Вказане створює своєрідний «стрес» біосфері річки, вкрай негативно впливає на іхтіофауну та на інших гідробіонтів водойми [9].

В результаті довготривалої міграції, осідання та акумуляції пилу відвалів та хвостосховищ практично всі землі сільради забруднені важкими металами, в тому числі I-II класу токсичності (свинцем, цинком, кадмієм), а також марганцем і залізом з перевищенням фонового рівня для Дніпровської області [10] в кілька разів, а на площі 188 га виявлені геохімічні вузли, де вміст вказаних забруднювачів у кілька разів перевищує ГДК. Така ситуація створює пряму загрозу здоров'ю населення та негативно впливає на якість рослинної та тваринної сільгосппродукції.

У структурно-функціональній організації ТГЕС завжди утворюються новопривнесені взаємозв'язки між її компонентами. Спроби управляти окремими частинами ТГЕС, ігноруючи стан інших, не можуть забезпечити стійкого позитивного результату. В умовах деформованої багатьма шкідливими факторами ТГЕС, що склалася на теренах сільради, можна досягти покращення екологічної ситуації лише за умов комплексного підходу, коли усуваються не тільки негативні фактори сьогоденної прямої дії, а й ті накопичені зрушення, що акумулювались за весь період дії відповідних факторів (50-60 років). Наприклад, якщо сьогодні зменшити кількість пилу, що забруднює повітря з боку відвалів та хвостосховищ, то це, безумовно, покращить теперішні умови проживання людей (зменшить потрапляння токсикантів через систему дихання), але це не змінить того рівня ідентичних поліутантів, що можуть потрапляти в організм під час повторного здування пилу з забрудненої поверхні землі і наземних предметів, через продукти, вирощені на забруднених ґрунтах тощо. Для відновлення таких земель треба застосовувати спеціальні методи рекультивації і лише після цього можна очікувати, що стан екосистеми по пиловому фактору певною мірою буде оптимізовано.

Техногенні трансформації в стані геоекосистеми території сільради, породжують переважно регресивні, постійні *сукцесії* антропогенного походження, що тривають з різною швидкістю (від швидких до дуже повільних).

Алогенні, вторинні, антропогенно-природні, середні за швидкістю та регресивні сукцесії відбуваються зараз в біогеоценозі ставка прісної води в оздоровчому комплексі сільради «Затишок» та в акваторії ставка «Західний». Позбавлені природних джерел живлення, ці водойми на сьогодні інтенсивно замулюються та більшою часткою своєї площі вже перетворилися на болото. Прибережна водяна рослинність почала поширюватися все далі до центру водойм, утворюючи торф'янисті відклади. Зараз зникла риба і планктон відкритих ділянок, водні рослини і тварини замінилися іншими видами, пристосованими до умов болота. Якщо залишити ці процеси сукцесій на само потік, то згодом на місці ставка «Затишний» може виникнути біогеоценоз луки чи лісу, а на місці ставка «Західний» найвірогідніше утвориться солончак площею 4-6 га.

Суттєві процеси алогенної регресивної сукцесії в межах сільради мають місце в створі та вдовж лівого берега річки Інгулець, спотвореного витоками фільтратів, в акваторії ставка – накопичувача шахтних вод, а також на ділянках підтоплення фільтраційними мінералізованими водами гідроспоруд та заболочування «видавленими» водами відвалів.

На всіх вказаних місцях відбувається глибоке переродження біоценозів, степове різноманіття рослинного покриву замінюється на галофіти, переважно на солерос та інші солончакові сукуленти.

На територіях тривалого заболочування степові біоценози замінені на хащі комишу. На цих ділянках значно збіднюється на тільки флора, а й фауна, зникають земноводні, плазуни та

суходільні комахи. Первинні сукцесії відбуваються на схилах відвалів і полягають в тому, що відбувається поступове самозаростання нижніх ярусів відкосів рослинами оліготрофного ряду.

Можна констатувати, що розглянуті процеси алогенних регресивних сукцесій в техногенній геоекосистемі дослідженої території не досягли клімаксного стану і знаходяться в динаміці, що пов'язано з незавершеністю формування усіх техногенних об'єктів і з наростаючим їх впливом на навколишнє середовище. Відомо, що відвали «Лівобережні» за проектом планується нарощувати до 2057 р., хвостосховище «Об'єднане» планується розширювати в південному напрямку, а багатоярусне хвостосховище «Войково» продовжують інтенсивно нарощувати до нових горизонтів. Відповідно з цим можна прогнозувати, що подальше зростання параметрів техноспоруд сприятиме наростанню

руйнівних сукцесійних процесів на виявлених ділянках. Не виключна також поява нових осередків регресивних сукцесій.

**Висновки.** Результати досліджень свідчать, що концентрація у навколишньому середовищі відходів гірничо-металургійних підприємств з відкритого видобутку та збагачення залізорудної сировини у виді відвалів розкривних порід та хвостосховищ приводить до створення величезних споруд, які активно включаються в процеси перетворення природних екосистем прилеглих територій у техногенні геоекосистеми регресивного характеру. Деструктивна дія цих об'єктів на стан екології пов'язана із фракційно-хімічним складом та агрегатним станом самих відходів, а також із застосовуваними технологіями складування самих відходів. Техногенні фактори, які ними генеруються, одночасно негативно впливають на стан атмосферного повітря і ґрунтів, на гідрогеологічні параметри місцевості, та на гідрохімію підземних вод. Віддалені наслідки такої дії супроводжуються глибокими та не зворотними руйнаціями в багатьох сферах природних екосистем і утворенням деградованих техногенних геоекосистем, провокують антропогенні сукцесії регресивного характеру (відбувається зниженням біорізноманіття, падає продуктивність та спрощується структура біоценозів, гальмується та розривається природний колообіг біогенів тощо). У такій ситуації суттєво погіршуються умови проживання населення, зростають ризики негативного впливу на стан їх здоров'я, особливо дітей. Наростають також еколого-соціальні негаразди, невпевненість у майбутньому території мешкання, стохастичність змін у стані навколишнього середовища, що в цілому негативно впливає на загальну якість життя населення. На підставі викладеного можна констатувати:

1. Потребують перегляду існуючі на сьогодні оціночні критерії ступеню безпечності і токсичності речовин, що концентруються у відвалах та хвостосховищах гірничо-збагачувальних комбінатів, так як віддалені наслідки дії пилу з поверхонь цих об'єктів приводять до суттєвого кумулятивного забруднення ґрунтів навколишнього середовища токсичними речовинами I-II класу небезпеки.

2. Відвали та багатоярусні хвостосховища гірничо-збагачувальних комбінатів південної частини Криворіжжя повинні бути визнані *об'єктами екологічної небезпеки високого рівня*, створювані за їх участю техногенні геоекосистеми прилеглих територій мають руйнівний характер розвитку, що закінчується повільними, регресивними, алогенними сукцесіями зі створенням збіднених біотопів.

3. Зростання негативних зрушень в стані екології прилеглих до відвалів та хвостосховищ територій прогресує пропорційно нарощуванню відвального та шламо-хвостового господарства.

#### *Список літератури*

1. **Багрій І.Д., Білінов П.В., Белокопитова Н.А., Вилкул Ю.Г.,** та ін. Геоекологічні проблеми криворізького басейну в умовах реструктуризації гірничодобувної галузі. – К.: Фенікс, 2002.-192 с.
2. **Мініц А.А.** Економічна оцінка природних ресурсів і умов виробництва. - М: Нука, 1968. – 423 с.
3. **Данилишин Б.М.** Економіка природокористування/ Б.М. Данилишин, М.А. Хресник, В.А. Голян. – К.: Кондор, 2010.- 465 с
4. **Бровко, Ф.М., Юхновський, В.Ю.** Техногенні сукцесії на відвальних ландшафтах. Вісник Харківського національного аграрного університету ім.В.В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, лісове господарство», № 5, 2010.-С.8
5. **Суздалева А.Л.** Управляемые природно-технические системы энергетических и иных объектов как основа обеспечения техногенной безопасности и охраны окружающей среды. Учебное пособие/ А.Л.Суздалева. — М.: Издательство ИД ЭНЕРГИЯ, 2015. — 160 с.
6. **Паранько Н.М., Карнаух Н.Г.** Загрязнение воздуха жилой зоны и здоровье человека. – Кривой Рог: ПОЛИМЕД – Сервис, 2008. – 110 с.
7. **Кулькова Т.М.,** Гуляк О. І., Моніторинг геологічного середовища Кривбасу (1996-2000 рр.).- К.: Геоінформ, 2005.- 217 с.

8. Петрухін А.В., Антонік В.І., Кулькова Т.М., Чепурний В.І., Гришко В.М. та інші. Проведення комплексного аналізу екологічного стану навколишнього природного середовища (НПС) Новолатівської сільської ради та розробка комплексної програми забезпечення екологічної безпеки території Новолатівської сільської ради на 2017 – 2021 рр. Звіт НДР по темі 12-16 у 2-х т.- Кривий Ріг: НДГРІ, 2016.- 630 с.

9. Антонік В.І., Антонік І.П., Екологічна характеристика стану водного басейну річки Інгулець // Сталий розвиток промисловості та суспільства. Матеріали міжнародної науково – технічної конференції / Редкол. Вілкул Ю.Г., Ступнік М.І., Азарян А.А. та ін. – Кривий Ріг : ВЦ ДВНЗ «КНУ», 2014. С.112 – 113.

10. Фатєєва А.І. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України / За ред. А.І.Фатєєва, Я.В.Пашенко. – Харків, 2003. – 117 с.

Рукопис подано до редакції 14.04.17

УДК 004.056. 5: 004.738.5(045)

Е.А. МЕЛЕШКО, канд. техн. наук, доц., Е.С. БОЛОТНИКОВА, студентка  
Национальный авиационный университет

## ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ, СИСТЕМ И ПРИЛОЖЕНИЙ В OS ANDROID

**Цель работы.** Повышение эффективности защиты информации с ограниченным доступом в мобильных устройствах путем разработки политик и регламентов использования мобильных устройств, анализа и выбора методов шифрования, ограничения использования вредоносного ПО. Систематизация и анализ корпоративных методов защиты внутренней информации. Минимизация корпоративных убытков за счет утечки информации различного уровня (типа) конфиденциальности.

**Методы исследования.** Обзор и анализ факторов риска нарушения безопасности использования мобильных устройств. Анализ и систематизация методов защиты информации на мобильных устройствах под управлением OS Android. Опытная проверка существующих способов защиты конфиденциальной информации на мобильном устройстве. Анализ алгоритмов установки стороннего ПО на устройства под управлением OS Android, поиск путей уязвимости и защиты внутренней информации.

**Научная новизна.** Выполнен анализ и систематизация угроз и способов воздействия на мобильные устройства. На основе выполненного анализа и систематизации разработан и практически проверен алгоритм использования методов защиты информации.

**Результаты.** На основании проведенных исследований уязвимости и методов защиты в OS Android установлено, что данная операционная система как собственные, внутренние средства защиты, так же может и поддерживать дополнительное, разработанное другими разработчиками. Встроенные внутренние средства защиты, достаточно удобными инструментами защиты данных на мобильных телефонах. Учитывая тип блокировки, выделяют различные виды безопасности. Они достаточно эффективны, но от внешних атак, то есть если кто-то хочет зайти на мобильный телефон и посмотреть какие-то определенные данные, то злоумышленник встречает препятствие в виде: пароля, рисунка, распознавание лица или PIN. Но от внутренних атак, вирусов, данные средства беспомощны. В то время как дополнительное программное обеспечение, может обеспечить, как безопасность от внутренних, так и от внешних атак.

**Ключевые слова:** OS Android; мобильные телефоны; безопасность информации; угрозы; конфиденциальность; целостность; доступность; средства защиты информации.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** В настоящее время, практически у каждого есть такое устройство как мобильный телефон. Данная технология является полноценными вычислительными устройствами, поддерживающими большую часть функционала традиционных ЭВМ при значительно меньших размерах, что позволяет обрабатывать информацию удаленно и оперативно, сократив на этом время и усилия, затраты времени на перемещения к компьютеру. Учитывая тот факт, что хранящаяся информация может содержать в себе информацию различного уровня (типа) конфиденциальности, то потеря ее может нести большие убытки.

**Анализ исследований и публикаций.** Развитие высоких технологий и тренд мобильности привели к тому, что современное мобильное устройство – смартфон/ зачастую используется в качестве мобильного офиса, центра развлечений и инструмента для потребления Интернет-контента.

Сам аппарат многое может рассказать о своем владельце, ведь в его памяти хранятся: контакты коллег, друзей и близких с их персональными данными; журнал звонков; корпоративная переписка; параметры точек доступа Wi-Fi, которые расположены в пределах ареала обитания владельца; приложения социальных сетей (зачастую с сохраненными паролями); банковские реквизиты или мобильный/СМС банкинг, снимки, видеозаписи, заметки и пр.

Такая концентрация деловых и персональных данных приводит к тому, что абстрактная стоимость информации перевешивает цену самого устройства. Именно поэтому задача защиты телефона/планшета как от кибер угроз так и от банальной утери/выхода из строя является критически важной. К сожалению, часть пользователей осознает важность этих задач лишь пост-фактум.

**Постановка задачи.** Определить оптимальные методы защиты мобильных устройств, с помощью которых можно обеспечить безопасность хранящихся данных на устройстве.

**Изложения материала и результаты.** Итак, прежде чем перейти к содержательной части проблем безопасности объектов обозначенных в заголовке данной статьи, давайте конкретизируем основные понятия и определения интересующих нас именованных сущностей:

Мобильное устройство (*гаджет* – англ.) – это продукт информационно-коммуникационных технологий.

Мобильными считаются устройства, обладающие малыми габаритами и весом, как минимум одним беспроводным интерфейсом доступа к Сети (мобильной связи или Интернет), встроенной (несъемной) памятью, операционной системой, не являющейся полноценной операционной системой настольных компьютеров и ноутбуков, возможностью установки приложений различными способами, имеющие встроенные средства синхронизации локально хранимых данных с удаленным источником. Кроме этого, устройство может обладать другими, необязательными свойствами, в частности, иметь не менее одного беспроводного персонального сетевого интерфейса типа Bluetooth или NFC, а также не менее одного беспроводного сетевого интерфейса для голосовой связи, например сотовый модуль;

Давайте разберемся от чего именно и каким образом можно (и нужно) защищать наши мобильные устройства, системы и приложения.

*Угрозы и уязвимости мобильных устройств.* Как правило, мобильные устройства должны обеспечивать решение нескольких задач информационной безопасности (триаду ИБ):

конфиденциальность – свойство информации, состоящее в том, что информация не может быть получена неавторизованным пользователем и процессом информационной системы. Информация сохраняет конфиденциальность, если придерживаются установленных правил ознакомления с ней;

целостность данных – свойство информации, которое определяется её пригодностью к использованию в разных отраслях целеустремленной деятельности человека;

доступность – возможность использования информации (данных), когда в этом возникает необходимость. Доступность так же характеризуется трудоспособностью информационной системы.

Прежде чем разворачивать мобильные решения, компаниям и организациям стоит разработать модель рисков информационной безопасности, определив возможные уязвимые ресурсы, угрозы и средства обеспечения безопасности, вычислив вероятности успешных атак и их последствий, и т. п.

Мобильные устройства сотрудника обычно используются в местах, не контролируемых компанией, и даже если устройства используются внутри офиса, они переносятся с места на место, что создает угрозу утечки конфиденциальных данных. Смартфоны и планшеты могут быть потеряны или украдены, и данные, хранимые на них, подвергаются риску быть скомпрометированными.

При формировании политик и регламентов использования мобильных устройств необходимо учитывать, что такие устройства могут попасть в руки злоумышленников, которые пытаются получить конфиденциальные данные либо напрямую с устройства, либо используя их для удаленного доступа к ресурсам организации. Стратегия по смягчению последствий этого состоит из нескольких уровней.

Первый включает защиту конфиденциальных данных либо путем шифрования локального хранилища самого мобильного устройства, либо путем запрета локального хранения конфиденциальных данных.

Даже если мобильное устройство всегда находится при владельце, существуют другие угрозы безопасности - например, возможность подглядеть важные данные или процесс ввода пароля.

Использовать шифрование возможно только в том случае, если у пользователя установлена блокировка экрана с помощью пароля. С помощью шифрования пользователь может уберечь хранящиеся в памяти телефона.

У пользователя есть возможность зашифровать:

1. Учетная запись.
2. Параметры.
3. Загруженные и их данные.
4. Мультимедийные и другие файлы.

После шифрования устройства, при каждом его включении для расшифровки потребует PIN-код или пароль.

Необходимо учесть, что программа при этом не шифрует SD-карту. Шифрование может занять до 1:00, это зависит от объема памяти на смартфоне. В случае если пользователь забыл пароль, единственным вариантом разблокировки устройства, это сброс до заводских настроек. При этом все данные, которые хранились на устройстве будут потеряны.

Недостатки шифрования:

1. Данная услуга доступна в OS Android 4.0 и выше.
2. Доступно не на всех моделях смартфонов. Чаще всего эта функция встречается в телефонах от Samsung, HTC, Philips.
3. Пользователю необходимо постоянно вводить пароль, (6-10 символов) даже если нужно просто позвонить.
4. Если пользователь желает снять защиту, то сделать это возможно только при полной перезагрузке телефона. Восстановил его к заводским настройкам.

### 3. Шифрование внешней SD-карты

Данная функция входит в стандартный набор пакета Android 4.1.1 и высших версиях. Она обеспечивает надежную защиту данных на внешний SD-карте. Здесь могут храниться только фотографии, текстовые файлы с информацией коммерческого и личного характера.

Позволяет зашифровать файл на SD-карте, не меняя ее названия, файловой структуры, с сохранением предварительного просмотра графических файлов (иконок). Файлы, зашифрованные на данном устройстве, можно использовать только на нем. При сбросе настроек до заводских, ключ для расшифровки будет удален. Пользователь не сможет пользоваться зашифрованным файлом на карте памяти SD, но незашифрованные файлы будут доступны и в дальнейшем. Функция требует установки длиной не менее 6 символов, имеет в себе не менее 1 цифра. При изменении пароля вслед идет автоматическое обновление шифра.

Второй уровень включает обязательную аутентификацию пользователя.

Как правило, у устройства имеется единственный идентификатор, поскольку предполагается только один владелец – следовательно, имя пользователя отсутствует, а есть только пароль, зачастую в виде простого PIN, что снижает защищенность. Поэтому нужны более надежные методы аутентификации, такие как аутентификация в домене, используемые вместо или в дополнение к встроенным возможностям устройства.

Многим мобильным устройствам, принадлежащим сотрудникам, которые они используют в своей производственной деятельности, не хватает, так называемых, «корней доверия», криптопроцессоров, которые давно уже встраиваются, например, в ноутбуки.

Организации должны придерживаться презумпции ненадежности мобильных устройств и предоставлять доступ с них к корпоративным данным и приложениями только после обеспечения безопасности, постоянно отслеживая состояние устройств в процессе их работы.

Есть несколько стратегий устранения рисков использования недоверенных мобильных устройств. Можно ограничить или запретить использование личных устройств и обеспечивать безопасность каждого корпоративного устройства, перед тем как выдавать его пользователю – это приводит устройство в наиболее безопасное состояние, и все отклонения от него могут

быть отслеживаемы и контролируемы. Как правило, у организаций, а тем более пользователей нет возможности контролировать безопасность сетей, используемых мобильными устройствами.

Мобильные устройства разрабатывались с целью упрощения поиска, получения, установки и использования приложений, что сразу создает очевидные риски безопасности, особенно на платформах, которые не ставят ограничений безопасности на публикацию сторонних приложений. Организации должны планировать защиту своих мобильных устройств исходя из предположения, что загружаемые пользователями сторонние приложения изначально опасны.

Есть несколько способов сократить риски, вызванные подобными приложениями, – например, запретить установку всех внешних приложений, составить списки разрешенных или запрещенных приложений, использовать безопасный контейнер изоляции корпоративных данных и приложений от всех прочих, имеющихся на устройстве. Еще одна общая рекомендация – оценивать риски, создаваемые тем или иным сторонним приложением, перед разрешением его использования на мобильных устройствах организации. Важно отметить, что даже если эти стратегии устранения рисков безопасности применяются, пользователи все равно через встроенный браузер будут иметь доступ к небезопасным веб-приложениям. Связанные с этим риски можно сократить, ограничивая или запрещая использование браузера.

Мобильные устройства могут взаимодействовать с другими системами для хранения и синхронизации данных. Локальное взаимодействие обычно включает в себя подключение мобильного устройства к настольному компьютеру или ноутбуку. Удаленное взаимодействие чаще всего включает автоматическое архивирование данных в облачном хранилище.

Если все компоненты находятся под контролем организации, то риски в целом приемлемы, но обычно как минимум один компонент оказывается внешним для организации: возможно подключение личного мобильного устройства к корпоративному ноутбуку; подключение корпоративного мобильного устройства к удаленному хранилищу; перенос вредоносного программного кода с одного устройства на другое. Стратегии сокращения рисков в этом случае зависят от типа соединения. Предотвращение синхронизации корпоративного устройства с личным компьютером требует наличия на мобильном аппарате средств выбора устройств, с которыми разрешено синхронизироваться. Если говорить о программном обеспечении, то существующие угрозы можно разделить на две группы:

Различное вредоносное ПО (вирусы, трояны) – обычно предназначено для хищения персональных данных, получения контроля над устройством или вывода его из строя;

Уязвимости (потенциальные ошибки) в прошивке или приложении, как правило, приводят к потенциальной практической возможности обхода аутентификации, искажения процессов обработки информации на устройстве.

Приведем несколько бытовых способов защитить свой телефон, планшет или иной гаджет:

Блокировка экрана и защита паролем.

Это самая важная защита, которую вы можете обеспечить своему устройству. Причем настроить ее можно за считанные минуты. Хотя такая защита и не спасет от самых квалифицированных нарушителей (хакеров), но все же поможет избежать нежелательного просмотра информации в вашем телефоне. Рекомендуем также применить ее к программам, которые взимают плату за дополнительный контент, чтобы дети случайно не израсходовали ваш бюджет.

Существует несколько вариантов блокировки:

Прикосновение к экрану мобильного телефона (Слайдер)

Для разблокирования устройства, пользователь должен провести пальцем по экрану монитора, что и приводит к разблокированию прибора. Использование данного способа не обеспечивает сохранность вашей информации, потому что защита вообще отсутствует.

Распознавание лица (низкий уровень безопасности)

Данный способ обеспечивает низкий уровень безопасности, так как человек с похожим типом лица, может разблокировать данное устройство. Если же пользователь собирается использовать именно этот тип блокировки, то надо найти место с хорошим освещением и удерживать устройство на уровне глаз вдоль минуты. Тогда фронтальная камера зафиксирует контуре вашего лица (идентификационные данные), которые будут использованы для идентификации личности. Эти данные будут храниться в закрытом доступе.

Блокировка рисунком (средний уровень безопасности)

Блокировка рисунком считается системой среднего уровня защиты. Для его применения пользователь должен соединить в любом порядке не менее 4 точки, тем самым создавая свой уникальный ключ.

Введите PIN (средний или высокий уровень безопасности)

PIN - определенная последовательность цифр, минимальная длина которого 4 символа. Чем больше цифр, тем выше уровень защиты системы.

Введение пароля (высокий уровень безопасности)

Ввод пароля имеет наиболее высокий уровень безопасности. Поскольку в его состав входит не только цифры, но и буквы.

Программы защиты.

Для устройств Android можно загрузить специальные программы защиты:

Самая популярная программа защиты для устройств Android – это TrustGo Antivirus & Mobile Security: она включает средство сканирования вирусов, проверку программы и даже антиоранжевые инструменты, позволяющие в случае похищения заблокировать устройство и определить его местонахождение;

Подозрительные ссылки.

Согласно результатам исследования, пользователи мобильных устройств втрое чаще переходят по подозрительным ссылкам, чем пользователи компьютеров и ноутбуков. А причина довольно проста: небольшой размер экрана не позволяет должным образом распознать источник ссылки. Поэтому будьте бдительны, когда переходите на сайты, и проверяйте, надежен ли источник. А во время загрузки файлов необходима предельная осторожность. Проверенное правило такое: если не уверены в источнике, не переходите по ссылке.

Проверка программ.

Сначала трудно устоять перед искушением, чтобы не загрузить первые попавшиеся бесплатные программы. Однако всегда обращайтесь внимание, на какой сайт вы переходите. Загружайте файлы только из проверенных интернет-магазинов, таких как Google Play. Рекомендуем также сначала просмотреть отзывы других пользователей о необходимом продукте, чтобы убедиться, что он не только широко используется, но и достаточно безопасен.

Важным аспектом безопасности является и тот факт, разрешает ли система устанавливать программы из неизвестных источников. Если да, веб-сайт может автоматически начать установку программы на ваш телефон. Если вы не уверены в надежности источников, настройте телефон так, чтобы система запрещала установку таких программ.

Поэтому можете не волноваться, если вы пользуетесь одним из этих мобильных устройств.

Общие советы:

1. Просматривая сайты на ноутбуке, планшете или телефоне, помните о правилах политики безопасности, принятые в вашей организации, которые нужно соблюдать;
2. Будьте осторожны, открывая беспроводные точки доступа Wi-Fi;
3. Когда вы пользуетесь общим интернет-соединением (в том числе и через мобильное соединение через GSM или Wi-Fi), история вашего просмотра передается через сеть, к которой могут получить доступ находящиеся рядом люди.

Хотя это и нелегко, но все же возможно через это соединение получить доступ к вашему компьютеру. Поэтому не просматривайте важную информацию и не осуществляйте онлайн-платежи, если эта сеть ненадежная;

4. Желательно используйте устройство только по назначению;
5. Устройства иногда используются не только по назначению, но и в других целях, непредусмотренных их программированием.
6. В этом случае помните, что таким образом вы рискуете снизить степень защиты, что может повлечь за собой множество проблем и лишение гарантии;
7. Не включайте функцию сохранения и автозаполнения для пароля.
8. Защита паролем очень важна.

Настроить ее можно за считанные минуты. Однако она теряет всякую силу при автоматическом запоминании пароля на переносных устройствах. Не желая каждый раз вводить пароль вручную, вы применяете эту функцию для просмотра страниц, соцсетей, онлайн-платежей и оплаты, которая производится через программу. Однако делать этого не рекомендуется;

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Итак, рассмотрев варианты защиты информации на смартфонах с платформой Android, можно подвести вывод. Данная операционная система как собственные, внутренние средства защиты, так же может и поддерживать дополнительное, разработанное другими разработчиками.

Встроенные внутренние средства защиты, достаточно удобными инструментами защиты данных на мобильных телефонах. Учитывая тип блокировки, выделяют различные виды безопасности. Они достаточно эффективны, но от внешних атак, то есть если кто-то хочет зайти на мобильный телефон и посмотреть какие-то определенные данные, то злоумышленник встречает препятствие в виде: пароля, рисунка, распознавание лица или PIN. Но от внутренних атак, вирусов, данные средства беспомощны. В то время как дополнительное программное обеспечение может обеспечить как безопасность от внутренних, так и от внешних атак.

Кроме того следует придерживаться определенных элементарных правил, а именно:

выключать Wi-Fi на телефоне, когда не пользуетесь Интернетом;

используйте сложные пароли;

загружайте приложения с умом.

Дополнительно, для большей надежности, уместно будет делать резервных копий и добавить удаленный доступ. Все эти советы позволят относительно безопасно пользоваться мобильными устройствами в быту.

*Список литературы*

1. **Якушин Петр.** Безопасность мобильного предприятия// Открытые системы № 01, 2013.
2. **Юдин А. К., Богуш В. М.** Информационная безопасность государства: Учебное пособие // Харьков: Консул. - 2005. - С. 38.
3. **Шетько Николай.** Взлом сотовых сетей GSM: расставляем точки над «i»// ET CETERA – серия цифровых журналов, распространяемых по подписке № 32, 2013.
4. **Белорусов Д.И.** Wi-Fi – сети и угрозы информационной безопасности/ Д.И. Белорусов, М.С. Корешков // СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА № 6, 2009; с. 2-6.
5. **Михайлов Д. М., Жуков И. Ю., Ивашко А. М.** Защита мобильных телефонов от атак М.: Фойлис, 2011. - 192 с.
6. **Якушин Петр.** Безопасность мобильного предприятия/ П.Якушин // Открытые системы – 2013 - № 1 (187) – с. 22-27.
7. **Панасенко А.** Влияние мобильных устройств на безопасность информации – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.anti-malware.ru/node/12301>, 2013.
8. **Гилмор Дж., Бирдмор П.** Безопасность мобильных устройств для «Чайников» М.: John Wiley & Sons Ltd, Chichester, West Sussex, England (Англия), 2013. – 54 с.
9. **Ванг Й., Стрефф К., Раман С.** Проблемы безопасности смартфонов//ОТКРЫТЫЕ СИСТЕМЫ. СУБД, М: Издательство «Открытые системы», 2013. - 27-31 с.

Рукопис подано до редакції 14.04.17

УДК 532.58: 669.162.1

В.П. ТАРАСОВ, С.В. КРИВЕНКО, (ООО «Азовский технологический центр,  
Мариупольский государственный университет, г. Мариуполь)

## **ОБОСНОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ ГАЗА В СЛОЕ ОКОМКОВАННОЙ АГЛОШИХТЫ**

Газодинамические условия спекания агломерационных шихт оказывают существенное влияние на производительность процесса, качество агломерата и параметры работы газоотсосного оборудования, оптимизация которых возможна при обоснованном научном решении проблемы.

Наиболее часто исследователи при описании газодинамики зернистого слоя используют формулу Дарси-Вейсбаха, определяющую потери напора при развитом турбулентном течении несжимаемой жидкости [1,2]

$$\Delta P = \Psi \frac{H}{d} \frac{\rho U_0^2}{2\Phi} \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3}, \quad (1)$$

где  $\Psi$  - коэффициент газодинамического сопротивления;  $H$  - высота слоя, м;  $\varepsilon$  - порозность слоя, д.ед;  $d$  - эквивалентный диаметр частиц, м;  $\rho$  - плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  $U$  - приведенная скорость газа, м<sup>3</sup>/с;  $\Phi$  - показатель сферичности.

Формула (1) предназначена для расчета потерь давления в цилиндрических трубах и основана на дополнении формулы Вейсбаха коэффициентом Дарси сопротивления участка трубы длиной  $L$  и диаметром  $D$ [2]

$$\xi = \lambda \cdot \frac{L}{D}, \quad (2)$$

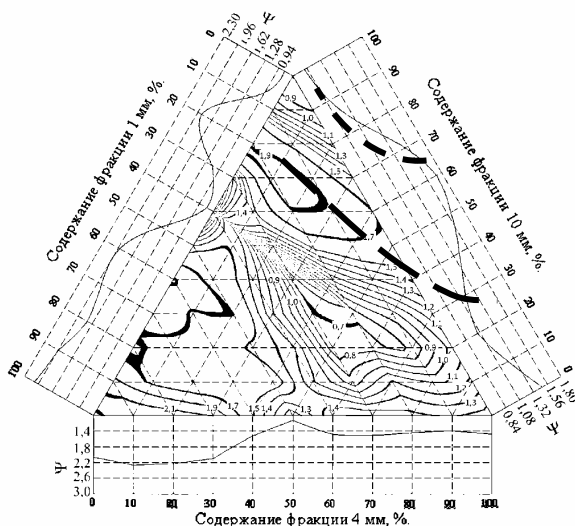
где  $\lambda$  - коэффициент потерь на трение по длине

Трудность использования формулы (1) для сыпучих сред связана с тем, что коэффициент  $\Psi$  имеет сложную зависимость при изменении доли мелких фракций в слое, на которую указывали Т.Л. Джозеф, В.П. Тарасов и другие исследователи [1]. Для доменных шихт при увеличении доли мелочи до 0,2 происходит рост  $\Psi$  в три-четыре раза. Затем величина  $\Psi$  снижается. Если увеличивать долю мелочи сверх 0,4, то снова происходит рост  $\Psi$ . Однако четкого объяснения закономерности коэффициента  $\Psi$  не было представлено. Кроме того, доменные шихты по свойствам существенно отличаются от окомкованных агломерационных. Агломерат имеет форму и поверхность совершенно не соответствующую шарообразной. Мелкие фракции в доменной шихте свободно переносятся по каналам и не обладают силами сцепления, характерными для увлажненных агломерационных шихт. Также при движении газа снизу вверх в слое доменных шихт создаются более благоприятные условия для раздвигания и переноса мелких частиц.

Преобразовав выражение (1), Коротич В.И. предложил для оптимизации газодинамических режимов использовать формулу, в которой отсутствуют параметры, зависящие от режима движения газа, а также разделены параметров газа и слоя, влияющие на его газодинамическое сопротивление [4]. Данную формулу применяют для анализа слоя окомкованной агломерационной шихты (ОАШ) с неизменным фракционным составом. При изменении содержания мелких фракций формула не обеспечивает удовлетворительную точность прогнозирования газодинамических условий процесса спекания. Используемые в ней коэффициенты сопротивления  $K_1$  и  $K_2$  определяют путем линейной интерполяции и включают  $\Psi$ .

Цель работы – обосновать закономерность коэффициента газодинамического сопротивления  $\Psi$  формулы Дарси-Вейсбаха при изменении фракционного состава окомкованной агломерационной шихты.

Исследование коэффициента  $\Psi$  осуществлено методом просасывания слоя в агломерационной чаше [5,6]. На основе изменяемого расхода воздуха через слой и измеренных потерь напора для каждого фракционного состава построена диаграмма (рис. 1).



**Рис. 1.** Изменение коэффициента сопротивления  $\Psi$  для трехфракционной шихты на основе среднелогарифмического эквивалентного диаметра при расходе воздуха через слой  $Q = 1,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$

Максимальные значения  $\Psi$  для монофракционных шихт соответствуют минимальной крупности частиц. По данным В. П. Тарасова коэффициент сопротивления слоя из крупных частиц в 13-15 раз ниже, чем слоя мелких частиц с такой же порозностью. Из построенной диаграммы (см. рис. 1) видно, что при содержании частиц диаметром  $d=10$  мм, равном  $V_{10}=100\%$  коэффициент  $\Psi_{10}=0,81$ , для частиц  $d=1$  мм при  $V_1=100\%$  величина

$\Psi_1=2,11$ . Соотношение  $\Psi_1/\Psi_{10} = 2,6$ . Полученные результаты для ОАШ не соответствуют представленным в [1] данным в связи с тем, что по форме, размерам и шероховатости куски доменной шихты существенно отличаются от гранул относительно шарообразной формы с меньшей шероховатостью. Кроме того, отличались условия загрузки шихты в слой и направление движения газов.

Для ОАШ при добавлении мелочи до 0,2 доли.ед. происходит резкое увеличение  $\Psi$  до максимума  $\Psi_{\max}$ , в  $\approx 2,2$  раза превышающего минимум для монофракционной шихты. При дальнейшем добавлении мелочи коэффициент  $\Psi$  снижается примерно с той же скоростью до минимального значения  $\Psi_{\min}$ . Если продолжать добавлять мелкие фракции в слой, то  $\Psi$  снова растет и остается примерно постоянным. Таким образом, график изменения  $\Psi$  от содержания мелочи в слое имеет минимум. При уменьшении различия в размерах фракций разность между значениями минимума  $\Psi_{\min}$  и максимума  $\Psi_{\max}$  снижается, т.е. кривая коэффициента сопротивления постепенно сглаживается и перегибы исчезают.

Положение первого максимума коэффициента  $\Psi_{\max}$  соответствует одновременному снижению порозности слоя  $\varepsilon$  и коэффициента вариации  $V_d$ [6]. Из этого следует, что эффективная порозность слоя падает с большей скоростью, чем фактическая  $\varepsilon$ . Данное явление объясняется тем, что при добавлении в слой мелкие частицы, размещаясь между крупными и скапливаясь внизу между ними в узких местах, уменьшают диаметр каналов и увеличивают извилистость быстрой, чем снижают удельный объем пустот. В результате потери давления газов  $\Delta P$  в слое увеличиваются с большей скоростью, чем симплекс  $(1-\varepsilon)/\varepsilon^3$ .

Изменение значений  $\Psi$  и  $\Delta P$  зависит от распределения мелочи между крупными фракциями. При движении жидкости или газа через слой сыпучих материалов происходит ее перераспределение в межкусковых пустотах и зависит от коэффициента трения частиц между собой. При продувке в прозрачном цилиндре слоя стеклянных шаров диаметров 20 и 1 мм, обладающих малой шероховатостью, наблюдали следующее явление. Вначале мелочь в большей массе находится непосредственно в межкусковых пустотах. Поэтому снижается порозность и увеличивается  $\Psi$ . Затем мелкие частички перемещаются потоком жидкости или газа по направлению их движения. В первый момент продувки мелкие шарики находятся в межкусковых свободных объемах. Поэтому снижается порозность и увеличивается  $\Psi$  с увеличением  $m$  до 0,2. Затем мелкие шарики начинают двигаться в межкусковых пустотах. С увеличением  $m$  до 0,4 снижается порозность, но одновременно снижается  $\Psi$ . Потери напора растут с меньшей интенсивностью. Рост  $\Delta P$  объясняется большим влиянием  $\varepsilon$  по сравнению с  $\Psi$ . Если увеличить время продува, то происходит полное разделение крупных шаров и мелких шариков. Этим и объясняется изменение  $\Psi$  при увеличении объемной доли до 0,2, а затем с 0,2 до 0,4 и более.

Такое явление, вероятно, частично происходит и в слоях агломерационных и доменных шихт, обладающих существенно более высокой шероховатостью по сравнению со стеклянными шариками.

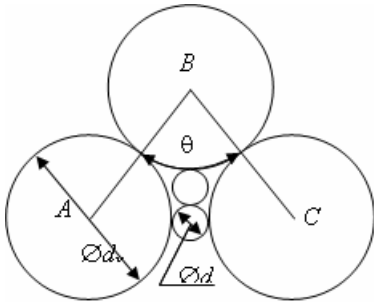
Ромбоэдрическая упаковка – наиболее вероятная укладка частиц в монофракционном слое сыпучего материала [7]. Согласно уравнению Сликтера порозность такого слоя равна [8,9]

$$\varepsilon = 1 - \left( \pi/6(1 - \cos \theta) \sqrt{1 + 2 \cos \theta} \right), \quad (2)$$

где  $\theta$  – угол укладки шаров,  $60 < \theta < 90$ .

Возможный диапазон угла укладки шаров одного диаметра в ромб составляет  $\theta$  от 60 до 90°, который соответствует изменению порозности слоя  $\varepsilon$  от 0,259 до 0,476. Угол  $\theta$  также определяет расположение и крупность мелких частиц в сужениях каналов. В результате геометрических расчетов определено, что между крупными шарами диаметром 10 мм с минимальным углом укладки  $\theta=60^\circ$  размещается частица с минимальным диаметром равным  $d_{зан}=1,55$  мм. При максимальном угле укладки  $\theta=90^\circ$  минимальный диаметр вписываемой частицы составляет  $d_{зан}=4,14$  мм. Таким образом, осуществление запирающего эффекта за счет размещения одной мелкой частицы в узких пустотах между крупными маловероятно.

Для этого необходимо размещение двух и более частиц, которые удерживались бы в таких пустотах за счет сил трения. При размещении одной мелкой частицы между крупными  $A$  и  $C$  расстояние  $(AC-d_k)$  не должно превышать диаметра  $d_m$  (рис. 2).



**Рис. 2.** Расположение мелких частиц в пустотах ромбоэдрической упаковки крупных гранул

Исследованиями Томаша А.А. установлено, что наиболее вероятные углы укладки шаров в слое приходятся на интервал значений  $\theta$  от  $67,5$  до  $75^\circ$  [8]. Поэтому для реального слоя частиц с порозностью слоя  $0,361-0,427$ , размещение мелких частиц в узких пустотах между крупными и возникновение запирающего эффекта обладает высокой вероятностью.

Согласно уравнению С Лихтера порозности слоя  $\varepsilon=0,418$  соответствует угол укладки шаров  $\theta=73,74^\circ$ , при котором в сужении каналов наиболее вероятно размещение двух мелких частиц.

Правильность гипотезы о соответствии максимума коэффициента сопротивления  $\Psi$  размещению мелких частиц в узких пустотах между крупными подтверждена упрощенной методикой расчета доли занятого пространства слоем мелких частиц, не учитывающей сил их взаимодействия.

Принято, что крупные частицы  $d_k=10$  мм формируют ромбоэдрическую укладку с  $\theta=73,74^\circ$  и  $\varepsilon_k=0,418$ . В каждой ромбоэдрической упаковке размещается объем крупной фракции, равный объему одной шарообразной частицы и равен  $V_{к.ч.}=1/6 \cdot \pi d_k^3=1/6\pi 10^3=523,6$  мм<sup>3</sup>.

Исходя из формулы

$$\varepsilon_k = V_n / (V_n + V_k), \quad (2)$$

где  $V_n, V_k$  - объемы пустоты и крупной частицы, соответственно, м<sup>3</sup>, объем пустоты в упаковке равен, мм<sup>3</sup>

$$V_n = V_k \cdot \frac{\varepsilon_k}{1 - \varepsilon_k} = 523,6 \cdot \frac{0,418}{(1 - 0,418)} = 376,1. \quad (3)$$

Примем, что порозность монофракционной шихты мелких шаров равна  $\varepsilon_m=0,418$ . Объем мелкой частицы равен  $V_{м.ч.}=1/6\pi d_m^3=1/6\pi 1^3=0,523$  мм<sup>3</sup>.

Тогда максимальные массовый объем  $V_{полн}$  и количество  $N_{полн}$  мелких частиц, вмещаемых между крупными без их раздвигания при полном заполнении пустоты, равны

$$V_{полн} = m \cdot V_n \cdot (1 - \varepsilon_m) = 1 \cdot 376,1 \cdot (1 - 0,418) = 218,9 \text{ мм}^3, \\ N_{полн} = \frac{V_{полн}}{V_{м.ч.}} = \frac{218,9}{0,523} = 418 \text{ шт.} \quad (4)$$

Аналогично, доле мелких частиц  $m=0,2$  соответствует их массовый объем  $V_{m=0,2}$  и количество  $N_{m=0,2}$

$$V_{m=0,2} = \frac{m}{1 - m} \cdot V_k = \frac{0,2}{1 - 0,2} \cdot 523,6 = 130,9 \text{ мм}^3, \\ N_{m=1} = \frac{V_{m=0,2}}{V_{м.ч.}} = \frac{130,9}{0,523} = 250 \text{ шт.} \quad (5)$$

Степень заполнения при этом составила  $k=59,8$  % от максимальных значений  $V_{полн}$  и  $N_{полн}$ . Причем, при неизменной порозности слоя мелких фракций внутри пустоты укладки, значение  $k$  зависит только лишь от содержания мелких гранул  $m$  и удельных объемов  $\varepsilon_m$  и  $\varepsilon_k$ .

Известно, что при соотношениях размеров аппарата и частиц менее 6 происходит существенное разрыхление слоя за счет пристеночного эффекта [7,10].

В связи с этим вероятно, что рассчитанное значение завышено, поскольку при размещении мелких частиц в узких пространствах должен присутствовать пристеночный разрыхляющий эффект.

На основании расчетов следует, что первому максимуму коэффициента  $\Psi_{макс}$  сопротивления при доле мелочи  $0,2$  соответствует заполнение половины пустоты мелкими частицами между крупными, т.е. до максимального расширения волнообразного канала.

При соотношении размеров частиц  $d_m/d_k=1/4$  и  $d_m/d_k=4/10$  явно выраженной ветви роста коэффициента  $\Psi$  до первого максимума не существует. Это связано с тем, что в сужении канала

между крупными частицами вмещается только одна частица. Извилистость повышается не так существенно, как для соотношения диаметров  $d_m/d_k=1/10$ .

Кроме того, слой мелких частиц в пустотах между крупными существенно разрыхлен из-за пристеночного эффекта и порозность слоя мелких частиц более 0,6.

По достижении максимума коэффициента  $\Psi_{\max}$  и последующем добавлении мелких фракций в слой, они начинают постепенно заполнять оставшиеся пустоты между крупными частицами. Извилистость и диаметр каналов изменяются с меньшей скоростью из-за наличия свободных зон.

В результате эффективный объем пустот начинает падать с меньшей скоростью, чем фактический.

Следует учитывать, что эффективный объем пустот всегда ниже фактического из-за наличия застойных участков при движении газа, обусловленных турбулентными явлениями, газовыми линзами в местах соприкосновения частиц и др.

Выражение (2) подтверждает представленное обоснование первого максимума  $\Psi_{\max}$ . Согласно (2) изначально эквивалентный диаметр трубы (канала)  $D$  имеет большую величину, которая определяется размером крупных гранул и порозностью, сформированного ими слоя.

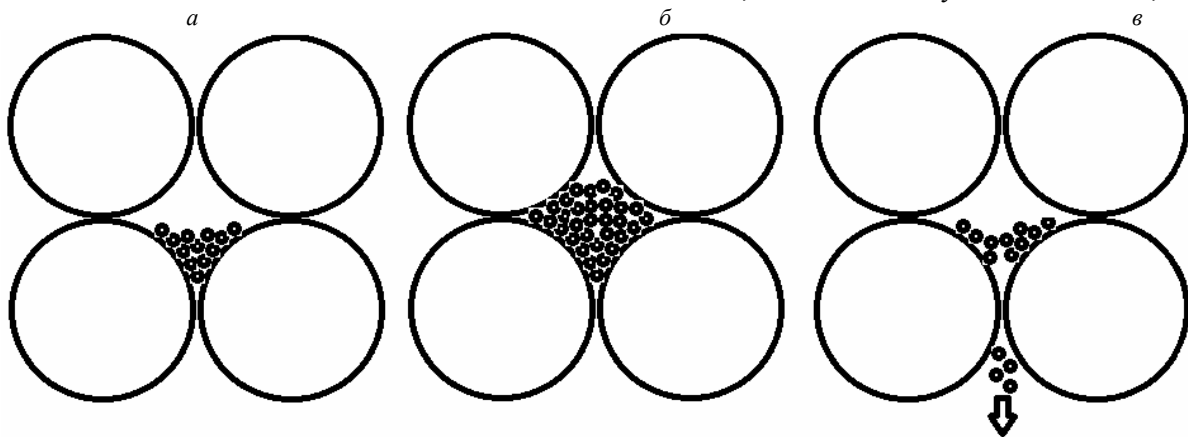
При добавлении мелких фракций диаметр  $D$  канала существенно уменьшается в сравнении с длиной  $L$  и растет извилистость движения газовых потоков.

При этом канал между крупными фракциями расширяющийся, поэтому влияние мелких фракций велико (рис. 3а). Такое влияние сохраняется до тех пор, пока размер канала между крупными частицами начинает уменьшаться (рис. 3б), тогда степень влияния мелких фракций постепенно снижается.

Согласно принятой методике расчета полное заполнение пустот для угла укладки частиц  $\theta=73,74^\circ$  происходит при доле мелкой фракции  $m=0,3$ . В пустоте при этом размещено  $N_m=418$  частиц. Это соответствует минимальной порозности слоя.

Однако минимум коэффициента  $\Psi$  соответствует  $m=0,4$ , поэтому за счет добавления мелких частиц происходит смена угла укладки крупных частиц до  $\theta=90^\circ$  и увеличение объема пустоты в упаковке до  $V_n=475,6 \text{ мм}^3$ .

В этот объем возможно вписать 528 шт. мелких частиц, что соответствует их доле  $m=0,35$ .



**Рис. 3.** Расположение мелких частиц в пустотах между крупными (а и б – при расширяющемся и сужающемся снизу вверх канале, соответственно; в – перенос мелких частиц между крупными при скорости движения газа через слой выше критической)

Несовпадение расчетного минимума коэффициента  $\Psi$  с фактическим связано с небольшим раздвижением крупных частиц, существенно не влияющим на размер сужений каналов.

На основе решения системы уравнений определена порозность слоя крупных частиц 0,53, соответствующая полному заполнению пустоты при содержании мелкой фракции 40 %. Такое значение порозности слоя соответствует кубической упаковке с расстоянием между частицами 0,36 мм.  $V_n=590,4 \text{ мм}^3$ . В этот объем возможно вписать 656 шт. Это соответствует увеличению общей порозности слоя сыпучего материала и снижению извилистости каналов за счет разрыхляющего влияния крупных частиц.

Дальнейшее добавление мелких частиц в слой начинает вытеснять крупные частицы, поэтому коэффициент сопротивления вновь возрастает до второго максимума, который остается почти неизменным или несущественно снижается при полном доминировании мелких фракций.

Незначительное снижение коэффициента сопротивления обусловлено снижением извилистости каналов для монофракционной шихты.

Касательно бифракционной шихты 4-10 мм. Максимум  $\Psi_{\max}$  соответствует содержанию крупной фракции 10 мм  $V_{\Psi,10}=60\%$  и промежуточной 4 мм -  $V_{\Psi,4}=40\%$ . В упаковку частиц диаметром 10 мм при наибольшем угле укладки  $\theta=90^\circ$  (куб) возможно разместить одну гранулу диаметром  $d_{\text{вн}}=4,1$  мм. Это отвечает содержанию  $V_{10}=93,9\%$  и  $V_4=6,1\%$ , не соответствующему  $V_{\Psi,10}$  и  $V_{\Psi,4}$ . Однако максимум  $\Psi$  кубической упаковке проявляется из-за того, что извилистость каналов увеличивается несущественно при формировании такой укладки крупных частиц маловероятно. Образуются укладки с координационным числом меньшим 6, что подтверждается минимумом порозности соответствующему содержанию  $V_{\varepsilon,10}=50\%$  и  $V_{\varepsilon,4}=50\%$  [11].

На рис. 1 показана пунктиром линия АВ максимума коэффициента сопротивления  $\Psi_{\max}$ , соединяющая оси, описывающие бифракционные шихты 1-10 мм и 4-10 мм. Аналогично выше приведенной методике рассчитано, что при наличии промежуточных частиц  $V_{\Psi,4}=40\%$  в слое происходит полное заполнение пустот и раздвигание упаковок крупных фракций. Заполнение пустот составило более 125 %, т.е. подтверждено, что в точке В происходит образование более сложных упаковок, для расчета характеристик которых формула С Лихтера применима путем замены значений диаметров частиц на эквивалентный.

Исходя из условия постоянства степени заполнения пустоты  $k$ , соответствующая первому максимуму  $\Psi_{\max}$ , определена порозность слоя крупных частиц  $\varepsilon=0,66$ . Это отвечает кубической упаковке гранул 10 мм с расстоянием между ними 1,51 мм, т.е. не соприкасающихся между собой. Происходит замещение крупных гранул 10 мм в узлах ромбоэдрической упаковки на меньшие 4 мм.

На основании рис. 1 следует, что в слое бифракционной шихты 1 и 4 мм происходят аналогичные изменения строения слоя и движения газа, как для выше рассмотренной составом 4 и 10 мм.

Формируются упаковки с различным сочетанием гранул 1 и 4 мм. Значение коэффициента сопротивления  $\Psi$  высокое в связи с высокой извилистостью каналов.

Для трехфракционной шихты 1; 4 и 10 мм добавление промежуточной фракции 4 мм до 20 - 30 % за счет крупной мало влияет на величину коэффициента  $\Psi$ .

При ее дальнейшем добавлении в слой, формируются упаковки, в узлах которых гранулы диаметрами 10 и 4 мм, в пустотах которых размещаются частицы 1 мм.

Для лучшего понимания процессов, происходящих в слое агломерационной шихты, необходимо дальнейшее развитие научных представлений строения полифракционного слоя и движения газов в нем.

**Выводы.** Коэффициент газодинамического сопротивления  $\Psi$  формулы Дарси-Вейсбаха имеет сложную зависимость от фракционного состава шихты из-за не цилиндрической формы канала между крупными кусками. Максимальное влияние на изменение коэффициента газодинамического сопротивления оказывает содержание мелкой фракции в слое.

При соотношениях размеров фракций  $d_m/d_k=1/10$  коэффициент  $\Psi$  имеет максимум, соответствующий 20%-му содержанию мелких фракций в слое и половинному заполнению канала до его максимального расширения.

При уменьшении разности в размерах частиц до  $d_m/d_k=1/4$  этот максимум определяется замещением меньшими частицами крупных в узлах упаковки.

### Список литературы

1. **Тарасов В.П.** Теория и технология доменной плавки / **В.П. Тарасов, П.В. Тарасов.** – М.: Интермет Инжиниринг, 2007. – 384 с.
2. **Петрушов С.Н.** Современный агломерационный процесс. Монография / **С.Н. Петрушов.** – Алчевск: ДонГТУ, 2006. – 360 с.
3. **Горшков-Кантакузен В. А.** К вопросу вычисления коэффициента Дарси методом регрессионного анализа // Материалы XXI Международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» имени А. Г. Горшкова, 16 – 20 февраля 2015, Вятчи. — 2015. — № Том 1. — С. 59-60.
4. **Коротич В.И.** Агломерация рудных материалов / **В.И. Коротич, Ю.А. Фролов, Г.Н. Бездежский.** – Екате-

ринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2003. – 400 с.

5. **Тарасов В. П.** Особенности газодинамики зернистого слоя/ В. П. Тарасов, С. В. Кривенко // Сталь: Международный научно-технический и производственный журнал. - 2014. - № 5. – С. 12-16.

6. **Кривенко С. В.** Коэффициент газодинамического сопротивления слоя окомкованной агломерационной шихты/ С. В. Кривенко // Сталь: Международный научно-технический и производственный журнал. - 2013. - № 4. – С. 16-19.

7. **Гольдштик М.А.** Процессы переноса в зернистом слое / М.А. Гольдштик. – Новосибирск, 1984. – 164 с.

8. **Томаш О.А.** Структура зернистого шару і рух газів у доменних печах: автореф. дис. докт. техн. наук : спец. 05.16.02 «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів» / **О.А. Томаш.** – Донецьк, 2004. – 35с.

9. **Лейбензон Л.С.** Движение живостей и газов в пористой среде/ **Л.С. Лейбензон.** – М.-Л.: ОГИЗ. – 1947. – 244 с.

10. **Аэров М.Э.** Гидродинамические и тепловые расчеты аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем / **М.Э. Аэров, О.М. Годес.** – М.: Химия, 1968. - 512 с.

11. Кривенко С. В. Исследование трехфракционного зернистого слоя / **С. В. Кривенко** // Вісник Приазовського державного технічного університету: Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2006. – Вип. 16. – С. 13-16.

12. **Кривенко С. В.** Анализ вариации грансостава сыпучих материалов / **С. В. Кривенко** // Известия вузов. Черная металлургия: Научно-технический и производственный журнал, 010. – № 8. – С. 7-11.

Рукопись поступила в редакцию 14.04.17

УДК 62-54: 621.313-024.67.

О.К. ДАНИЛЕЙКО, ст. викладач, А.С. КУЗЬМЕНКО, ст. викладач,  
Г.В. КОЛОМІЦ, асистент, О.К. КОЛОМІЦ, магістрант  
Криворізький національний університет

## РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ ТА АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ КЕРУВАННЯ КРОКОВИМИ ДВИГУНАМИ

**Мета.** Розробка програмного та апаратного забезпечення для керування КД. Для досягнення поставленої мети потрібно зробити: розглянути основні принципи керування для обраних КД; обрати алгоритм керування для кожного КД; проаналізувати можливості програмованого логічного контролера (ПЛК); розробити для (ПЛК) програму керування відповідним КД.

**Методи дослідження.** При вирішенні задачі використовувались загальні методи обчислювальної техніки, побудови локальних мереж та програмування.

**Наукова новизна.** Розглянуті питання побудови систем автоматики та керування технологічними механізмами з КД. Розроблена оригінальна програма керування КД для ПЛК *ABB ACS500-еСо*.

**Практична значимість.** Сучасний стан цифрової електроніки суттєво поширив область використання крокових двигунів (КД). Вони широко використовуються в пристроях з позиційними системами керування а також в сучасних напрямках техніки, таких як механотроніка, робототехніка.

Поява роботів зі замінною позиційних систем, без зворотних зв'язків з дешевими транзисторними перемикачами, посприяло більш поширеному використанню КД.

**Результати.** Для підготовки фахівців, які мають навички в питаннях побудови та налаштування позиційних систем з КД в ДВНЗ «Криворізький національний університет» в навчовий процес впроваджуються лабораторні роботи з аналізу способів керування КД – для чого створено декілька стендів. Перший стенд побудовано на трифазному уніполярному кроковому двигуні. Комутації обмоток фаз реалізована з використанням програмованого логічного контролера (ПЛК). Другий стенд побудовано на двофазному біполярному кроковому двигуні типу *28BYJ-48*, який завдяки невисокій вартості має широкий спектр застосування. Третій стенд побудовано на двофазному біполярному кроковому двигуні з використанням досить поширеного драйвера *MP8825* на базі контролера *DRV8825*. Відповідно обраним способам керування розроблені алгоритми управління двигунами та створенні відповідні програми. Розглянуті питання сприяють покращенню професійної підготовки студентів, та дозволять їм набути необхідних навичок.

**Ключові слова:** кроковий двигун, контролер, апаратні засоби, стенди.

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами.** Потреби в крокових двигунах стали поштовхом для випуску різноманітних типів крокових двигунів, які мають беззаперечні переваги та малу кількість недоліків, що являє собою недорогу альтернативу позиційному приводу [1].

Систему управління кроковими двигунами достатньо легко оптимізувати під свої потреби, що додатково доводить його універсальність.

Наразі промисловістю випускається КД різних типів, які мають ряд суттєвих переваг:

кут повороту ротора визначається числом імпульсів, що подані на їх систему керування (драйвер);

відсутня необхідність у зворотному зв'язку, а швидкість КД пропорційна частоті вхідних імпульсів;

точне позиціонування та циклічність без накопичення помилок при повороті від кроку до кроку;

можливість отримання наднизьких швидкостей без застосування редуктора;

висока надійність за рахунок відсутності колектору.

До недоліків КД відноситься:

номінальне споживання енергії навіть без навантаження;

можливий пропуск кроку, а отже втрата контролю положення;

ускладнена робота на високих швидкостях внаслідок немиттєвої зміни струму.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Крокові двигуни за конструкцією поділяються на біполярні та уніполярні.

У *біполярних* двигунах кожна фаза має одну обмотку, отже, для зміни напрямку магнітного поля необхідно змінювати полярність напруги живлення. У драйверів такого двигуна необхідно використовувати мостовий перетворювач.

У *уніполярних* двигунах в середині кожної обмотки є вивід, що дозволяє перемиканням половини обмоток змінювати напрямок магнітного поля. Це спрощує схему драйвера, тому що тепер немає необхідності зміни полярності напруги. Достатньо лише використовувати чотири простих перемикача. Іноді уніполярні двигуни мають чотири роздільні обмотки[3].

Виходячи з існуючих двох типів КД – біполярні та уніполярні, розрізняють чотири способи керування:

повнокроковий режим без перекриття фаз;

повнокроковий режим з перекриттям фаз;

напівкроковий режим.;

мікрокроковий режим.

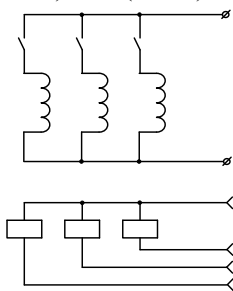
**Постановка задачі.** Для аналізу режимів керування кроковими двигунами було виготовлено три стенди:

стенд з трифазним уніполярним двигуном;

стенд з біполярним двофазним двигуном 28BYJ-48 та драйвером ULN2003;

стенд з біполярним двофазним двигуном та драйвером MP8825.

Викладання матеріалу і результати. *Стенд з трифазним уніполярним двигуном.* Принцип керування найбільш простий. Послідовно комутуються обмотки фаз. Порядок чергування фаз (1-2-3) або (1-3-2) задає напрямок обертання.



**Рис. 1.** Схема керування трифазним уніполярним кроковим двигуном

Ф1, Ф2, Ф3 обмотки двигуна, P1, P2, P3 – проміжні реле, необхідність в яких виникає в зв'язку з різною напругою живлення двигуна та напругою на виходах ПЛК.

В якості ПЛК застосовано програмуємий логічний контролер PLC ABB AC500 eCo.

Контролер програмується за допомогою поширеної системи програмування CoDeSys.

Для керування використані дискретні виходи контролера з номерами 0, 1, 2.

Символічні імена di0, di1, di2 присвоєні наступним дискретним входам – Input 0, Input 1, Input 2, ai0 - аналоговому входу Analog input 0.

Символічні імена do0, do1, do2 присвоєні наступним дискретним виходам Output 0, Output 1, Output 2.

Дискретні входи використані для дозволу роботи двигуна та завдання напрямку його обертання, аналоговий вхід для завдання кількості кроків двигуна, тобто величини кута повороту ротора [2].

Дискретні виходи використані для подачі напруги на проміжні реле, тобто фази двигуна.

```

0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003   a1:BLINK;
0004   s1:CTU;
0005   s2:CTU;
0006   f1:BOOL:=0;
0007   a1:WORD;
0008
0009
0010
0011 END_VAR
0012
0013
0014 a1:=aI0/600;
0015
0016 g1(ENABLE:=f1,TIMELOW:=TWO.IS,TIMEHIGH:=TWO.IS);
0017 g1.OUT;
0018
0019 a1(CV:=g1.OUT);
0020 a2(CV:=g1.OUT);
0021 a1.CV;
0022
0023 IF a1.CV > 2 THEN a1.RESET:=1; ELSE a1.RESET:=0; END_IF;
0024 IF a2.CV > 2 THEN a2.RESET:=1; ELSE a2.RESET:=0; END_IF;
0025 THEN a7.RESET:=1; ELSE a7.RESET:=0; END_IF;
0026 IF a2.CV > 0 OR aI0 THEN f1:=1; ELSE f1:=0; END_IF;
0027
0028
0029 IF dI1=0 THEN
0030   IF a1.CV=0 THEN do0:=1; ELSE do0:=0; END_IF;
0031   IF a1.CV=1 THEN do1:=1; ELSE do1:=0; END_IF;
0032   IF a1.CV=2 THEN do2:=1; ELSE do2:=0; END_IF;
0033 END_IF;
0034
0035 IF dI1 THEN
0036   IF a1.CV=0 THEN do0:=1; ELSE do0:=0; END_IF;
0037   IF a1.CV=1 THEN do1:=1; ELSE do1:=0; END_IF;
0038   IF a1.CV=2 THEN do1:=1; ELSE do1:=0; END_IF;
0039 END_IF;
0040
0041 (* dI0 - розрешення з'єднання - вимкати і сбросити, в протилежний слухав б'єрзачення в кругову
0042   dI1 - дозволити б'єрзачення *)
0043
0044
0045

```

Рис. 2. Структура програми керування

В секції опису змінних створено три екземпляри об'єктів:

g1 - генератор імпульсів; s1, s2 - інкрементні лічильники.

Створені дві змінні:

f1 – логічна змінна, яка використовується в системі керування двигуном; a1 – 16 бітова змінна, яка – для узгодження величини аналогового входу з розподільчою здатністю двигуна (максимальне значення аналогового входу – це один оберт двигуна).

Генератор g1 задає тактові

імпульси для керування (частота обмежена частотними характеристиками виходів ПЛК). За допомогою операторів *IF* реалізована логіка керування двигуном для прямого та зворотного напрямку обертання.

Лічильник s2 підраховує кількість зроблених кроків. Кількість кроків задається напругою на аналоговому вході aI0.



Рис. 3. Зовнішній вигляд стану для керування трифазним уніполярним кроковим двигуном

Стенд з двофазним біполярним двигуном з об'єднаною середньою точкою. Стенд розроблено для керування кроковим біполярним двигуном 28BYJ-48, зовнішній вигляд та схема з'єднання обмоток якого наведена на рис. 4.

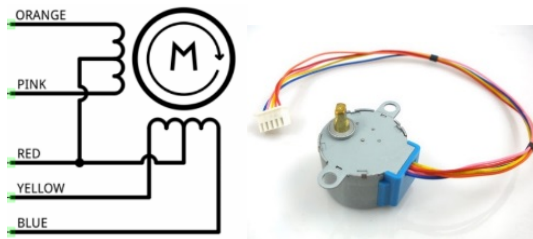


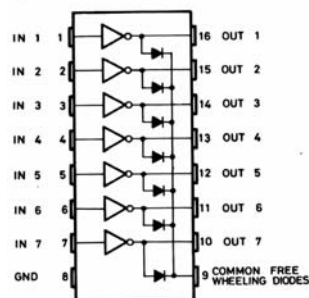
Рис. 4. Зовнішній вигляд та схема з'єднання обмоток крокового двигуна 28BYJ-48

Двигун оснащений редуктором з коефіцієнтом передачі 1/64.

Для керування двигуном використовується драйвер *ULN2003*, внутрішня схема якого наведена на рис. 5.

Драйвер являє собою звичайний дарлінгтонівський підсилювач та використовується для узгодження по рівням напруги та потужності двигуна та виходів ПЛК

Рис. 5. Внутрішня схема драйвера *ULN2003*



У зв'язку з тим, що у двигуна з'єднані середні точки напівобмоток для керування використовується напівкрокова послідовність керування, при якій одночасно під струмом знаходяться дві обмотки [4].

На входи *IN1*, *IN2*, *IN3*, *IN4* подаються сигнали з відповідних виходів ПЛК.

В якості ПЛК застосовано запрограмований логічний контролер *PLC ABB AC500 eCo*.

Рис.6. Схема керування двигуном



Для керування двигуном обрані дискретні входи з номерами 0, 1, 2, 3, дискретні виходи з номерами 0, 1, 2, 3 та аналоговий вхід з номером 0.

Вхід di0 використано для дозволу роботи, di1, di2 - завдання напрямку обертання, di3 - скидання. Аналоговий вхід - завдання куту повороту двигуна [5].

Дискретні виходи використовуються для подачі напруги на фази двигуна.

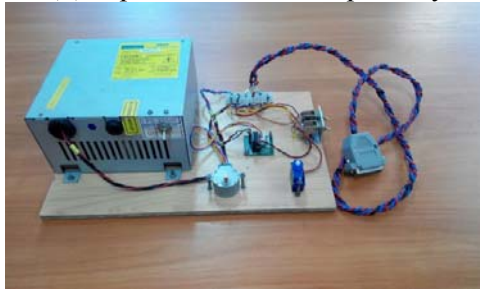
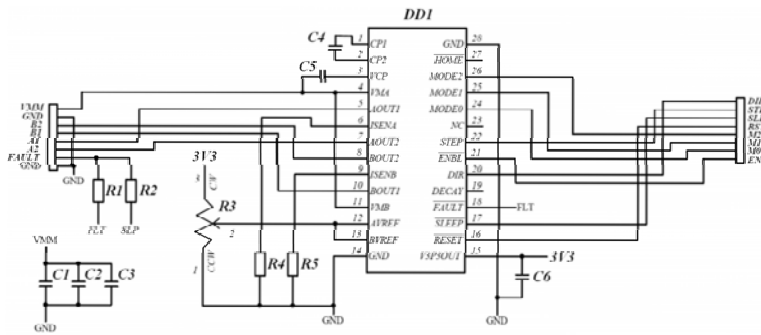


Рис. 7. Зовнішній вигляд стенду для керування кроковим двигуном 28BYJ-48

Стенд для довільного двофазного біполярного двигуна. Як було розглянуто вище, для керування кроковим двигуном у мікрокроковому режимі використовується ШІМ модуляція напруги. Такий режим має вагомні переваги о яких вже було сказано [7]. Для керування кроковим двигуном у мікрокроковому режимі було використано досить поширений драйвер MP8825.

Рис. 8. Схема драйверу MP8825 (DD1 – контролер DRV8825)



Призначення вхідних виводів наведено в табл. 1.

Зрозуміло, що такий спосіб керування вимагає можливості використання ШІМ. В контролері DRV8825 реалізовано повно керований транзисторний міст [11].

Таблиця 1

Призначення вхідних виводів	
Вхідні виводи	Призначення
EN	Дозвіл роботи
DIR	Напрямок обертання
STP	Дозвіл одного кроку
SLP	Сплячий режим
RST	Скидання
M2	Вибір кроку
M1	Вибір кроку
M0	Вибір кроку

Призначення вихідних виводів наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Призначення вихідних виводів	
Вихідні виводи	Призначення
VMM	Живлення
GND	Земля
B2	Обмотка B двигуна
B1	Обмотка B двигуна
A2	Обмотка A двигуна
A1	Обмотка A двигуна
FAULT	Несправність

Входи M0, M1, M2 дозволяють реалізувати мікро кроковий режим керування двигуном. Залежність кроку від значень входів M0, M1, M2 наведено в табл. 3.

Залежність величини кроку від значень  $M0$ ,  $M1$ ,  $M2$ 

Крок	$M2$	$M1$	$M0$
1	0	0	0
1/2	0	0	1
1/4	0	1	0
1/8	0	1	1
1/16	1	0	0
1/32	1	0	1
1/32	1	1	0
1/32	1	1	1

Для стенду був використаний двох фазний кроковий двигун з стандартною схемою підключення до драйвера.

Призначення входів ПЛК *ABB AC500 eCo*:

input 0 - дозвіл роботи двигуна;

input 1-  $M0$ ;

input 2-  $M1$ ;

input 3-  $M2$ ;

input 5- напрямок обертання;

```

0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003   b1:BOOL;
0004   (*tt:TOF;*)
0005   ct:CTU;
0006   s1:BOOL;
0007   s2:BOOL;
0008   f:BOOL:=0;
0009   n:WORD;
0010   st1:BOOL;
0011
0012
0013
0014
0015
0016
0017 END_VAR
0018
0019
0020
0021
0022
0023
0024
0025
0026
0027
0028
0029
0030
0031
0032
0033
0034
0035
0036
0037
0038
0039
0040
0041
0042
0043
0044
0045
0046
0047
0048
0049
0050
0051
0052
0053
0054
0055
0056
0057
0058
0059
0060
0061
0062
0063
0064
0065
0066
0067
0068
0069
0070
0071
0072
0073
0074
0075
0076
0077
0078
0079
0080
0081
0082
0083
0084
0085
0086
0087
0088
0089
0090
0091
0092
0093
0094
0095
0096
0097
0098
0099
0100
0101
0102
0103
0104
0105
0106
0107
0108
0109
0110
0111
0112
0113
0114
0115
0116
0117
0118
0119
0120
0121
0122
0123
0124
0125
0126
0127
0128
0129
0130
0131
0132
0133
0134
0135
0136
0137
0138
0139
0140
0141
0142
0143
0144
0145
0146
0147
0148
0149
0150
0151
0152
0153
0154
0155
0156
0157
0158
0159
0160
0161
0162
0163
0164
0165
0166
0167
0168
0169
0170
0171
0172
0173
0174
0175
0176
0177
0178
0179
0180
0181
0182
0183
0184
0185
0186
0187
0188
0189
0190
0191
0192
0193
0194
0195
0196
0197
0198
0199
0200
0201
0202
0203
0204
0205
0206
0207
0208
0209
0210
0211
0212
0213
0214
0215
0216
0217
0218
0219
0220
0221
0222
0223
0224
0225
0226
0227
0228
0229
0230
0231
0232
0233
0234
0235
0236
0237
0238
0239
0240
0241
0242
0243
0244
0245
0246
0247
0248
0249
0250
0251
0252
0253
0254
0255
0256
0257
0258
0259
0260
0261
0262
0263
0264
0265
0266
0267
0268
0269
0270
0271
0272
0273
0274
0275
0276
0277
0278
0279
0280
0281
0282
0283
0284
0285
0286
0287
0288
0289
0290
0291
0292
0293
0294
0295
0296
0297
0298
0299
0300
0301
0302
0303
0304
0305
0306
0307
0308
0309
0310
0311
0312
0313
0314
0315
0316
0317
0318
0319
0320
0321
0322
0323
0324
0325
0326
0327
0328
0329
0330
0331
0332
0333
0334
0335
0336
0337
0338
0339
0340
0341
0342
0343
0344
0345
0346
0347
0348
0349
0350
0351
0352
0353
0354
0355
0356
0357
0358
0359
0360
0361
0362
0363
0364
0365
0366
0367
0368
0369
0370
0371
0372
0373
0374
0375
0376
0377
0378
0379
0380
0381
0382
0383
0384
0385
0386
0387
0388
0389
0390
0391
0392
0393
0394
0395
0396
0397
0398
0399
0400
0401
0402
0403
0404
0405
0406
0407
0408
0409
0410
0411
0412
0413
0414
0415
0416
0417
0418
0419
0420
0421
0422
0423
0424
0425
0426
0427
0428
0429
0430
0431
0432
0433
0434
0435
0436
0437
0438
0439
0440
0441
0442
0443
0444
0445
0446
0447
0448
0449
0450
0451
0452
0453
0454
0455
0456
0457
0458
0459
0460
0461
0462
0463
0464
0465
0466
0467
0468
0469
0470
0471
0472
0473
0474
0475
0476
0477
0478
0479
0480
0481
0482
0483
0484
0485
0486
0487
0488
0489
0490
0491
0492
0493
0494
0495
0496
0497
0498
0499
0500
0501
0502
0503
0504
0505
0506
0507
0508
0509
0510
0511
0512
0513
0514
0515
0516
0517
0518
0519
0520
0521
0522
0523
0524
0525
0526
0527
0528
0529
0530
0531
0532
0533
0534
0535
0536
0537
0538
0539
0540
0541
0542
0543
0544
0545
0546
0547
0548
0549
0550
0551
0552
0553
0554
0555
0556
0557
0558
0559
0560
0561
0562
0563
0564
0565
0566
0567
0568
0569
0570
0571
0572
0573
0574
0575
0576
0577
0578
0579
0580
0581
0582
0583
0584
0585
0586
0587
0588
0589
0590
0591
0592
0593
0594
0595
0596
0597
0598
0599
0600
0601
0602
0603
0604
0605
0606
0607
0608
0609
0610
0611
0612
0613
0614
0615
0616
0617
0618
0619
0620
0621
0622
0623
0624
0625
0626
0627
0628
0629
0630
0631
0632
0633
0634
0635
0636
0637
0638
0639
0640
0641
0642
0643
0644
0645
0646
0647
0648
0649
0650
0651
0652
0653
0654
0655
0656
0657
0658
0659
0660
0661
0662
0663
0664
0665
0666
0667
0668
0669
0670
0671
0672
0673
0674
0675
0676
0677
0678
0679
0680
0681
0682
0683
0684
0685
0686
0687
0688
0689
0690
0691
0692
0693
0694
0695
0696
0697
0698
0699
0700
0701
0702
0703
0704
0705
0706
0707
0708
0709
0710
0711
0712
0713
0714
0715
0716
0717
0718
0719
0720
0721
0722
0723
0724
0725
0726
0727
0728
0729
0730
0731
0732
0733
0734
0735
0736
0737
0738
0739
0740
0741
0742
0743
0744
0745
0746
0747
0748
0749
0750
0751
0752
0753
0754
0755
0756
0757
0758
0759
0760
0761
0762
0763
0764
0765
0766
0767
0768
0769
0770
0771
0772
0773
0774
0775
0776
0777
0778
0779
0780
0781
0782
0783
0784
0785
0786
0787
0788
0789
0790
0791
0792
0793
0794
0795
0796
0797
0798
0799
0800
0801
0802
0803
0804
0805
0806
0807
0808
0809
0810
0811
0812
0813
0814
0815
0816
0817
0818
0819
0820
0821
0822
0823
0824
0825
0826
0827
0828
0829
0830
0831
0832
0833
0834
0835
0836
0837
0838
0839
0840
0841
0842
0843
0844
0845
0846
0847
0848
0849
0850
0851
0852
0853
0854
0855
0856
0857
0858
0859
0860
0861
0862
0863
0864
0865
0866
0867
0868
0869
0870
0871
0872
0873
0874
0875
0876
0877
0878
0879
0880
0881
0882
0883
0884
0885
0886
0887
0888
0889
0890
0891
0892
0893
0894
0895
0896
0897
0898
0899
0900
0901
0902
0903
0904
0905
0906
0907
0908
0909
0910
0911
0912
0913
0914
0915
0916
0917
0918
0919
0920
0921
0922
0923
0924
0925
0926
0927
0928
0929
0930
0931
0932
0933
0934
0935
0936
0937
0938
0939
0940
0941
0942
0943
0944
0945
0946
0947
0948
0949
0950
0951
0952
0953
0954
0955
0956
0957
0958
0959
0960
0961
0962
0963
0964
0965
0966
0967
0968
0969
0970
0971
0972
0973
0974
0975
0976
0977
0978
0979
0980
0981
0982
0983
0984
0985
0986
0987
0988
0989
0990
0991
0992
0993
0994
0995
0996
0997
0998
0999

```

analog input 0 –кількість заданих кроків.

**Рис. 9.** Структурна програма керування

В секції опису змінних створено два екземпляри об'єктів:

$b1$  - генератор імпульсів;

$ct$  - інкрементний лічильник.

Створені наступні змінні:

$f, s1, s2, st1$  – логічні змінні, які використовуються в системі керування двигуном;

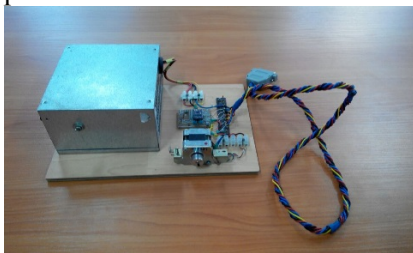
$n$  – 16 бітова змінна, яка використовується для узгодження величини аналогового входу з розподільчою здатністю двигуна (максимальне значення аналогового входу – це один оберт двигуна).

Імпульси з генератора  $b1$  передаються в інверсному вигляді на вхід драйвера *STP*, тобто по кожному імпульсу формується завдання на один крок.

Ці ж імпульси подаються на вхід лічильника  $ct$ . Вихід лічильника порівнюється з заданою кількістю кроків. Після

досягнення заданого значення генератор зупиняється.

Змінюючи значення  $M0, M1, M2$ , можливо змінити кут повороту двигуна у відповідне число разів.



**Рис. 10.** Зовнішній вигляд стенду для керування кроковим двигуном з драйвером *MP8825*

Відповідно обраним способам керування розроблені алгоритми управління двигунами та створенні відповідні програми [9].

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Розглянуті питання сприяють покращенню професійної підготовки студентів, та дозволяють їм набути необхідних навичок.

### Список літератури

1. **Емельянов А.В.** Шаговые двигатели: учеб. пособие/ А.В. Емельянов, А.Н. Шилин/ВолгГТУ. - Волгоград, 2005. - 48 с.

2. **Tony R. Kuphaldt.** Lessons In Electric Circuits, Volume II – AC, Sixth Edition, 2007. - 561 с.
3. **Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С.** Электрические машины и микромашины: Учеб. для электротехн. спец. вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1990. - 528 с.
4. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями. Подобр. ред. **М.Г. Чиликина.** М., «Энергия», 1971. - 624 с.
5. **Ion Boldea.** Electric drives. — Lexington, KY, USA — 2005, - 549 с.
6. **Чиликин М.Г., Сандлер А.С.** Общий курс электропривода: Учебник для вузов. - 6-е изд., доп. и перераб. - М.: Энергоиздат, 1981. - 576 с.
7. Теория электропривода, ч.1: учебное пособие / Сост.: А.Б. **Зеленов** – Алчевск, ДонГТУ, 2005. – 382 с.
8. LM2675 SIMPLE SWITCHER Power Converter High Efficiency 1A Step-Down Voltage Regulator, Texas Instruments Inc., Rev. June 2005
9. L293, L293D PUSH-PULL FOUR CHANNEL DRIVER WITH DIODES STMicroelectronics, July 2003.
10. **Rentyuk Vladimir** «Control stepper motors in both directions» EDN March 18, 2010.
11. **Кенио Такаши.** Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления: Пер. с англ., М.: Энергоатомиздат, 1987 – 199 с.
12. **Белов М.П., Новіков В.А., Розсудів Л. Н.** Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів і технологічних комплексів. - 3-е изд., Испр .. - М.: Видавничий центр "Академія", 2007.
13. Мала гірнича енциклопедія. В 3-х т. / За ред. **В. С. Білецького.** — Донецьк: Донбас, 2004.

Рукопись поступила в редакцию 14.04.17

УДК 621.316.001.57

М.Л. БАРАНОВСЬКА, канд. техн. наук, доц., А.С. КУЗЬМЕНКО, старший викладач  
Криворізький національний університет

## АНАЛІЗ ТЕОРІЙ РІВНІВ ПЕРЕНАПРУГ ПРИ ЗАМИКАННІ ФАЗИ НА ЗЕМЛЮ ТА ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ НА ФІЗИЧНІЙ МОДЕЛІ

**Мета.** Метою даної роботи є виконання аналізу теорій і механізмів розвитку перенапруг при однофазних дугових замиканнях на землю (ОДЗ). Проаналізовано відомі теорії перенапруги Петерсена, Петерса і Слепяна, Белякова. Однофазні замикання на землю (ОЗЗ), що виникають у розподільчих мережах 6-10 кВ з ізолюваною нейтраллю, є переважним видом uszkodжень і складають більше 75% від загального числа uszkodжень. Перенапруги, що виникають при ОЗЗ, знижують електричну міцність ізоляції живильних кабелів, приводять до їхнього пробоя та руйнування, багатомісним uszkodженням, подвійним замиканням на землю, дво- і трифазним коротким замиканням. Це пов'язано з відмовами в роботі електрообладнання, тривалими простоями технологічного устаткування, додатковими витратами на його відновлення та, в кінцевому рахунку, до зменшення продуктивності підприємства.

**Методи.** При виконанні теоретичних досліджень прийнято метод математичного моделювання розподільчих мереж напругою 6-10 кВ з ізолюваною нейтраллю при ОЗЗ. Розроблено і вдосконалено математичні моделі розподільчих мереж та обґрунтовано основні і малозначимі параметри, що впливають на перенапруги при замиканні фази на землю. При виконанні експериментальних досліджень прийнято метод замикання на землю однієї з штучно пошкоджених фаз зразка кар'єрного кабелю. Вимірювались навантажувальні параметри: рівні напруг в фазах, нейтралі і струм в пошкодженій фазі.

**Наукова новизна.** Докладно вивчено питання теорії дуги, зроблено висновок про те, що на розвиток перехідних процесів при ОЗЗ впливають умови виникнення дуги, середовище, в якому вона горить, швидкість зміни струму при переході через нуль, індуктивність фази мережі  $L$ , ємності фаз відносно землі  $C$  та величина опору кола замикання на землю. При ОЗЗ величина опору кола замикання на землю змінюється в широких межах.

**Практична значимість.** Розглянуто залежність рівнів перенапруг від величини опору кола замикання на землю. Виконано дослідження рівнів перенапруг, що виникають в розподільчих мережах 6-10 кВ з ізолюваною нейтраллю, на фізичній моделі.

**Результати.** З результатів експеримента видно, що комплексне використання в розподільчій мережі струмообмежувального резистора в нейтралі і нелінійних обмежувачів перенапруг (ОПН) дозволило знизити перенапруги до нормованих значень в межах 1,7-1,8 від номінальної напруги.

**Ключові слова:** розподільча мережа, дуга, однофазні замикання на землю (ОЗЗ), опір кола замикання на землю, рівень перенапруг, нелінійний обмежувач перенапруг (ОПН).

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Однофазні замикання на землю (ОЗЗ) в розподільчих мережах 6-10 кВ - переважний вид uszkodжень, який становить понад 75 % від загального числа uszkodжень. ОЗЗ представляють значну небезпеку для людей, установок і розподільчих мереж. При дугових замиканнях на землю (ОДЗ) виникають перенап-

руги, які можуть бути причиною пошкоджень ізоляції мереж, електрообладнання та подвійних замикань на землю. Високі рівні перенапруг при ОЗЗ викликані повторним запалюванням дуги, які можна виключити шляхом гасіння дуги (відключенням місця пошкодження) або компенсацією ємнісного струму.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Перенапругам при дугових замиканнях на землю присвячена велика кількість робіт. Основоположником теорії перенапруг був Петерсен, який в 1916 р. пояснив фізичну сутність процесу виникнення перенапруг. Петерс і Слепян в 1923 р запропонували теорію перенапруг, відмінну від теорії Петерсена [1]. У 1957 р. Беляков М.М. запропонував теорію виникнення перенапруг при дугових замиканнях на землю, яка займає проміжне положення між теоріями Петерсена та Петерса і Слепяна [2-4].

**Постановка задачі.** Провести теоретичні дослідження рівнів перенапруг за основними відомими теоріями. Використовуючи твердження про те, що на рівні перенапруг значно впливає величина опору кола замикання на землю та параметри мережі, шляхом експериментів перекопати в виникненні перенапруг та оцінити їх рівні. Використовуючи в якості обмежувача перенапруг ОПН-КР/TEL-6 знизити рівні перенапруг при ОЗЗ до нормованих значень - 1,7-1,8 номінальної фазної напруги.

**Викладення матеріалу та результати.** Сутність вище вказаних теорій і механізми розвитку перенапруг полягає в наступному.

*За теорією Петерсена [1]:*

горіння дуги триває півперіоду вільних коливань;

значення кутової частоти вільних коливань при горінні дуги  $\omega_k = 1/\sqrt{3LC}$  ( $C$  - ємність фази щодо землі,  $L$  - індуктивність розсіювання трансформаторів живлення);

при першому проходженні струму коливань через нуль дуга згасає;

значення частоти при відновленні  $\omega_g = 1/\sqrt{LC}$ ;

повторне запалювання дуги настає через півперіоду промислової частоти при максимальній напрузі на пошкодженій фазі;

час горіння дуги при кожному повторному запалюванні дорівнює напівперіоду вільних коливань;

після кожного гасіння дуги зростає напруга зсуву нейтралі;

відновлення напруги на пошкодженій фазі має коливальний характер з піком, що перевищує величину фазної напруги;

діелектрична міцність місця пошкодження наростає швидше, ніж величина напруги, що відновлюється;

з урахуванням обмежуючого впливу міжфазних ємностей і загасання коливань рівні перенапруги досягають  $U_{\max} = 3,6U_{\phi}$ .

*За теорією Петерса і Слепяна [1]:*

горіння дуги триває до переходу через нуль струму промислової частоти;

гасіння дуги відбувається без перехідного процесу, тобто, відсутні піки відновленої напруги;

після кожного гасіння дуги напруга зсуву нейтралі залишається постійною і рівною  $U_{\phi}$ ;

повторні запалювання дуги відбуваються регулярно через кожен період при максимальній напрузі на пошкодженій фазі;

тривалість горіння дуги при кожному повторному запалюванні дорівнює напівперіоду промислової частоти;

відновлення напруги на пошкодженій фазі після гасіння дуги відбувається плавно з промисловою частотою;

перенапруги на «здорових» фазах не перевищують значень  $(3,0 \dots 3,1)U_{\phi}$ .

*За теорією Белякова [1]:*

гасіння дуги відбувається при кожному проходженні струму через нуль;

повторне запалювання дуги відбувається через малу частку періоду власних коливань при малих напругах відновлення ( $U_{кр} = 0,37U_{\phi}$  для мережі 6 кВ і  $U_{кр} = 0,22U_{\phi}$  для мережі 10 кВ);

гасіння дуги на тривалий час має місце в тих випадках, коли високочастотний максимум напруги, що відновлюється, досить малий і стає менше величини діелектричної міцності ізоляції в місці ушкодження за час відновлення;

максимально можливі перенапруги з урахуванням загасання і міжфазних ємностей дорівнюють  $3,2U_{\phi}$ .

Надалі ці теорії корегувалися різними авторами на підставі даних теоретичних, лабораторних і експериментальних досліджень. Експерименти, проведені в мережах і лабораторних умовах [5], показали, що в дійсності ОЗЗ не протікають в чистому вигляді відповідно до якої-небудь однієї з існуючих теорій, що дуга може загасати як при першому або наступних переходах через нуль високочастотного струму, так і при переході через нуль струму промислової частоти.

За даними автоматичної реєстрації перенапруг в діючих кар'єрних мережах 6 кВ [6, 7] в одному циклі запалювання-гасіння дуги, крім часто повторюваних одиничних коливань, спостерігаються також коливання з двох, трьох і чотирьох напівхвиль.

Для аналізу перенапруг, що виникають при дугових замиканнях на землю, використовуються різні моделі. У зазначених моделях при оцінці перенапруг враховують найбільш очевидні параметри: ємності фаз відносно землі  $C$ ; ємності між фазами  $C_m$ ; індуктивності розсіювання трансформаторів живлення  $L$ ; активні опори ізоляції мереж  $R_{\text{із}}$  та ін.

У роботі [1] досліджено вплив опору кола замикання на землю на перехідні процеси при ОДЗ, який складається з опору дуги  $R_d$  та опору шляху зворотного струму в оболонках кабелів (або в землі)  $R_0$ . Опір дуги в процесі горіння змінюється нелінійно і залежить від струму  $R_d = f(i_d)$ . Практично опір в дузі зменшується дуже швидко до усталеного значення, що дозволяє розглядати перехідний процес в мережі з опором  $R$ , рівним сумі усталеного опору дуги і опору кола замикання на землю.

Таким чином, дуга є комутатором і замикає фазу на землю через усталений опір  $R$ . У [8] наведено інтегральний розподіл опорів в місці замикання в мережах залізничних кар'єрів, з якого випливає, що ймовірність виникнення ОЗЗ через різні опори неоднакова. Найбільша вірогідність виникнення ОЗЗ з перехідним опором 0-200 Ом. В [9] проводилося експериментальне вимірювання опору каналів дуги при пробоях або перекритті ізоляції. При цьому встановлені залежності між опором дуги і ємністю мережі та зроблено висновок про те, що в характері протікання перехідного процесу визначним фактором є величина значення активного опору в колі ОЗЗ. Опір в колі ОЗЗ обумовлює загасання амплітуд струмів і напруг пошкоджених і непошкоджених фаз, а також визначає повноту замикання фази на землю [1].

Час горіння дуги може бути різним. Вільно палаючі у відкритій атмосфері розтягнуті дуги горять тривалий час і гасіння відбувається тільки тоді, коли дуга під впливом теплових потоків повітря або вітру досягне критичної довжини. Закриті не розтягнуті дуги горять у вузьких каналах, що призводить до виникнення ударних тисків і поздовжньо-поперечного обдування дуги, що, в свою чергу, призводить до примусового обриву струму. З цього випливає, що час одного циклу горіння-гасіння може бути різним при одних і тих же параметрах мережі [9].

Процес гасіння дуги починається раніше переходу струму замикання через нуль - з того моменту, коли напруга на дуговому проміжку стає менше напруги, при якій можливе стійке горіння дуги. Основною умовою гасіння дуги є порушення балансу в електричній дузі між енергією, споживаною з мережі, і енергією, що віддається в навколишнє середовище. Вільно палаюча відкрита дуга [1] обривається при нульовому значенні струму промислової частоти, в зв'язку з чим відновлення напруги на пошкодженій фазі відбувається плавно від нульового значення.

Механізм повторного запалювання дуги при ОЗЗ полягає в наступному: після гасіння дуги відновлюється діелектрична міцність дугового проміжку і одночасно відновлюється напруга на пошкодженій фазі. Повторне запалювання дуги залежить від співвідношення між швидкостями відновлення електричної міцності дугового проміжку і напруги на ньому. Якщо провідність дугового проміжку наростає швидше, ніж напруга на ньому, то замикання самоусувається; якщо повільніше - то відбувається повторне запалювання. Для відкритих ємнісних дуг повторне запалювання відбувається через малу частку періоду власних коливань [1]. Оскільки швидкість наростання відновленої напруги значно перевищує швидкість відновлення процесів електричної міцності проміжку, то пробій відбувається задовго до досягнення відновленою напругою свого першого максимуму. Горіння дуги в кабелях і пазах електричних машин характеризується більш низьким і стабільним значенням, яке змінюється в процесі горіння, однак це відноситься до «розігрітого» каналу дуги в кабелі, тобто, при значному часі горіння дуги. При моде-

люванні перехідних процесів дослідниками приймалися напруги в межах  $(0,4-2,5)U_{\phi}$ , при яких відбувалися повторні запалювання дуги.

Число замикань, що самоусуваються, значно перевищує число стійких замикань [5]. Частота чергування самоусунених замикань залежить від причини, що їх спричинила. При локальному зниженні електричної міцності ізоляції час чергування замикань становить 5,6-17 хв. [5]; початок появи замикань передуге повному пробую за 40-50 хв. при часі загального зниження електричної міцності ізоляції протягом десятків-сотень хвилин. З викладеного випливає, що при переході самоусунених ОЗЗ до стійких постійно знижується електрична міцність дугового проміжку при відновленні напруги на ньому. Настає такий момент, коли електрична міцність проміжку порівнюється з максимальною напругою відновлення та знижується по мірі розігріву каналу при наступних запалюваннях дуги.

За результатами реєстрації в діючих мережах рівні перенапруг при ОЗЗ в окремих випадках досягають значень, що перевищують чотирикратну величину [9-12, 16-18]. У мережах з малими струмами замикання, в яких існує велика кількістю самоусунених ОЗЗ, перенапруги виявляються вищими, ніж в мережах з великими струмами [3]. В мережах напругою 6-10 кВ досить часто спостерігаються випадки, коли заземлювальна дуга горить стійко при струмах замикання на землю менше 5 А. Високі рівні перенапруг при ОДЗ викликані повторним запалюванням дуги.

Напруга в ушкодженій фазі при ОЗЗ змінюється за законом [13-15]

$$u(t) = \varphi_{\infty} \sin(\omega t + \psi_{\infty}) + A_1 e^{pt} + A_2 e^{\delta t} \sin(\omega_k t + \nu). \quad (1)$$

Значення амплітуд  $A_1, A_2$  залежать від  $R_*$  і визначаються за виразами [13-15]

$$A_1 = \frac{\varphi_0'' - 2\delta\varphi_0' + \omega_0^2\varphi_0}{\omega_0^2}; \quad (2)$$

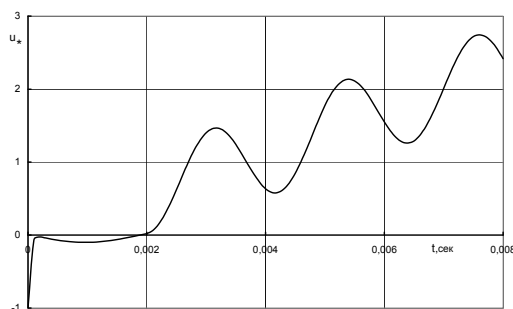
$$A_2 = \frac{-\varphi_0 p \delta + 2\delta\varphi_0' - \varphi_0''}{\omega_0^2 \sin \nu}; \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \nu = \frac{2\delta\varphi_0' - p\delta\varphi_0 - \varphi_0''}{\omega_0(p\varphi_0 + \varphi_0')}; \quad (4)$$

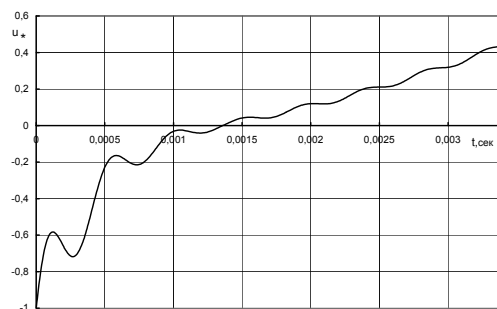
де  $\varphi_0, \varphi_0', \varphi_0''$  - значення вільних величин та їхніх похідних для відповідних потенціалів до моменту відновлення.

Залежно від величини опору  $R_*$  перехідні процеси можуть протікати з одним або декількома високочастотними переходами струму ОЗЗ через нуль за час півперіоду мережі  $T_0/2$ .

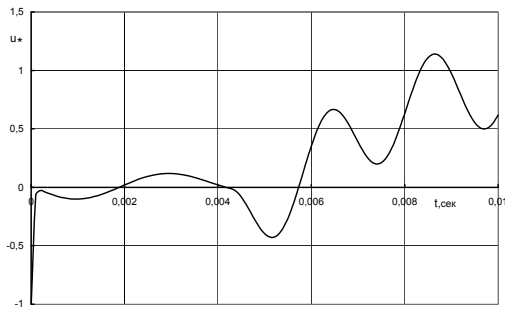
Графіки процесу горіння дуги і відновлення напруги на пошкодженій фазі показані на рис. 1.



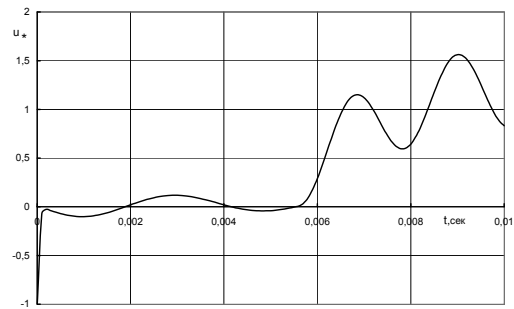
а - відновлення після першого переходу струму ОЗЗ через нуль



б - відновлення після першого переходу струму ОЗЗ через нуль



а - відновлення після другого переходу струму ОЗЗ через нуль



б - відновлення після третього переходу струму ОЗЗ через нуль

Рис. 1. Графіки процесу горіння дуги і відновлення напруги на пошкодженій фазі

Розрахункові рівні перенапруг максимальні при  $R_* \rightarrow 0$  і складають: в випереджальній фазі при горінні дуги -  $4,56U_\phi$ , в випереджальній фазі в процесі відновлення -  $4,89U_\phi$ , в пошкодженій фазі в процесі відновлення -  $5,87U_\phi$ . Отримані розрахункові рівні перенапруг є максимальними [13-15].

Дослідження, проведені на математичній моделі [13-15], показали, що після 3-5 циклів горіння-відновлення зростання перенапруг припиняється і кумулятивний ефект зникає при значеннях опору кола замикання на землю  $R_* = \sqrt{3}/2$ . Якщо дуга при першому переході струму ОЗЗ через нуль не гасне, а горить тривалий час, то до моменту гасіння при деякому n-му переході перехідний процес загасає швидше і рівні перенапруг при малих  $R_*$  будуть нижче. Автори провели експериментальні дослідження перенапруг на фізичній моделі. При виконанні експериментальних досліджень в мережі 6 кВ при ОЗЗ використано цифровий осцилограф RECON з відповідними погоджувальними пристроями, що дозволяють реєструвати напругу в фазах і струм в пошкодженій фазі.

Основним методом при випробуваннях прийнято метод замикання на землю однієї з штучно пошкодженої фази зразка кар'єрного кабелю живлення типу КРГ довжиною до 400 мм і контролю навантажувальних параметрів: рівнів напруг в фазах, нейтралі і струму в пошкодженій фазі при змінах індуктивності і ємності в колі, які імітують реальний характер навантаження.

У програму випробувань входили досліди:

замикання фази С на землю через повітря за допомогою заземлювальної штанги і контроль напруги в фазах, нейтралі і струму в пошкодженій фазі (масштаби вимірюваних величин встановлювали за допомогою узгоджувальних пристроїв);

наступні досліди № 2, 3 виконувалися при включеному в нейтраль резисторі опором 200 Ом і фазної ємності відповідно 3,7 мкФ (дослід № 2), 2,25 мкФ (дослід № 3). Дослід №4 виконувався при додатковому включенні в кожну фазу нелінійного обмежувача перенапруг ОПН типу КР/ТЕЛ-6/6,0 УХЛ 1.

При виконанні дослідів контролювали: перенапруги в пошкодженій, випереджаючій, відстаючій фазах і в нейтралі по відношенню до номінальних значень, а також стум в пошкодженій фазі. Крім того, реєстрували час горіння дуги, інтервали повторного запалювання дуги при різних параметрах розподільчої мережі і засобів обмеження перенапруг в перехідних режимах.

При горінні дуги через повітря (дослід №1) рівень перенапруг знаходиться в межах 2,4-2,8 фазної напруги. Це обумовлено параметрами випробуваної мережі і відсутністю в ній обмежувачів засобів. Ємність фази мережі в цьому випадку прийнята 1,6 мкФ.

У дослідях № 2, 3 в коло нейтралі включений струмообмежуючий резистор опором 150 Ом, при якому знизився струм в пошкодженій фазі в 1,7-2,4 рази відповідно при зміні ємності фази з 1,6 до 3,7 мкФ. Час горіння дуги становив 2-3,5 мс і зростав зі збільшенням ємності фази. При зазначених змінах ємності повторні запалювання дуги після її гасіння виникали через 8-19 мс, максимальний час до повторного запалювання був при варіанті горіння дуги в повітрі.

Результати експериментальних досліджень наведені на осцилограмах рис.2.

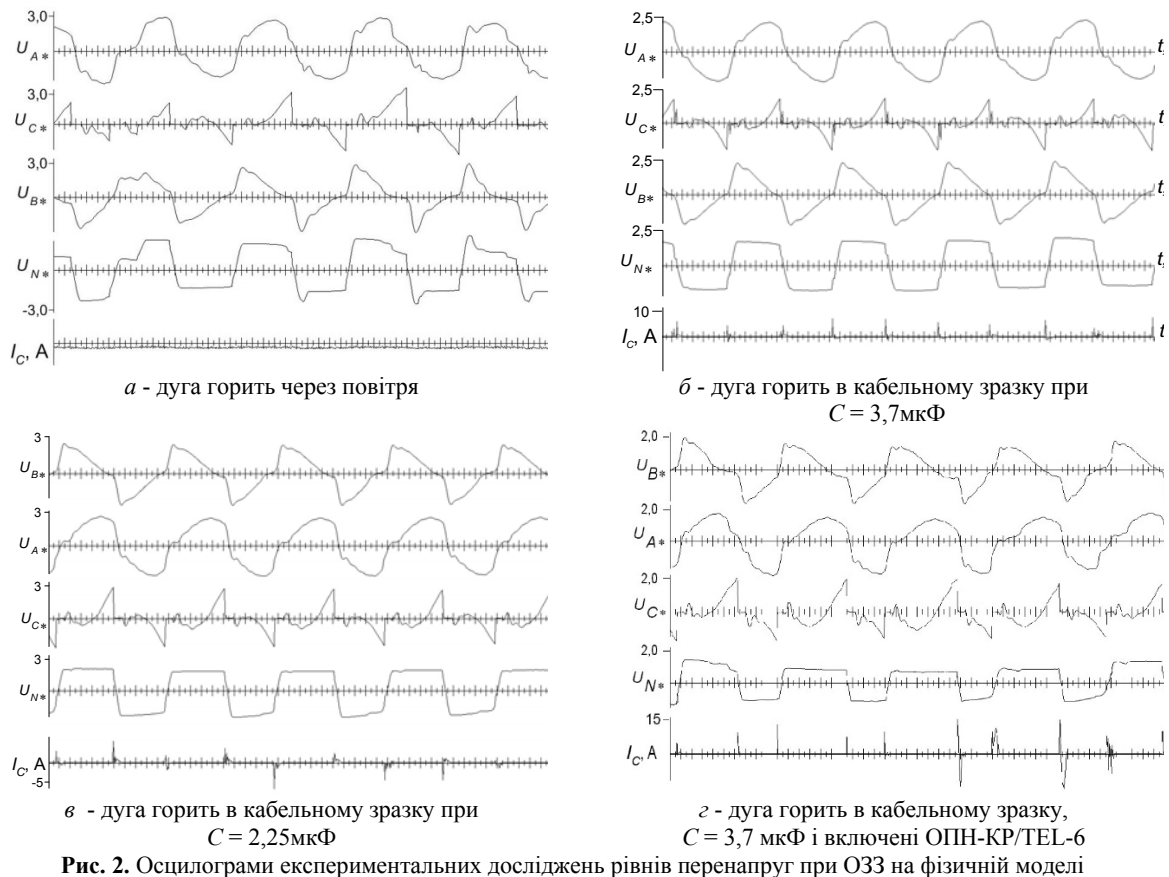


Рис. 2. Осцилограми експериментальних досліджень рівнів перенапруг при ОЗЗ на фізичній моделі

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Виходячи з факту, що час переходу від струмів замикання до струмів пробою становить мікросекунди, дугу, що перемежається, можна розглядати як комутатор, який замикає пошкоджену фазу на землю через опір, величина якого дорівнює установленому значенню опору кола замикання на землю.

При ОЗЗ величина опору кола замикання на землю змінюється в широких межах.

На процес гасіння дуги впливають численні фактори, обумовлені середовищем, в якому горить дуга, і швидкістю зміни струму при переході його через нульове значення.

На процес відновлення напруги на пошкодженій фазі впливає передісторія горіння дуги. Вона визначає характер перехідного процесу при горінні дуги; момент початку її руйнування; тривалість проміжку часу, при якому неможливе стійке горіння дуги до переходу струму через нуль; тривалість проміжку часу при відновленні напруги до критичної величини, при якій відбувається повторне запалювання.

Максимальні значення рівнів перенапруг при ОЗЗ виникають при малих значеннях опору кола замикання на землю і повторному запалюванні дуги в процесі її горіння та відновленні напруги на пошкодженій фазі.

Експериментальні дослідження показали, що комплексне використання струмообмежувального резистора в нейтралі та нелінійних обмежувачів перенапруг дозволило знизити рівні перенапруг до нормованих значень, що лежать в межах  $(1,7-1,8)U_{\phi}$ .

#### Список літератури

1. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. - М.: Энергия, 1971. - 152 с.
2. Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжения в электрических системах. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 464 с.
3. Зархи И.М., Мешков В.Н., Халилов Ф.Х. Внутренние перенапряжения в сетях 6 - 35 кВ. - Л.: Наука, 1986. - 128с.
4. Техника высоких напряжений. Под ред. М.В. Костенко. - М.: Высшая школа, 1973. - 464 с.
5. Беляков Н.Н. Исследование перенапряжений при дуговых замыканиях на землю в сетях 6 и 10 кВ с изолированной нейтралью // Электричество. -1957. -№5. - С. 31-36.

6. **Самойлович И.С.** Защита от перенапряжений мобильных электроустановок карьеров. - М.: Недра, 1980. - 160 с.
7. **Самойлович И.С.** Защита от перенапряжений электроустановок открытых горных работ. - М.: Недра, 1992. - 128 с.
8. **Самойлович И.С.** К оценке переходных сопротивлений при однофазных замыканиях на землю в сетях 6-10 кВ // Проблемы технической электродинамики. - 1972. - вып.37. - С. 55-60.
9. **Щуцкий В.И., Жидков В.О., Ильин Ю.Н.** Защитное шунтирование однофазных повреждений электроустановок. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 152 с.
10. **Дергилев М.П., Обабков В.К.** К вопросу о перенапряжениях в сетях 6-10 кВ горных предприятий // Промышленная энергетика. - 1992. - №6. - С. 46-48.
11. **Дударев Л.Е., Волошек И.В.** Особенности дуговых замыканий на землю в сетях с нейтралью, заземленной через резистор // Электричество. - 1993. - №8. - С. 26-31.
12. **Халилов Ф.Х.** Анализ характера внутренних перенапряжений в сетях 35 кВ // Промышленная энергетика. - 1972. - №11. - С.38-40.
13. **Барановская М.Л., Тытюк В.К.** Математическое моделирование переходных процессов при ОЗЗ в распределительных сетях 6-35 кВ // ДВНЗ «Криворізький національний університет», Гірничий вісник. – Кривий Ріг. - 2014. - № 98 – С.174-178.
14. **Барановская М.Л., Кузьменко А.С.** Анализ математических моделей распределительных сетей при ОЗЗ // ДВНЗ «Криворізький національний університет», Гірничий вісник. – Кривий Ріг. - 2015. - № 99. - С. -133-139.
15. **М. Baranovskaya, Tytyuk V., Nevzlin B., Zagirnyak V.** Branched circuit of 6 kV operation with insulated neutral under phase-to-earth fault // Електромеханічні і енергозберігаючі системи Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського. - Кременчук, 2015. - № 1(29). - С. 67-73.
16. Distribution - class arresters offers strength, durability. - Transmiss. and Distrib., 1984. - №7. - P.60.
17. **Niebuhr W.D.** Metal - oxide - varistor surge arrestors : Technology and application concepts. CIREN, 1983; 7th Int. Conf. Elec. Distrib., Liege, 25-29 Apr., 1983. Pt 1. Liege, 1983. - P. 13/1 - 13/6.
18. **Walsh Gorge W.A.** review of lightning protection and grounding practices. - TEEE Trans. Ind. Appl., 1979. -P. 133-138.

Рукопись поступила в редакцию 14.04.17

УДК 622.271.33

**А.В. БОЛОТНИКОВ**, канд. техн. наук, член.-корр. Академии горных наук Украины  
Коллективное предприятие «Академический дом»  
**А.А. РОМАНЕНКО**, начальник службы движения,  
ЧАО «Центральный горнообогатительный комбинат»

## АНАЛИЗ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ

**Цель.** Целью данной работы является анализ литературных источников на предмет имеющихся мировых практик оценки устойчивости бортов карьеров и естественных откосов. Рассмотрение теории предельного равновесия сыпучей среды и вариантов ее применения при определении предельной или за предельной степени устойчивости массива горных пород. Понятие коэффициента запаса устойчивости и коэффициента надежности откоса.

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач применен комплексный метод исследований, который включал: анализ научной литературы по рассматриваемым вопросам, систематизацию и классификацию исходной информации. Факторный анализ расчетных методов, оценка учета факторов при определении коэффициента запаса устойчивости, коэффициента надежности массива горных пород. Методы математического анализа, Методы механики грунтов и твердого деформируемого тела для аналитического описания процессов разрушения горных пород.

**Научная новизна.** Решение поставленной задачи позволяет на основании систематизации и классификации математических и графоаналитических методов оценки устойчивости бортов карьеров в виде коэффициента запаса устойчивости или коэффициента надежности, выявить факторы имеющие достаточную степень влияния (вес) на устойчивость откосов, однако слабо учитываемые в использующихся в настоящий момент методах.

**Практическое значение.** Железорудная и металлургическая отрасли являются одними из ведущих в промышленности Украины. В связи с развитием открытой добычи полезных ископаемых карьерами с одновременным обеспечением безопасных и экономически эффективных, обеспечивающих оптимальный режим горных работ, углов наклона бортов является одной из наиболее важных научно-практических задач в области открытой разработки полезных ископаемых. Особенно актуальны данные вопросы в регионе Криворожского железорудного бассейна.

**Результаты.** В настоящий момент разработано более 100 методов расчета запаса устойчивости породных откосов, обзор и анализ наиболее известных из них показывает, что большинство методов базируется на теории Кулона-Мора и в качестве исходных данных при расчетах используют прочностные характеристики горных пород такие как сцепление и угол внутреннего трения.

Существующие методы определения прочностных свойств горных пород не позволяют учесть при расчетах устойчивости комплекс природных и техногенных факторов, влияющих на устойчивость бортов карьеров, таких как трещиноватость массива, подработка подземными горными работами, воздействие массовых взрывов и кривизна бортов в плане. Наиболее целесообразно для повышения надежности оценки устойчивости бортов карьеров использовать теорию районирования для учета природных и техногенных факторов.

**Ключевые слова.** Устойчивость бортов карьера. Коэффициент запаса устойчивости. Борт карьера. Коэффициент надежности. Метод алгебраического сложения сил. Метод Феллениус/Петтерсона, Метод Спенсера.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Добыча железорудного сырья – одна из наиболее прибыльных отраслей промышленности, на которой удерживается экономика Украины. В связи с этим успешное развитие карьеров и их углубка является одной из наиболее важных задач, которые стоят перед производственниками и учеными, задействованными в проектировании, обеспечении безопасности и эксплуатации объектов, ведущих открытую добычу полезных ископаемых. Особенно актуальны данные вопросы в регионе Криворожского железорудного бассейна, поскольку в данном регионе расположены одни из наиболее глубоких карьеров мира, фактические глубины которых уже на данном этапе разработки составляют в среднем 400-450 м, а проектные 600 и более.

Отработка глубоких карьеров подразумевает возрастание рисков, связанных с устойчивостью бортов, по мере их углубки. В связи с этим возникает проблема определения оптимальных параметров бортов, для обеспечения непрерывной, безопасной и экономически обоснованной отработки месторождений полезных ископаемых открытым способом.

**Анализ исследований и публикаций.** К первому методу расчета устойчивости откосов можно отнести метод расчета по плоской поверхности скольжения предложенный в 1820г. Г. Франсе [1, 2, 5, 6]. В 1857 году, Ренкин рассмотрел предельное равновесие бесконечного массива, ограниченного наклонной плоскостью, ввел понятие о поверхности скольжения и вывел, на его основе условия прочности Кулона, основные уравнения теории давления земельных масс.

Дальнейшее развитие теория предельного равновесия и основы методов расчета устойчивости породных откосов нашли свое отражение в работах Ф. Кеттера, Ресалья, Фронтарда, Л. Прандаля, Т. Кармана, А. Како, В.В. Соколовского. [2, 3, 6, 7, 10]

**Постановка задачи.** Систематизация и анализ отечественных и мировых практики расчета устойчивости бортов карьеров, позволит выполнить анализ достоинств и недостатков, выбрать направление дальнейших исследований.

**Изложение материала и результаты.** Рассмотрим наиболее известные инженерные методы расчета устойчивости породных откосов, которые нашли свое применение в теории и практике.

При определении теоретического значения коэффициента запаса устойчивости породных откосов, в отечественной практике реально используются две группы методов:

методы алгебраического суммирования сил по криволинейной (круглоцилиндрической) поверхности сдвижения;

различные модификации метода многоугольника сил.

Рассмотрим эти две группы методов подробнее.

*Метод алгебраического суммирования сил по круглоцилиндрической поверхности скольжения.*

Данный метод разработан Г.Л. Фисенко. [2, 4, 8, 12, 13, 14] Согласно теоретических основ метода, массив, ограниченный поверхностью откоса и круглоцилиндрической поверхностью сдвижения (призма возможного сдвижения), разбивается на вертикальные блоки, для каждого из которых находятся удерживающие и сдвигающие силы, которые впоследствии суммируются для всех блоков по поверхности сдвижения, отношение суммы удерживающих сил к сдвигающим определяет коэффициент запаса устойчивости.

Расчеты производятся для нескольких возможных поверхностей сдвижения. Поверхность сдвижения, по которой значение коэффициент запаса устойчивости будет иметь минимальное значение считается наиболее опасной поверхностью сдвижения, а минимальное значение коэффициента запаса устойчивости принимается как значение запаса устойчивости рассматриваемого откоса.

Выбор конкретной расчетной схемы зависит от принятой формы вероятной поверхности сдвижения (круглоцилиндрическая, эллиптическая, спиральная и т.д.), метода суммирования поверхностных и объемных сил, которые действуют по вероятной поверхности сдвижения, формы поверхности породных откосов (выпуклая, вогнутая, прямолинейная).

Математический аппарат, применяемый в этой группе методов, относительно легко формализуется, что позволило создать многочисленные пакеты прикладных программ для определения величины коэффициента запаса устойчивости.

Для построения поверхности скольжения институтом ВНИМИ разработаны ряд правил, которые формализованы в виде выражений. [2, 5, 12, 14]

Широкое применение метода проф. Г.Л.Фисенко для расчетов устойчивости уступов, бортов карьеров и отвалов обусловлено его относительной простотой и достоверностью получаемых результатов.

Вместе с тем методы этой группы не лишены и ряда существенных недостатков, основным из которых является трудности учета в данной расчетной схеме реальной структуры, блочности, систем трещиноватости и поверхностей ослабления, которые существуют в реальных скальных и полускальных породных массивах.

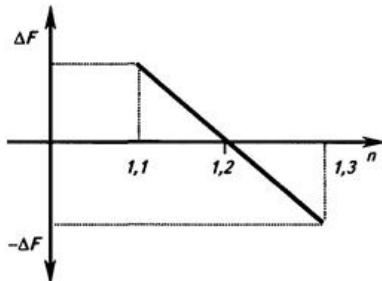
*Метод многоугольника сил.* Наиболее универсальным для оценки устойчивости бортов и откосов в реальных горно-геологических условиях является метод многоугольника сил, учитывающий реакции между блоками, на которые по определенным признакам разбивается призма возможного обрушения [2, 3, 8, 12].

При расчете методом многоугольника сил точность расчета зависит от расположения границ между смежными блоками и от направления реакции между ними. Достаточная точность расчетов достигается, когда границы между блоками принимают подобно расположению второго семейства поверхностей скольжения при расчете методом предельно напряженного состояния, т.е. под углом  $(90^\circ - \varphi)$  к первому семейству поверхностей скольжения.

Для откоса, находящегося в предельном устойчивом состоянии с заданным коэффициентом запаса, многоугольник сил, построенный по наиболее напряженной поверхности скольжения для всей призмы возможного обрушения, должен замыкаться. Это означает, что его устойчивость обеспечивается с коэффициентом запаса, близким к введенному в прочностные характеристики пород.

Если при расчете многоугольник сил не замыкается, т.е. существует невязка сил  $\Delta F$ , то устойчивость откоса не соответствует принятому коэффициенту запаса. Для определения коэффициента запаса устойчивости откоса в этом случае необходимо повторить расчет по наиболее напряженной поверхности скольжения при других значениях коэффициентов запаса, введенных в прочностные характеристики. Это позволит построить график зависимости невязок  $\Delta F$  от коэффициентов запаса  $n$  (рис. 1) и получить искомый коэффициент запаса.

Рис. 1. График зависимости  $\Delta F = f(n)$



В зарубежной практике так же, как и в отечественной основные используемые на практике методы оценки устойчивости откосов можно разделить на методы расчета по круглоцилиндрической поверхности скольжения, например, методы Феллениус/Петтерсона, Бишопа, и методы расчета по многоугольной (полигональной) поверхности скольжения, такие методы как – метод Спенсера, ITF. [1, 9, 10, 11]

Рассмотрим кратко наиболее известные из зарубежных методов расчетов устойчивости откосов.

*Методы группы круглоцилиндрической поверхности скольжения.*

Обобщив основные принципы и допущения, использующиеся в методах рассматриваемой группы отмечается, что все методы допускают, что массив грунта над поверхностью скольжения делится на блоки (разделяющие плоскости между блоками всегда вертикальны). Силы, действующие на отдельные блоки, представлены на рис. 2.

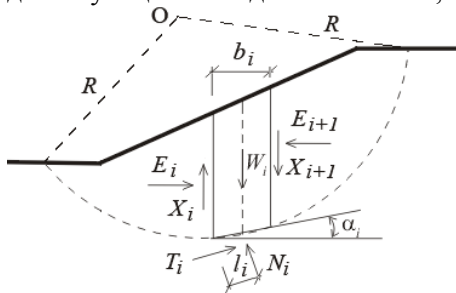


Рис. 2. Типовая схема к расчетам устойчивости методами круглоцилиндрической поверхности скольжения  $E_i, X_i$  - нормальная и касательная силы между отдельными блоками.  $N_i, T_i$  - нормальная и касательная силы на отдельных сегментах поверхности скольжения.  $W_i$  - вес отдельных блоков

В методе Феллениус/Петтерсона допускается только общее уравнение момента равновесия, записанное в отношении к центру поверхности скольжения. Нормальная и касательная силы между блоками  $X_i$  и  $E_i$  не учитываются. Коэффициент надежности  $FS$  рассчитывается напрямую из выражения[9]

$$FS = \frac{1}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot \sum_i [c_i \cdot l_i + (N_i - u_i \cdot l_i) \cdot \tan \varphi_i] \quad (1)$$

где,  $u_i$  - пластовое давление в блоке,  $c_i$ ,  $\varphi_i$  - прочностные характеристики пород,  $W_i$  вес блока,  $N_i$  - нормальная сила на сегменте поверхности скольжения,  $\alpha_i$  - угол наклона сегмента поверхности скольжения,  $l_i$  - длина сегмента поверхности скольжения.

Метод Бишопа также не учитывает  $X_i$  силы между блоками. Метод основывается на удовлетворении уравнения момента равновесия и уравнения вертикальной силы уравнения.

Коэффициент надежности  $FS$  определяется через [10]

$$FS = \frac{1}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot \sum_i \frac{c_i \cdot b_i + (W_i - u_i \cdot b_i) \cdot \tan \varphi_i}{\cos \alpha_i + \frac{\tan \varphi_i \cdot \sin \alpha_i}{FS_{req}}} \quad (2)$$

где,  $u_i$  - пластовое давление в блоке,  $c_i$ ,  $\varphi_i$  - прочностные характеристики пород,  $W_i$  - вес блока,  $\alpha_i$  - угол наклона сегмента поверхности скольжения,  $b_i$  - длина сегмента поверхности скольжения.

*Методы расчета по многоугольной (полигооанальной) поверхности скольжения.*

Одним из наиболее известных методов данной группы является метод Спенсера. Рассматриваемый метод является общим методом, разработанным на основе предельного равновесия. Он требует удовлетворения равновесия сил и моментов, действующих на отдельные блоки. Блоки создаются путем деления участка грунта над потенциальной поверхностью скольжения плоскостями [11]. Силы, действующие на отдельные блоки, представлены на рис. 3.

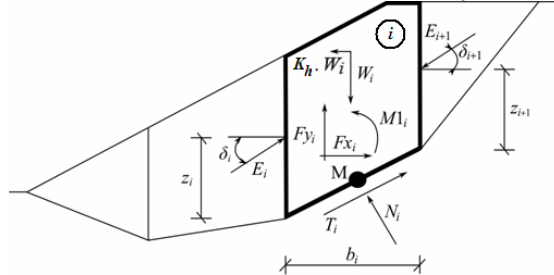


Рис. 3. схема к расчету устойчивости по методу Спенсера

Предполагается, что каждый блок испытывает следующие усилия:  $W_i$  - вес блока, в т.ч. воздействие коэффициента сейсмичности;  $K_h \cdot W_i$  - горизонтальная инерционная сила, представляющая действие сейсмике,  $K_h$  - коэффициент горизонтального ускорения во времени;  $N_i$  - нормальная сила на поверхности скольжения;  $T_i$  - касательная сила на поверхности скольжения;  $E_i, E_{i+1}$  - силы, приложенные соседними блоками, они наклонены от горизонтальной поверхности на угол  $\delta$ ;  $Fx_i, Fy_i$  - другие горизонтальные и вертикальные силы, действующие на блок;  $Ml_i$  - момент сил  $Fx_i, Fy_i$ , вращающихся вокруг точки  $M$ , которая является центром  $i$ -ого сегмента поверхности скольжения;  $U_i$  - равнодействующая пластового давления на  $i$ -ом сегменте поверхности скольжения.

Для расчета предельного равновесия сил и моментов на отдельных блоках по методу Спенсера используются следующие допущения:

- разделяющие плоскости между блоками всегда вертикальны;
- линия действия веса блока  $W_i$  проходит через центр  $i$ -ого сегмента поверхности скольжения, представленного точкой  $M$ ;
- стандартная сила  $N_i$  действует в центре  $i$ -ого сегмента поверхности скольжения, в точке  $M$ ;
- наклонение сил  $E_i$ , действующих между блоками, является постоянной величиной для всех блоков и равно  $\delta$ , только на крайних точках поверхности скольжения  $\delta = 0$ ;

Решение принимает вид следующих выражений

$$N_i = N'_i + U_i \quad (3)$$

$$T_i = (N_i - U_i) \cdot \tan \varphi_i + c_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} = N'_i \tan \varphi_i + c_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} \quad (4)$$

$$N'_i + U_i - W_i \cos \alpha_i + k_h W_i \sin \alpha_i + Fy_i \cos \alpha_i - Fx_i \sin \alpha_i + \sum_{i+1} \sin(\alpha_i - \delta_{i+1}) - E_i \sin(\alpha_i - \delta_i) = 0 \quad (5)$$

$$N'_i \frac{\tan \varphi_i}{FS} + \frac{c_i}{FS} \cdot \frac{b_i}{\cos \alpha_i} - W_i \sin \alpha_i - k_h W_i \cos \alpha_i + Fy_i \sin \alpha_i + Fx_i \cos \alpha_i - E_{i+1} \cos(\alpha_i - \delta_{i+1}) + E_i \cos(\alpha_i - \delta_i) = 0 \quad (6)$$

$$E_{i+1} \cos \delta_{i+1} \left( z_{i+1} - \frac{b_i}{2} \tan \alpha_i \right) - E_{i+1} \sin \delta_{i+1} \frac{b_i}{2} - E_i \cos \delta_i \left( z_i - \frac{b_i}{2} \tan \alpha_i \right) - E_{i+1} \sin \delta_{i+1} \frac{b_i}{2} + M_1 - k_n W_i (y_M - y_{gi}) = 0 \quad (7)$$

Уравнение (3) представляет отношение между действительным и общим значением нормальной силы, действующей на поверхность скольжения. Уравнение (4) соответствует условию Мора-Кулона, представляющего отношение между нормальной и касательной силами на данном сегменте поверхности скольжения. Уравнение (5) представляет уравнение равновесия силы в направлении под прямым углом к  $i$ -му сегменту поверхности скольжения. Уравнение (6) представляет силу равновесия вдоль  $i$ -го сегмента поверхности скольжения.  $FS$ - коэффициент надежности, который используется для приведения параметров прочностных свойств пород. Уравнение (7) соответствует уравнению момента равновесия вокруг точки  $M$ , где  $y_{gi}$  - вертикальная координата точки приложения веса блока, а  $y_M$  - вертикальная координата точки  $M$ .

Изменяя уравнения (5) и (6), получаем рекурсивную формулу.

На основе отношения можно для  $\delta$  и  $FS$  постепенно вычислить все силы  $E_i$  между блоками, исходя при этом из факта, что в начале поверхности скольжения значение  $E$  известно:  $E_1 = 0$ .

Из уравнения момента равновесия выводится дополнительная рекурсивная формула [11]

$$z_{i+1} = \frac{\frac{b_i}{2} \left[ E_{i+1} (\sin \delta_{i+1} - \cos \delta \cdot \tan \alpha_i) + E_i \cdot (\sin \delta_i - \cos \delta_i \cdot \tan \alpha_i) + E_i \cdot z_i \cdot \cos \delta_i - M_i + K_n W_i (y_M - y_{gi}) \right]}{E_{i+1} \cdot \cos \delta_{i+1}} \quad (8)$$

Эта формула позволяет рассчитать для данных значений  $\delta$  все плечи  $z$  сил, действующих между блоками, зная значение слева в начале поверхности скольжения, где  $z_1 = 0$ .

Коэффициент надежности  $SF$  определяется при помощи следующего итерационного процесса [11]:

Начальное значение  $\delta$  устанавливается равным 0,  $\delta = 0$ .

Коэффициент надежности  $FS$  для данного значения  $\delta$  следует из уравнения (1), при этом допускается значение  $E_{n+1} = 0$  в конце поверхности скольжения.

Значение  $\delta$  рассчитывается уравнением (9) с помощью значений  $E$ , определенных на предыдущем этапе при условии, что момент на последнем блоке равен 0. Уравнение (9) не определяет значение  $z_{n+1}$ , поскольку оно равно 0. Для этого значения должно выполняться уравнение момента равновесия (7).

Этапы 2 и 3 повторяются до тех пор, пока значение  $\delta$  не измениться.

В общем можно сказать, что методы расчета по многоугольной (полигональной) поверхности скольжения более сложные и труднее подвергаются конвергенции чем более простые методы (Феллиниус/Петтерсона, Бишопа). Проблемы с конвергенцией возникают, например, на участках поверхности скольжения повышенной крутизны, сложной геометрии, при резком увеличении пригрузки и т.п.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Анализ литературных источников показывает, что базовой теорией в области оценки устойчивости бортов карьеров является теория предельного равновесия, базирующаяся на представлении о прочности горных пород.

В настоящий момент разработано более 100 методов расчета запаса устойчивости породных откосов, обзор и анализ наиболее известных из них показывает, что большинство методов базируется на теории Кулона-Мора и в качестве исходных данных при расчетах используют прочностные характеристики горных пород такие как сцепление и угол внутреннего трения. В современной практике на Украине в качестве нормативных методов расчета рекомендованы метод алгебраического сложения сил и многоугольника сил.

Существующие методы определения прочностных свойств горных пород не позволяют учесть при расчетах устойчивости комплекс природных и техногенных факторов, влияющих на устойчивость бортов карьеров, таких как трещиноватость массива, подработка подземными горными работами, воздействие массовых взрывов и кривизна бортов в плане.

Наиболее целесообразно для повышения надежности оценки устойчивости бортов карьеров использовать теорию районирования для учета природных и техногенных факторов.

## Список литературы

1. Теоретические основы инженерной геологии. Механико-математические основы // под. редакцией академика **Е.М. Сергеева** // М. «Недра» - 1986 г.
2. **Фисенко Г.Л.** Устойчивость бортов карьеров и отвалов. - М.: Недра, 1965.-375 с.
3. **Гальперин А.М.** Геомеханика открытых горных работ. – М.: Издательство МГГУ, 2003. – 473с
4. **Несмашный Е.А.** Оптимизация параметров открытых горных выработок. – Кривой Рог: Минерал, 1999. - 118 с.
5. **Галустьян Э.Л.** Геомеханика открытых горных работ. –М: Недра, 1992. -272 с.
6. **Попов И.И., Шпаков П.С., Поклад Г.Г.** Устойчивость породных отвалов. Алма-Ата: Наука КазССР, 1987. 224 с.
7. **Хуан Я. Х.** устойчивость земляных откосов / Пер. с англ. В.С. Забавина; Под ред. **В.Г. Мельника**. – М.: Стройиздат, 1988. – 240 с.
8. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. // Под ред. проф. **Г.Л. Фисенко** // - Л.: ВНИМИ, 1972. - 166 с.
9. **Petterson KE** (1955) The early history of circular sliding surfaces. Geotechnique 5:275-296.
10. **Bishop, A.W.** (1955) "The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes", Geotechnique, Great Britain, Vol. 5, No. 1, Mar., pp. 7-17
11. **Spencer, E.** 1967. A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces. Géotechnique, 17(1): 11-26
12. Методичні вказівки з визначення оптимальних кутів нахилу бортів, укосів уступів і відвалів залізрудних та флюсових кар'єрів // Під ред. проф. **А.Г. Шапаря** // -К: - 2009. – 201 с.
13. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. // Под ред. проф. **Г.Л. Фисенко** // – Л.: ВНИМИ, 1971.- 187с.
14. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. // Под ред. проф. **Г.Л. Фисенко** // Л.: ВНИМИ, 1987- 118 с
15. **Казикаев Д.М.** Геомеханические процессы при совместной и повторной разработке руд. – М.:Недра, 1981.- С. 288.

Рукопись поступила в редакцию 14.04.17

УДК 656.61

О.П. КОРНІЄНКО, канд. економ. наук, доц., К.А. КОШАРА, спеціаліст економ. наук  
Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв

## ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ МОРСЬКИХ ПОРТІВ УКРАЇНИ

**Мета.** Метою дослідження є розробка теоретичних і організаційно-методичних положень щодо трансформації управління підприємствами портової діяльності країни шляхом виявлення найбільш ефективної політики підвищення конкурентоспроможності морських портів України та створення диференційованого підходу до кожного порту зокрема.

**Методи дослідження.** Теоретичну основу дослідження складають сукупність методів, прийомів і принципів наукового дослідження, системний підхід та розгорнутий аналіз наукових робіт з вивченням нормативної бази.

**Наукова новизна** одержаних результатів роботи полягає в систематизації та уточненні відомих та обґрунтуванні нових положень, які становлять теоретичну і організаційно-методичну основу процесу підвищення конкурентоспроможності портів з використанням диференційованого підходу до кожного окремо взятого порту, на основі запровадження кластерної структури в приморських районах.

**Практична значимість** полягає в доведенні основних теоретичних розробок дослідження до рівня практичних рекомендацій, прийнятих до впровадження рядом підприємств портової галузі.

**Результати.** Ідея розвитку кластерної структури в приморських районах як можливість підвищення конкурентоспроможності та досконалого функціонування портів, яка дозволить максимізувати ефективність роботи порту.

**Ключові слова:** морські порти, стратегія розвитку, конкурентоспроможність, морські кластери.

**Основний матеріал.** Морський транспортний комплекс є багатофункціональною структурою, що задовольняє потреби національної економіки у транспортному забезпеченні. Морські порти є складовою частиною транспортної і виробничої інфраструктури держави з огляду на їх розташування на напрямках міжнародних транспортних коридорів. Від ефективності функціонування морських портів, рівня їх технологічного та технічного оснащення, відповідності системи управління та розвитку інфраструктури сучасним міжнародним вимогам залежить конкурентоспроможність вітчизняного транспортного комплексу на світовому ринку.

Забезпечення високого рівня конкурентоспроможності вітчизняних портів – важливе завдання сучасного етапу життєздатності всієї транспортної системи України. Більш того, з метою збереження економічного суверенітету, забезпечення стабільного зростання необхідно створити та підтримувати функціонування конкурентного й прозорого ринкового середовища, яке стимулюватиме ефективне функціонування морських портів та зміцнить їх потенціал. Тобто орієнтація на оптимально функціонуючий транспорт повинна розглядатися як важливий фактор сталого економічного розвитку, а відхилення від найкращих значень як індикатор додаткового резерву для зростання. Безумовно, визначення національних економічних інтересів має першорядне значення, тому зважена їх реалізація є одним із головних завдань розвитку нашої держави. Але для того, щоб розвиватися незалежно, і в той же час на основі партнерства і співробітництва, є необхідним значне посилення позицій через поєднання інтересів усіх суб'єктів господарювання, зміцнення довіри до інституцій вітчизняного транспорту задіяних сторін.

Однак, це далеко не усі з перешкод на шляху до ефективності, основні стримуючі фактори слід пов'язувати з цілою низкою проблем, найважливіші з яких полягають у виборі форми та механізму управління, ступеня втручання держави у процес взаємодії контрагентів, існування відверто корупційних схем практично на усіх етапах взаємодії сторін, відсутність прозорого, зрозумілого механізму здійснення транспортних операцій тощо. Тобто побудова довгострокової стратегії розвитку порту - це багатокритеріальна задача з впливом багатьох внутрішніх і зовнішніх факторів, яка має будуватися не лише із врахуванням потенційних можливостей самого порту, а, нажал, у першу чергу, займатися питаннями запобігання зловживаннями на місцях, оскільки саме такі дії зводять нанівець майже усі свідомо прораховані та виважені підходи.

Наявність висококонкурентних ринків транспортних послуг виключає можливість директивного визначення та опрацювання вищенаведених питань, за умови існування на цих ринках та отримання позитивного результату в довгостроковому періоді, тому важливо проведення

кардинальної перебудови господарської діяльності в портовій галузі країни, що є питанням настільки комплексним й складним, наскільки і сучасним та затребуваним.

Перший важливий крок на шляху до реформування портової галузі відбувся, коли було прийнято Закон України «Про морські порти України», який набрав чинності 13.06.2013 р [4]. Основною метою прийняття Закону було вирішення проблем, які стали перепоною на шляху до налагодження інвестиційної діяльності відносно морських портів в Україні. Головним завданням, яке мав вирішити Закон, є поліпшення інвестиційної привабливості морських портів. Однією зі значущих проблем портової галузі є застарілість та зношеність основних виробничих фондів морських портів, що призводить до часткового використання потенційних можливостей морських портів, зменшення вантажопотоків та інших негативних наслідків.

Оскільки вирішити вказану проблему за рахунок приватних інвестицій у зв'язку з незадовільним рівнем інвестування у порти, було не можливо, а державне інвестування у морські порти забезпечувалось на неналежному рівні, необхідним елементом реформування портової галузі став комплекс заходів щодо залучення інвестицій у розвиток портів. Також, причиною незадовільного рівня вкладення інвестицій стали певні нюанси функціонування вітчизняних морських портів. Неодноразово через відсутність чітко прописаних в нормативних документах правил вигідної взаємодії за схемою держава - приватний інвестор між ними виникали конфліктні ситуації, які призводили до втрати значних інвестицій в українські морські порти. Зацікавленість як українських, так і іноземних інвесторів в інвестуванні в морські порти поступово зменшувалась необхідно було приймати заходів щодо виявлення і ліквідації причин, які до цього призвели. Серед них: відсутність ефективної політики проведення інвестиційної діяльності у морських портах, відсутність принципу розмежування комерційної діяльності і діяльності держави, що здійснюються у портах, відсутність визначення прав держави і прав інвесторів та механізмів їхнього захисту. Тому, головною метою прийняття Закону було вирішення проблем, які стали перепоною на шляху до налагодження інвестиційної діяльності відносно морських портів в Україні.

Із введенням в дію нового закону та внесення змін та доповнень у супутні підзаконні акти, тобто у Водний Кодекс України [6], Кодекс торговельного мореплавства України [6], у Земельний кодекс [5], Закон України «Про транспорт» [6], у Закон України «Про оренду державного та комунального майна» [5], «Про приватизацію державного майна», «Про природні монополії» [6] тощо, морські порти отримали законодавче право формувати на основі своїх активів акціонерні товариства, надавати на конкурсних засадах своє майно та землі у концесії або довгострокову оренду (на строк до 49 років), лізинг, а також здійснювати приватизаційні процедури щодо своїх активів та земель, за винятком об'єктів стратегічного значення. При цьому Закон [6] встановлює, що власники та/або користувачі технологічно пов'язаних об'єктів портової інфраструктури зобов'язані укладати між собою договори, що визначають взаємні права і обов'язки щодо організації та забезпечення безперервності технологічного процесу надання відповідних послуг у морському порту та встановлюють єдиний порядок експлуатації відповідної інфраструктури морського порту. Крім того, можливість здійснювати господарську діяльність отримали як підприємства приватного сектору, так і державні установи. Тобто на базі усіх українських портів були утворені державні підприємства з можливістю здійснювати підприємницьку діяльність на паритетних засадах із підприємствами інших форм власності та інших фінансових можливостей.

Можливості підвищення конкурентоспроможності портів на підґрунті даного закону було досліджено у великій кількості статей та наукових праць [7-8]. На думку видатних вітчизняних експертів з питань розвитку морських портів, таких як Б.В. Буркинський, М.І. Котлубай, О.М. Котлубай, Україна запізнилася з прийняттям такого закону приблизно на 10-15 років. В якості системи роботи малих портів в умовах Закону пропонується розглянути проектний підхід, який передбачає організацію проектів зі спеціалізації і реалізацію проектів у рамках конкретної галузі [14-15].

Прийняття Закону визнано не досить ефективним джерелом підвищення конкурентоспроможності морських портів, оскільки прийнятий він був не своєчасно для реалій вітчизняного портового господарювання. До часу його остаточної асиміляції в економічному розумінні він вже потребуватиме нових змін. Саме тому пошук напрямків розвитку економічної складової є перспективною та найважливішою метою. Для досягнення економічної ефективності в галузі

створення портової інфраструктури та управління нею потрібна розробка механізму ефективного виділення ресурсів, а також визначення рамок взаємодії державного і приватного капіталу при реалізації таких проектів. На наш погляд, створення кластерної політики є альтернативним виходом. Введення в експлуатацію нових перевантажувальних комплексів, технічне переозброєння діючих терміналів, диверсифікація продукції та послуг підприємств і організацій портового комплексу, активізація діяльності промисловості на території портів, поява нових вимог і пропозицій вантажовласників до якості перевантажувальних процесів, а також націленість на зростання конкурентної стійкості підприємств портової діяльності обумовлюють пошук нових форм їх співробітництва та взаємодії з традиційною клієнтурою, а також з новими суб'єктами портової діяльності та припортовими підприємствами і організаціями. Результати дослідження розвитку взаємодії підприємств портової діяльності з іншими учасниками транспортного процесу дозволяють зробити висновок, що подальше вдосконалення системи управління має базуватися, в першу чергу, на пошуку форм оптимальної взаємодії у вигляді неформальних (неурядових) об'єднань в портовій діяльності всіх її учасників. Все вище зазначене вказує на те, що для підвищення конкурентоспроможності українських портів та підйому економіки держави вимагають розвитку нової форми транспортно-виробничо-наукової взаємодії - кластерів.

На нашу думку, на території приморських регіонів можна виділити дві групи потенційних кластерів, які в перспективі можуть стати об'єктом для активної державної кластерної політики.

*Перша група* - «кластери, що зароджуються». Відповідно до сучасних положень теорії про кластери, (або «emerging cluster») = це друга стадія циклічного кластерного розвитку, яка передбачає, що в регіоні з'являється кілька компаній, що об'єднуються навколо «ключової» сфери діяльності кластера, розширюються загальні перспективи співпраці. Ймовірно, найбільш перспективними сферами для розвитку регіональних кластерів приморського регіону можуть бути галузі, пов'язані з морською сферою, такі, як рибне господарство та морський транспорт і логістика. У цих сферах задіяно безліч малих і середніх підприємств, їх продукція та послуги користуються попитом на зовнішньому і внутрішньому ринках. У світовій практиці вже існує подібний досвід розвитку кластерів в даній сфері, наприклад, в Канаді реалізуються програми по підтримці морегосподарських кластерів, в Норвегії створюються умови щодо розвитку кластерів «морське господарство». Значення кластерної структури для морегосподарського комплексу і для економіки країни величезне, що зумовлює необхідність вивчення та розробки механізму функціонування цієї відносно нової для економіки України організаційної форми господарювання. Необхідно підкреслити, що кластерна концепція передбачає неформальне добровільне об'єднання підприємств і організацій, що функціонують на певній території, основним завданням якого є оптимальне використання наявного економічного потенціалу регіону та галузі. На вирішення цієї задачі в приморських регіонах повинні бути спрямовані зусилля не тільки виробничо-фінансового сектора, а також можливості наукових і навчальних організацій, потенціал яких використовується сьогодні для розвитку морської галузі в недостатньому обсязі.

*Друга група* кластерів може бути охарактеризована як перспективні кластери або «пре-кластери». Пре-кластер (або агломерат - «agglomeration») характеризується тим, що в регіоні існує ряд компаній малого і середнього бізнесу, що об'єднуються однією сферою роботи. До цієї групи кластерів можуть ставитися і суднобудівний судноремонтний, що знаходиться в даний час у кризовому стані; освітній і туристичний кластери. Ця група кластерів характеризується як перспективна. При реалізації відповідних заходів і створення сприятливих умов вони можуть сформуватися в повноцінні конкурентоспроможні кластери. Важливим моментом у визначенні економічного кластера і його відмінність від інших об'єднань підприємств, таких як асоціація, корпорація, концерн тощо, є залучення до вирішення проблем суб'єктів господарювання як комерційних (недержавних) підприємств, так і державних організацій. Хоча у визначенні економічного кластеру присутнє посилення на односторонню спрямованість його учасників, необхідно звернути увагу на відсутність обмежень при входженні в економічний кластер підприємств і організацій інших галузей, які розташовані на даній території і мають економічні зв'язки з підприємствами.

На часі в портовій діяльності України існують усі необхідні передумови формування морського кластеру:

сприятливі географічні умови;

наявність вищих навчальних закладів, які випускають фахівців для морської галузі;  
науково-дослідні інститути, що проводять дослідження в морській сфері;  
наявність фахівців, що мають великий досвід роботи на підприємствах морського транспорту і суміжних до них галузях;  
налагоджені господарські зв'язки.

Вражаючі приклади ефективності функціонування кластерів в окремих галузях у світі свідчать про перспективність створення такої моделі в портовій діяльності в Україні. Підприємства і організації, які об'єднуються в морський кластер, не втрачають своєї економічної самостійності, але отримують значні переваги у розв'язанні як стратегічних задач, так і в повсякденному функціонуванні. Все ці данні були розглянуті в багатьох роботах українських вчених протягом останніх років, що доводить можливість використання кластерної концепції [9-13].

Використання кластерної концепції в приморському регіоні дозволить максимально ефективно використовувати наявний транзитний потенціал регіону, результатом чого буде вирішення низки соціально-економічних проблем як галузі, так і регіону. Регіональні влади отримують можливість брати участь у розробці стратегії розвитку галузі з урахуванням інтересів і пріоритетів регіону. Кластерні структури дозволять вийти регіону та галузі, а також окремим учасникам господарювання на якісно новий рівень і конкурувати на світовому ринку транспортних послуг, а також підвищити експортно-імпорتنний потенціал регіону. Принципи побудови кластерних структур повинні бути використані при розробці нової системи управління морегосподарським комплексом України.

**Висновки даного дослідження і перспективи подальших робіт у цьому напрямку.** Україна, яка обрала шлях цивілізованого розвитку та економічної незалежності має приймати участь у всесвітній морській торгівлі, оскільки в неї є для цього всі передумови: морські порти, суднобудівні й судноремонтні заводи, кадровий і науковий потенціал. Отже, розвиток української портової сфери - справа самостійна, але обійтися без інвестиційних проектів не може жоден порт. Таким чином, функціонування кластерних структур засноване на взаємовигідній співпраці між бізнесом, науковими організаціями, навчальними закладами і місцевою владою. Використання кластерної концепції в морській галузі сприятиме об'єднанню зусиль окремих учасників морегосподарського комплексу для досягнення високого економічного результату. Разом з тим, участь у кластері науки дозволить скоординувати роботу в напрямку задоволення потреб бізнесу і прискорити комерціалізацію наукових розробок. Підвищення конкурентоспроможності морського порту ґрунтується на потребах ринків, які він обслуговує, а також використанні наявних ресурсів для збільшення попиту з боку цих ринків.

Міжнародна практика показує, що сталий розвиток і покращення економічного та соціального стану не може бути досягнуто в ході впровадження одиничних проектів, не розглядаючи проблему комплексно.

Для цього потрібно налагодження керованого процесу, заснованого на визначеній політиці, в якій враховано особливості кожного порту.

#### *Список літератури*

1. Кодекс торговельного мореплавства України [Електронний ресурс]. - Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/go/176/95-вр>.
2. Проект Закону про морські порти : від 22.09.2006 р., №2143-1. [Електронний ре - сурс]. - Режим доступу: [http://wl.cl.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4\\_1?pf3511=28102](http://wl.cl.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=28102).
3. Пропозиції Президента до Закону «Про морські порти України» : від 30.11.2011 р., реєстр. №881. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/BFOOHOOO.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/BFOOHOOO.html).
4. Закон України «Про морські порти України» : від 17.05.2012 р., № 4709-VI [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/4709-17>.
5. Кодекс торговельного мореплавства України: за станом на 23.05.1995 р. [Кодекс № 176/95-ВР] / Верховна Рада України. - Офіц. вид. - К.: Відомості ВР, 1995.— № 47. - С. 349.
6. Про морські порти України: за станом на 17.05.2012 р. [Закон України № 4709] / Верховна Рада України. - Офіц. вид. - К.: Відомості ВР, 2013. - № 7. - С. 407, ст. 65.
7. **Чимшир В. И.** Основные аспекты формирования организационно-экономического механизма обеспечения конкурентоспособности морского порта [Текст] / **В. И. Чимшир, А. В. Чимшир** // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 2 (68). – С. 44-48.
8. **Демьянченко А. Г.** Концепция эффективного управления собственностью морских портов [Текст] / **А. Г. Демьянченко** // Экономика транспорта и связи. – 2013. – № 4. – С. 221-227

9. **Войнаренко М. П.** Концепція кластерів – шлях до відродження виробництва на регіональному рівні / М. П. Войнаренко // Економіст. – 2000. – № 1. – С. 15.
10. **Войнаренко М. П.** Кластери як полюси зростання конкурентоспроможності регіонів // Економіст. – 2008. — № 10. – С. 27-30.
11. **Геєць В.** Кластери і мережеві структури в економіці - тема досить цікава, але на сьогодні ще до кінця не вивчена ... // Економіст. – 2008. – № 10. – С. 10-11.
12. **Гребенник Н. Г.** Концепция кластеров на морском транспорте // Развитие методов управления та господарювання на транспорті: 36. наук. праць. – Вип. 8. – Одеса: ОДМУ, 2001. – С. 86-93.
13. **Козырь Б.** Морские кластерные системы и Николаевский регион // Порты Украины. – 2010. – № 7 (99). – С. 12-13.
14. **Демьянченко А. Г.** Роль и структура морских портов Украины [Текст] / А. Г. Демьянченко // Проблемы экономики. – 2013. – №2. – С. 53-59.
15. **Чимшир В. І.** Визначення напрямків регіонального розвитку соціотехнічних систем у рамках програми євроінтеграції [Текст] / В. І. Чимшир // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2013.– Том 5, № 5/5(13). – С. 20-22.

Рукопис подано до редакції 15.04.17

УДК [33+608.5]-044.922: 658.114.5-047

А. М. ТУРИЛО, д-р економ. наук, проф., О.В. КОРНУХ, канд. економ. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК І ВПЛИВ ПРОЦЕСІВ ЕКОНОМІЧНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ І ТРАНСФОРМАЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ НА РІВЕНЬ ІННОВАЦІЙНОСТІ, ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ І КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ КОРПОРАЦІЇ

**Мета.** Подальше дослідження сутності категорії «трансформація», взаємозв'язків та впливу процесів економічної трансформації й трансформації інтелектуальної власності на рівень інноваційності, фінансово-економічної безпеки і конкурентоспроможності корпорації.

**Методика.** У статті використано такі загальнонаукові принципи дослідження як: історичний й термінологічний підходи; функціональний та системний, зокрема структурно-функціональний та системно-діяльнісний.

**Результати.** Визначено важливі для корпорації види трансформації. Зазначено, що «сукупний інтелект власників корпорації» та «сукупний інтелект менеджменту корпорації» є основою формування та реалізації трансформаційних процесів в корпорації. Доведено, що на економіку корпорації й прогресивні процеси її економічної трансформації впливають рівень людського капіталу, інтелектуального капіталу та інтелектуальної власності корпорації. Усвідомлення власниками та вищим менеджментом циклічного характеру розвитку всіх економічних систем, зміни домінуючих бізнес моделей та ролі ключового фактора виробництва в забезпеченні інноваційності корпорації є основою «пускового механізму» процесів трансформації в ній. Зроблено наголос, що вимоги інноваційної економіки обумовлюють пошук нових джерел економічного зростання та розв'язання задач по її формуванню і забезпеченню на всіх рівнях господарювання. Підкреслено, що чим раніше будуть розпочаті трансформаційні процеси в корпорації, тим більші можливості будуть у неї щодо отримання певних конкурентних переваг і формування необхідного рівня фінансово-економічної безпеки.

**Наукова новизна.** Обґрунтовано взаємозв'язок і взаємообумовленість процесів трансформації в корпорації, показано роль «інтелекту корпорації» в сучасних конкурентних умовах господарювання. Визначено вплив процесів трансформації на конкурентні переваги, фінансово-економічну безпеку корпорації та додаткові умови її прогресивного розвитку. Запропоновано термін «важіль конкурентної переваги від трансформаційних процесів».

**Практична значимість.** Розглянуто в даному дослідженні теоретико-методологічні положення й практичні рекомендації дозволяють більш глибоко досліджувати взаємозв'язки і вплив процесів економічної трансформації, трансформації інтелектуальної власності на рівень інноваційності, фінансово-економічної безпеки і конкурентоспроможності корпорації і розробляти, на цій основі, організаційно-економічний механізм забезпечення трансформації інтелектуальної власності.

**Ключові слова:** трансформація, інтелект, інтелектуальна власність, інноваційність, фінансово-економічна безпека, конкурентоспроможність, трансформація інтелектуальної власності корпорації

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Весь всесвіт, скільки він існує, постійно знаходиться в процесі змін і перетворень.

І саме в цьому аспекті весь розвиток суспільного виробництва, ринкової системи господарювання пронизаний трансформаційними процесами.

Трансформація, як певне, зі своїми специфічними рисами, і складне явище суспільного розвитку є об'єктивною і багатогранною категорією.

На сучасному етапі розвитку суспільства змінюється структура економіки, основою якої виступають знання, інтелектуальна власність, інтелектуальний капітал та інновації.

Особливої актуальності набувають дослідження процесів трансформації, пов'язаних з об'єктами інтелектуальної власності, ефективно залучення яких у комерційний оборот суттєво підвищує інноваційність бізнесу.

Конкурентності та економічному лідерству підприємств сприяє нова галузь науки - інноватика, яка вивчає механізми ініційованих і контрольованих змін, створення, освоєння і поширення різного типу інновацій.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Питаннями трансформації займалися такі вчені як В.С.Савчук, Ю.К. Зайцев, Л.В. Марчук І.Б. Жилияєв, О.М. Шубалій Г.С. Вечканов, Г.Р. Вечканов, В.Т. Пуляев та ін.

У самому загальному розумінні поняття трансформація (лат. *transformatio*) означає перетворення, перевтілення, зміну виду, форми, властивостей чого-небудь [1].

Соціально-економічна трансформація – процес поступового екстенсивного та інтенсивного цільового перетворення однієї системи на іншу, що супроводжується становленням нової якості системи [2].

У контексті постіндустріальних перетворень у роботі [3] пропонується використання терміну «трансформації відносин власності» – як постійного процесу змін у системі відносин власності, що відбувається у складному взаємозв'язку різновекторних тенденцій та супроводжується зовнішніми (формальними) і внутрішніми (змістовими) перетвореннями.

На рівні суб'єкта господарювання, трансформація – це процес, який включає в себе всі етапи економіко-організаційних змін та перетворень підприємства від поточного стану до бажаного [4].

Змістовні питання і окремі аспекти дослідження, оцінки і управління процесом трансформації розглянуто в науковій літературі [1-6 та ін.].

Однак, не всі важливі і ключові проблеми й завдання даного явища, в силу своєї складності і специфічності, розкриті на сьогодні достатньо повно і акцентовано.

Окремі з них, згідно нашого бачення і предмету дослідження, представляємо в даній роботі.

**Постановка задачі.** Виходячи з аналізу суспільного розвитку, наукових праць, практики і нашого розуміння, трансформація як явище відбувається в різних масштабах і інтервалах часу, в різних формах і видах, в різних сферах і видах діяльності суспільства, з різним рівнем суб'єктивної оцінки і управління, з різним рівнем використання економічних вигід від протікання даного процесу.

Ці аспекти і потрібно враховувати при предметному дослідженні даного явища.

Мета роботи полягає в подальшому дослідженні сутності категорії «трансформація», взаємозв'язків та впливу процесів економічної трансформації й трансформації інтелектуальної власності на рівень інноваційності, фінансово-економічної безпеки і конкурентоспроможності корпорації.

**Викладення матеріалу та результати.** Потрібно відзначити, що трансформація як категорія, в першу чергу, несе в собі ознаку динамічності і, на цій основі, характеризує гармонійну єдність певного процесу і сукупності специфічних змін (рис. 1).

Трансформація як об'єктивне і загальносуспільне явище знаходить свої конкретні прояви і на мікрорівні, зокрема в розвитку корпорацій.

Такі підходи до визначення представлених вище видів трансформації в межах корпорації і їх взаємозв'язків між собою наведено на рис. 2 й 3.

Мета виділення саме цих видів трансформації полягає в тому, щоб показати ту виключну роль «інтелекту корпорації» (в різних його іпостасях) в сучасних жорстких конкурентних умовах функціонування всіх підприємницьких структур, і його особливий і визначний вплив на економіку корпорації, а значить і на процеси економічної трансформації [7,8].

Вимоги інноваційної економіки обумовлюють пошук нових джерел економічного зростання та розв'язання задач по її формуванню і забезпеченню на всіх рівнях господарювання. Усвідомлення власниками та вищим менеджментом циклічного характеру розвитку всіх економічних систем, зміни домінуючих бізнес моделей та ролі ключового фактора виробництва в забез-

печенні інноваційності корпорації є основою «пускового механізму» процесів трансформації в ній.

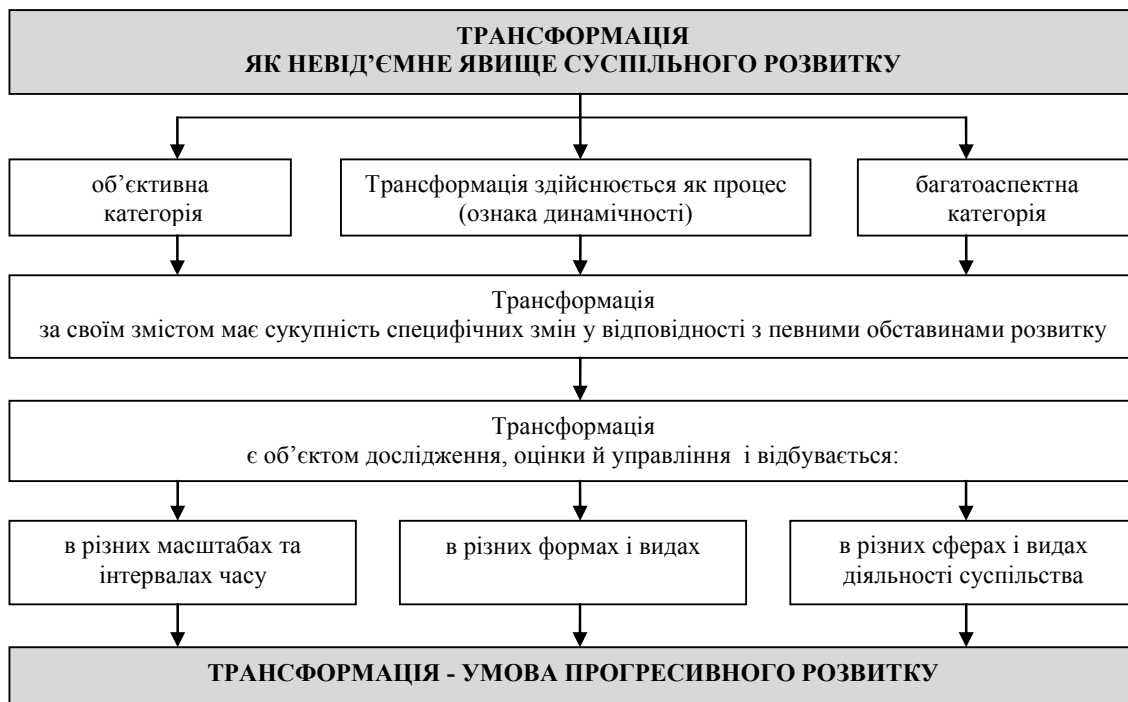


Рис. 1. Трансформація і методологічні підходи до її дослідження, авторська розробка

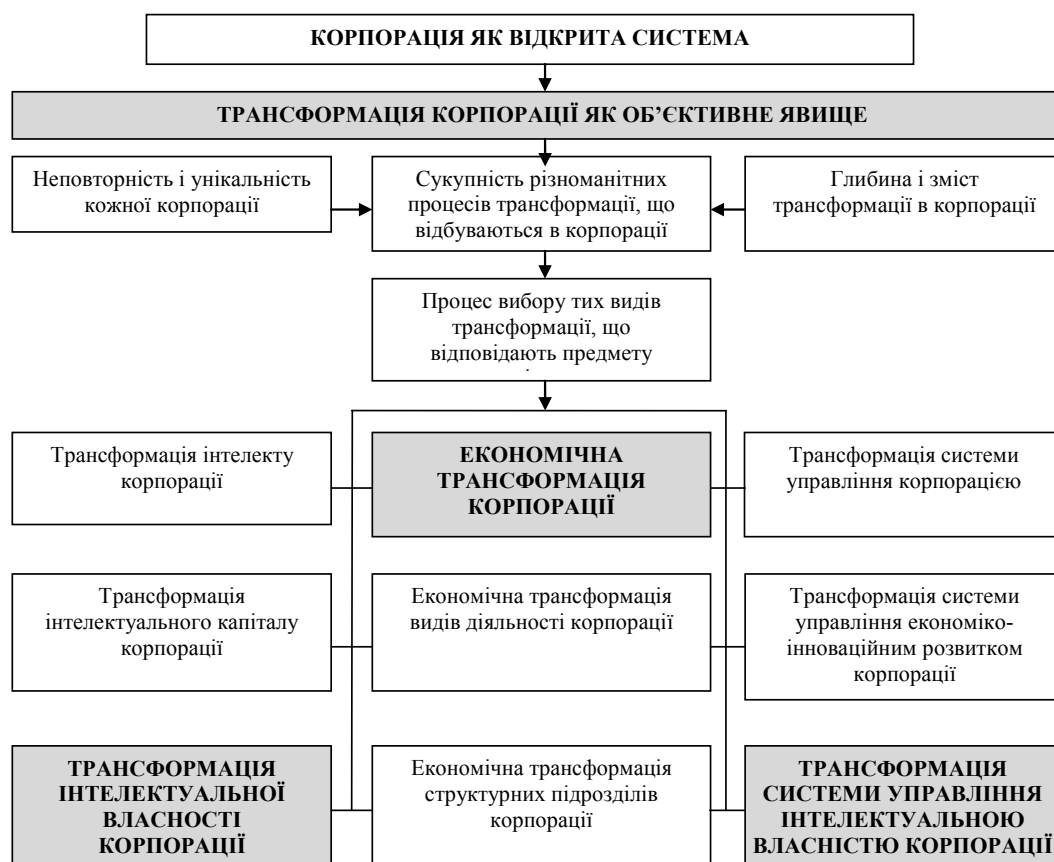


Рис. 2. Визначення важливих для корпорації видів її трансформації, авторська розробка

Підкреслимо, що чим раніше будуть розпочаті трансформаційні процеси в корпорації, тим більші можливості будуть у неї щодо отримання певних конкурентних переваг і формування необхідного рівня фінансово-економічної безпеки.

Для отримання конкурентних переваг постає нагальна потреба у розробці організаційно-економічного механізму забезпечення трансформації інтелектуальної власності. В цьому аспекті пріоритетним його елементом виступає людський капітал корпорації, бо саме він є потенційним джерелом створення інтелектуальної власності.

В сучасних дослідженнях різних аспектів інтелектуальної власності все більше піднімаються питання визначення її економічної сутності і ролі в інноваційному розвитку [9, 10 та ін.].

Так, в роботі [10] відмічається значення інтелектуальної власності в економічному обороті підприємства, і представляється вона в трьох іпостасях: 1) як основний (необоротний) капітал - у вигляді нематеріальних активів; як оборотний капітал - при підготовці та перепродажу інтелектуальної власності; як товар - при продажу ліцензій.

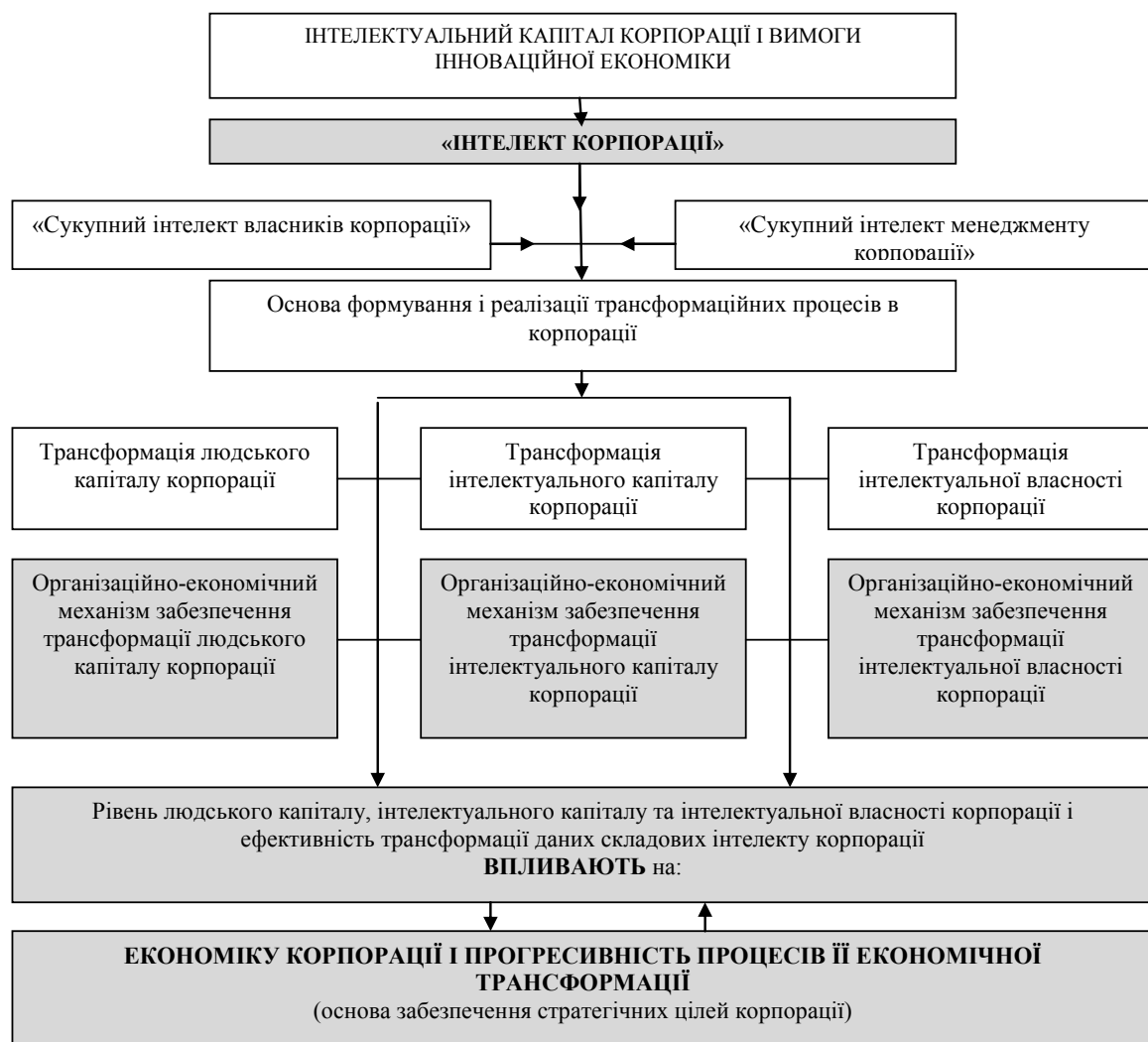


Рис. 3. Взаємозв'язок і взаємообумовленість процесів трансформації в корпорації, авторська розробка

Отже, інтелектуальна власність виступає важливим чинником економіко-інноваційного розвитку корпорації та потужним інструментом забезпечення конкурентних переваг.

Економічній трансформації підлягають всі складові єдиної економічної системи корпорації.

Економічна трансформація за своїм впливом на процес розвитку корпорації забезпечує, в першу чергу, підвищення економічної ефективності її діяльності, і на цих засадах, отримання

значних додаткових доходів, які і будуть тією важливою додатковою інвестицією в майбутній розвиток корпорації.

Трансформація ж інтелектуальної власності за своєю сутністю і впливом на процес розвитку корпорації відображається, в першу чергу, на зростанні її загального інноваційного рівня (забезпечується процес інноватизації корпорації); вона є важливим «модулем» загальних комплексних заходів в діяльності корпорації.

Трансформація інтелектуальної власності в ракурсі економічних наслідків для корпорації, характеризує певну економічну сферу, в якій переважно реалізується даний процес, і опосередковано забезпечує необхідну величину економічного результату корпорації.

Економічна трансформація корпорації включає в себе не тільки трансформацію безпосередньо економічного розвитку, а й розробку інновацій економічного профілю (наприклад, інновацій в сфері економічних методів впливу на діяльність корпорації).

Потрібно відмітити і те, що інтелектуальна власність в корпорації стає усе більш значимим чинником забезпечення її фінансово-економічної безпеки, бо вона впливає і на фінансові і на економічні результати діяльності корпорації. Інтелектуальна власність і її трансформація - це кардинально новий підхід формування фінансово-економічної безпеки корпорації.

Вплив трансформаційних процесів в корпорації на її фінансово-економічну безпеку і конкурентність представлено на рис. 4.

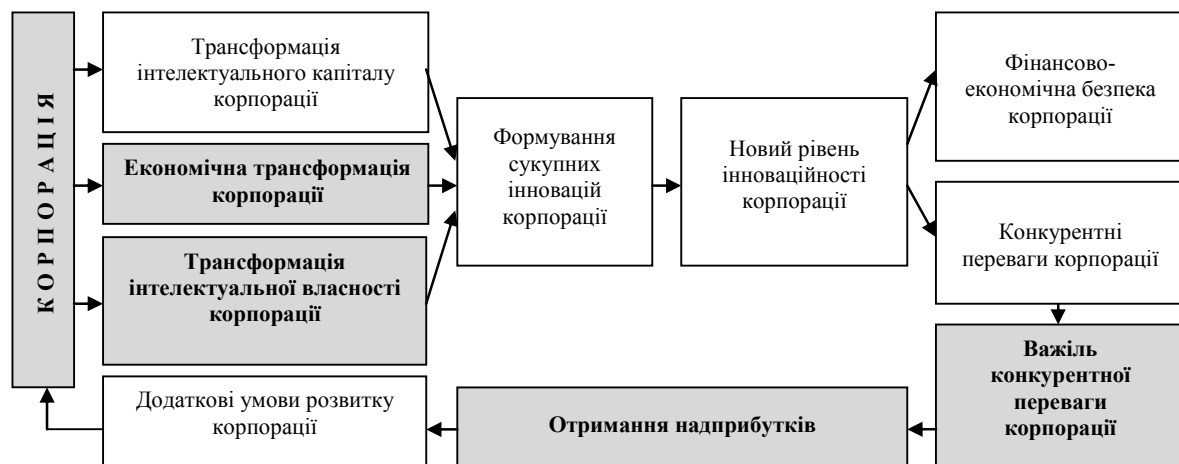


Рис. 4. Вплив процесів трансформації на конкурентні переваги, фінансово-економічну безпеку корпорації та додаткові умови прогресивного її розвитку, авторська розробка

Процес трансформації інтелектуального капіталу й інтелектуальної власності є джерелом появи певних видів інновацій в матеріальній і нематеріальній формах на всіх рівнях господарювання в корпорації і здійснюються вони за ініціативою інноваторів.

Особливість таких інновацій полягає в тому, що вони є продуктом корпорації і розробляються предметно під специфіку її виробничо-господарської діяльності. Така предметність інновацій, з одного боку, приносить корпорації більш високий рівень інноваційності, а з іншого боку, приводить до зростання прибутків (при інших рівних умовах).

До того ж, високий рівень інноваційності корпорації є запорукою формування нових конкурентних переваг і необхідної, для певної економічної ситуації, фінансово-економічної безпеки корпорації.

Першість корпорації у виявленні необхідності і започаткуванні процесу трансформації інтелектуальної власності забезпечить для неї не просто конкурентні переваги, а дозволить потенційно одержати «важіль конкурентної переваги від процесу трансформації». «Сила» і термін дії такого важеля визначаються якістю протікання трансформації і тим часом, на який ця корпорація випереджає своїх конкурентів в даному процесі.

Конкурентна перевага такої корпорації у вигляді конкурентного важеля буде представлена тим періодом, після якого інші підприємства теж почнуть здійснювати аналогічні трансформаційні процеси.

**Висновки.** Отже, розглянуті в даній роботі питання дозволяють по новому і більш ґмно підійти до розкриття сутності і взаємозв'язку певних трансформаційних процесів в корпорації і їх впливу на її інноваційність, фінансово-економічну безпеку та конкурентність.

#### *Список літератури*

1. Савчук В.С., Зайцев Ю.К. Трансформаційна економіка / В.С. Савчук, Ю.К. Зайцев, І.Й. Малий та ін.; За ред. В.С. Савчука, Ю.К. Зайцева / Навч. посіб. – К.: КНЕУ, 2006. – 612 с.
- Жиляєв І.Б. Регіональні трансформаційні соціально економічні системи в умовах платіжної кризи: Автореф. дис... докт. екон. наук: 08.00.05 [Електронний ресурс] / І.Б. Жиляєв; Харк. нац. академія. — Харків, 2007. — 27 с. — укр.
2. Степаненко С.В. Трансформація відносин власності у постіндустріальній економіці: автореф. дис... канд. екон. наук: 08.00.01 [Електронний ресурс] / С.В. Степаненко; Нац. гірн. ун-т. — Дніпропетровськ, 2008. — 21 с. — укр.
3. Марчук Л.В. Економічне оцінювання та регулювання процесів трансформацій підприємства : дис. канд. екон. наук : 08.06.01 / Л.В. Марчук. – Львів, 2005. – 195 с.
4. Вечканов Г.С. Краткая экономическая энциклопедия / Г.С. Вечканов, Г.Р. Вечканов, В.Т. Пуляев. - СПб.: Петрополис, 1998. - 368с.
5. Шубалій О. М. Трансформація еколого-економічних відносин у лісовому секторі: механізми та інститути : дис. докт. ек. наук : 08.00.06 / Шубалій Олександр Михайлович – Київ, 2015. – 448 с.
6. Турило А.М., Корнух О.В. «Економічна трансформація» як ключове поняття сучасного суспільного розвитку / А.М. Турило, О.В. Корнух // Вісник Херсонського державного університету. – Херсон. – 2014. – № 6. – С. 189–192.
7. Турило А.М., Корнух О.В. Теоретико-методичні підходи щодо визначення сутності категорії «економічна трансформація» / А.М. Турило, О.В. Корнух // Вісник Одеського національного університету. Економіка. – 2014. - Том 19. - Випуск 2. –С. 53-56
8. Пріоритети національного економічного розвитку в контексті глобалізаційних викликів : монографія : у 2 ч. - Ч. 1 / за ред. В.М. Гейця, А.А. Мазаракі, - К. : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2008. - 389 с.
9. Буевич А. П. Экономическая сущность интеллектуальной собственности и методология её оценки : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. ек. наук : спец. 08.00.01 / Буевич А. П. – Москва, 2004. – 28 с.

Рукопис подано до редакції 15.04.17

## АНОТАЦІЇ

УДК 622.271

**Фролов О.О., Соколовська М.І., Хоменюк А.В.** Обґрунтування технологічної узгодженості параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу

**Мета.** Метою роботи є встановлення оптимального співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора для забезпечення правильної організації робіт екскаваторно-автомобільного комплексу і ефективного його використання в часі.

**Методи дослідження.** Для досягнення поставленої мети роботи використано методи комплексного аналізу – для узагальнення та аналізу досягнень теорії і практики в сфері узгодженості параметрів екскаваторно-автомобільних комплексів та аналітичний – для встановлення найбільш ефективного співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида та об'ємом ковша екскаватора.

**Наукова новизна.** Вирішення поставленої задачі складає актуальність роботи. Наукова новизна результатів полягає в тому, що отримана розрахункова формула для визначення найбільш ефективного співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида та об'ємом ковша екскаватора з точки зору досягнення екскаваторно-автомобільним комплексом максимально можливої продуктивності.

**Практична значимість.** Отримані аналітична і графічна залежності пов'язують параметри екскаваторно-автомобільного комплексу з тривалістю рейсу автосамоскида. Це дозволяє планувати гірничо-транспортні роботи таким чином, щоб максимально ефективно використовувати виймально-навантажувальне обладнання і автотранспорту в часі, що працює в кар'єрі.

**Результати.** Встановлено, що раціональне співвідношення ємності кузова автосамоскида до ємності ковша екскаватора є найважливішою умовою, що забезпечує високопродуктивне використання екскаваторів і автотранспорту при мінімальній вартості гірничотранспортних робіт. Серед науковців немає єдиного погляду на метод визначення найбільш доцільного співвідношення параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу і кількісних його характеристик. Отримана аналітична залежність раціонального співвідношення між об'ємом кузова автосамоскида і об'ємом ковша екскаватора для досягнення максимально можливої продуктивності екскаваторно-автомобільного комплексу при навантаженні і транспортуванні будь-яких типів гірських порід з урахуванням тривалості виконання рейсу.

**Ключові слова:** кар'єр, гірнична маса, екскаваторно-автомобільний комплекс, структура комплексної механізації, об'єм кузова автосамоскида і об'єм ковша екскаватора

**Фролов А.А., Соколовская М.И., Хоменюк А.В.** Обоснование технологической согласованности параметров экскаваторно-автомобильного комплекса

**Цель.** Целью работы является установление оптимального соотношения между объемом кузова автосамосвала и объемом ковша экскаватора для обеспечения правильной организации работ экскаваторно-автомобильного комплекса и эффективного его использования во времени.

**Методы исследования.** Для достижения поставленной цели работы использованы методы комплексного анализа – для обобщения и анализа достижений теории и практики в сфере согласованности параметров экскаваторно-автомобильных комплексов и аналитический – для установления наиболее эффективного соотношения между объемом кузова автосамосвала и объемом ковша экскаватора.

**Научная новизна.** Решение поставленной задачи составляет актуальность работы. Научная новизна заключается в том, что получена расчетная формула для определения наиболее эффективного соотношения между объемом кузова автосамосвала и объемом ковша экскаватора с точки зрения достижения екскаваторно-автомобільним комплексом максимально возможной производительности.

**Практическая значимость.** Полученные аналитическая и графическая зависимости связывают параметры экскаваторно-автомобильного комплекса с продолжительностью рейса автосамосвала. Это позволяет планировать горно-транспортные работы таким образом, чтобы максимально эффективно использовать выемочно-погрузочное оборудование и автотранспорт во времени, которые работают в карьере.

**Результаты.** Установлено, что рациональное соотношение емкости кузова автосамосвала к емкости ковша экскаватора является важнейшим условием, обеспечивающим высокопроизводительное использование экскаваторов и автотранспорта при минимальной стоимости горнотранспортных работ. Среди ученых нет единого взгляда на метод определения наиболее целесообразного соотношения параметров экскаваторно-автомобильного комплекса и количественных его характеристик. Получена аналитическая зависимость рационального соотношения между объемом кузова автосамосвала и объемом ковша экскаватора для достижения максимально возможной производительности екскаваторно-автомобільного комплексу при погрузке и транспортировке любых типов горных пород с учетом продолжительности выполнения рейса.

**Ключевые слова:** карьер, горная масса, экскаваторно-автомобильный комплекс, структура комплексной механизации, объем кузова автосамосвала и объем ковша экскаватора.

**Frolov A.A., Sokolovska, M.I., Khomeniuk A.V.** Substantiation of technological consistency of parameters of shovel-truck complex

**Purpose.** The purpose of the work is to establish the optimal ratio between the volume of the body of a dump truck and the volume of a bucket of an excavator to ensure the correct organization of the shovel-truck complex and its effective use in time.

**Methods of research.** To achieve the stated goal of the work, methods of complex analysis were used - for generalization and analyze the achievements of theory and practice in the field of consistency of parameters of shovel-truck complexes and analytical - to establish the most effective ratio between the volume of the truck body and the volume of a bucket of the shovel.

**Scientific novelty.** The solution of the task is the relevance of the work. The scientific novelty lies in the fact that the calculated formula has been obtained to determine the most effective ratio between the volume of the body of a dump truck and

the volume of excavator bucket from the point of view of achieving shovel-truck complexes of the highest possible productivity.

**Practical significance.** The resulting analytical and graphical dependencies link the parameters of the shovel-truck complex with the duration of the voyage of the dump truck. This allows you to plan mining operations in such a way as to maximize the use of excavation and loading equipment and vehicles in time that work in a career.

**Results.** It is established that a rational ratio of the volume of the body of a dump truck to the volume of a bucket of an excavator is the most important condition ensuring high-performance use of excavators and truck at the minimum cost of mining operations. Among scientists, there is no unified view on the method of determining the most appropriate ratio of the parameters of the shovel-truck complex and its quantitative characteristics. The analytical dependence of the rational relationship between the volume of the dump truck body and the volume of the excavator bucket is obtained to achieve the maximum possible productivity of the shovel-truck complex when loading and transporting any types of rocks taking into account the duration of the voyage.

**Keywords:** career, rock mass, shovel-truck complex, structure of complex mechanization, the volume of the body of a dump truck and the volume of a bucket of an excavator.

УДК 622.8: 331.452: 519.6

**Налисько Н.Н.** Определение безопасных расстояний при аварийных взрывах шахтной атмосферы с учетом места расположения источника воспламенения и характера горения

**Цель.** Повышение безопасности аварийных работ в горных выработках при угрозе возникновения взрывов шахтной атмосферы путем учета влияния места инициирования взрыва и режима горения в расчете безопасных расстояний. Математическое моделирование процесса зажигания и горения загазованного участка рудничной атмосферы в горной выработке.

**Методы исследования.** Анализ и обобщение теоретических исследований, численное моделирование газодинамического процесса детонационного горения газозвушной смеси, включая модель химической кинетики горения, что в целом позволяет проследить динамику формирования ударных воздушных волн в условиях горных выработок. Математическая обработка результатов эксперимента методом наименьших квадратов. При решении уравнений нелинейной регрессии использовалась линеаризация методом логарифмирования.

**Научная новизна.** В результате численного моделирования процесса зажигания и горения загазованного участка рудничной атмосферы получены закономерности формирования и распространения ударных воздушных волн, зависимости их параметров от режима горения и места инициирования газозвушной смеси.

**Практическая значимость.** Проведенные исследования позволяют усовершенствовать методику расчета безопасных расстояний и таким образом повысить безопасность работ горноспасателей по локализации аварийных взрывов рудничной атмосферы и ликвидации последствий подземных пожаров.

**Результаты.** Установлено, что динамика горения ГВС оказывает решающее влияние на процесс формирования УВВ: в режиме дефлаграционного горения ГВС, с инициированием у края облака, длина взрывной волны увеличена в 3,6 раза в сторону противоположную горению, а амплитуда волны на 10 % в сторону горения. В режиме детонации наблюдается эффект направленного взрыва, при котором амплитуда УВВ сторону противоположную движению детонационной волны в 5 раз меньше, чем в прямой УВВ. Модель мгновенного объемного взрыва, в сравнении с моделями горения, дает заниженные значения амплитуд.

**Ключевые слова:** газозвушная смесь, мгновенный взрыв, ударная волна, детонация, дефлаграционное горение, точка инициирования.

**Налисько М.М.** Визначення безпечної відстані під час аварійних вибухів шахтної атмосфери з урахуванням місця розташування джерела запалювання і характеру горіння

**Мета.** Підвищення безпеки аварійних робіт у гірничих виробках при загрозі виникнення вибухів шахтної атмосфери шляхом врахування впливу місця ініціювання вибуху і режиму горіння в розрахунку безпечних відстаней. Математичне моделювання процесу запалювання і горіння загазованого ділянки рудничної атмосфери в гірничій виробці.

**Методи дослідження.** Аналіз і узагальнення теоретичних досліджень, чисельне моделювання газодинамічного процесу детонаційного горіння газоповітряної суміші, включаючи модель хімічної кінетики горіння, що в цілому дозволяє простежити динаміку формування ударних повітряних хвиль в умовах гірничих виробок. Математична обробка результатів експерименту методом найменших квадратів. При вирішенні рівнянь нелінійної регресії використовувалася линеаризація методом логарифмування.

**Наукова новизна.** В результаті чисельного моделювання процесу запалювання і горіння загазованої ділянки рудничної атмосфери отримані закономірності формування і поширення ударних повітряних хвиль, залежно їх параметрів від режиму горіння і місця ініціювання газоповітряної суміші.

**Практична значимість.** Проведені дослідження дозволяють удосконалити методику розрахунку безпечних відстаней і таким чином підвищити безпеку робіт рятувальників по локалізації аварійних вибухів рудничної атмосфери і ліквідації наслідків підземних пожеж.

**Результати.** Встановлено, що динаміка горіння ГВС робить вирішальний вплив на процес формування УПХ: в режимі дефлаграційного горіння ГПС, з ініціюванням на краю хмари, довжина вибухової хвилі збільшена в 3,6 рази ніж в сторону протилежну горіння, а амплітуда хвилі на 10% в сторону горіння. У режимі детонації спостерігається ефект направленої вибуху, при якому амплітуда УПХ у протилежний бік руху детонаційної хвилі в 5 разів менше, ніж в прямій УПХ. Модель миттєвого об'ємного вибуху, в порівнянні з моделями горіння, дає занижені значення амплітуд.

**Ключові слова:** газоповітряна суміш, миттєвий вибух, ударна хвиля, детонація, дефлаграційне горіння, точка ініціювання.

**Nalisko N.N.** The determination of safety distances during emergency explosions of mine atmosphere with consideration to ignition source location and combustion character

**Purpose.** Increase the safety of emergency work in mine workings with the threat of explosion of the mine atmosphere by taking into account the influence of the place of initiation of the explosion and the burning regime in the calculation of risk-free distances. Mathematical modeling of the ignition and combustion of the sealed section of mine atmosphere in the mine workings.

**Research methods.** Analysis and generalization of theoretical studies, numerical simulation of gas-dynamic detonation combustion of a gas-air mixture, including a model of chemical combustion kinetics, which, on the whole, allows one to trace the dynamics of formation of shock air waves in conditions of mine workings. Ma-thematic processing of the results of the experiment by the method of least squares. When solving the nonlinear regression equations, linearization was used by the method of logarithm.

**Scientific novelty.** As a result of numerical modeling of the ignition and combustion of the sealed section of the mine atmosphere, regularities in the formation and propagation of shock air waves, the dependence of their parameters on the combustion regime and the location of the initiation of the gas-air mixture were obtained.

**Practical value.** The conducted researches allow to improve the method of calculation of safe distances and thus will increase the safety of mine rescuers' work in the localization of emergency explosions of mine atmosphere and liquidation of the consequences of underground fires.

**Results.** It is established that the combustion dynamics of the gas-air mixture has a decisive influence on the formation of UVB: in the deflagration combustion mode of the gas-air mixture, with the initiation at the edge of the cloud, the length of the blast wave is increased 3.6 times in the direction opposite to combustion, and the wave amplitude by 10% spread of flame. In the detonation mode, the effect of a directed explosion is observed, in which the amplitude of the shock air wave is opposite to the motion of the detonation wave 5 times less than in the direct shock air wave. The model of an instantaneous volumetric explosion, in comparison with combustion models, yields an underestimated amplitude value.

**Key words:** gas-air mixture, instantaneous explosion, shock wave, detonation, deflagration combustion, initiation point.

УДК 622.235

**Шапурін О. В., Скачков А.А.** Розробка технологічних рішень для здолання опору по підшві перед першим рядом зарядів

**Мета** роботи є покращення і одночасно здешевлення буровибухових робіт, шляхом першочергового підривання зменшеного (на 30-50%) заряду ВР у другому ряду свердловин, а через розрахований інтервал сповільнення, ближнього повноцінного заряду у першому ряду. Така заміна черговості підривання зарядів відтермінує у просторі і часі взаємодію першої прямої вибухової хвилі з відображеними від вільних поверхонь укусу й покрівлі уступу, виключає утворення магістральних тріщин від такої взаємодії, продовжує час дії вибухових газів заряду у другому ряду, збільшує ККД вибуху, забезпечує, через двох-кратність вибухових ударів по укусу уступу, покращення якості проробки підшви уступу.

**Методи дослідження:** Встановлення швидкості розповсюдження хвиль у досліджуваних породах, їх міцності, параметрів БВР і інтервалів сповільнення між сумісними зарядами у парі рядів, а також парами рядів.

**Наукова новизна:** Полягає в обґрунтованості розведення у просторі й часі взаємодії першої прямої вибухової хвилі з відображеними від вільних поверхонь укусу і покрівлі уступу, для уникнення утворення магістральних тріщин у ньому, продовження проростання радіальних тріщин навколо заряду у другому ряду, збільшення ККД вибуху.

**Практична значимість.** Полягає у покращенні якості проробки збільшених ЛОПП, за рахунок двох-кратності хвильових вибухових ударів по укусу, зменшенні *питомої* витрати ВР.

**Результати.** Запропонована технологія виконання буровибухових робіт, яка передбачає початкове підривання зменшеного (на 30-50%) заряду у другому ряду вибухового блоку, а через розрахований інтервал сповільнення, ближнього із повноцінною масою, у першому ряду. Надалі, аналогічно, через сповільнення, підривають наступну пару зарядів у цих рядах і так продовжують, доки не скінчаться заряди у перших двох рядах. По мірі їх відпрацювання, накопичується сповільнення, і по досягненні його значень 120-180 мс, слід розпочинати підривання у наступній парі рядів: четвертому і третьому, аналогічним чином, як у другому й першому. Всі заряди у парних рядах матимуть зменшену масу, а у непарних повноцінну. За цією ознакою технологія отримала назву диференційованого насичення масиву порід вибуховими енергіями. Кількість пар рядів, спрацьовуючих аналогічно, визначається технологічними умовами виробництва. Паралельно отримуються такі позитивні прояви: зменшення фонтанування пилу, газу через вустя свердловин, зменшення розмірів пилегазової хмари, зменшення загальної кількості отруйних газів у вибуховій хмарі.

**Ключові слова:** вибухові роботи у кар'єрі, пари зарядів, пари рядів, пряма вибухова хвиля від заряду ВР, відбиті вибухові хвилі від вільних поверхонь укусу і покрівлі уступу, отруйні вибухові гази.

**Шапурин А. В., Скачков А.А.** Разработка технологических решений для преодоления сопротивления по подошве перед первым рядом зарядов

**Цель:** Целью работы является улучшение и одновременно удешевление буровзрывных работ, путем первоочередного взрывания уменьшенного (на 30-50%) заряда ВВ во втором ряду скважин, а через рассчитанный интервал замедления, ближнего полноценного заряда в первом ряду. Такая замена очередности взрывания зарядов відтермінує в пространстве и времени взаимодействие первой прямой взрывной волны с отображенными от свободных поверхностей укуса и кровли уступа, исключает образование магистральных трещин от такого взаимодействия, продолжает время действия взрывных газов заряда во втором ряду, увеличивает КПД взрыва, обеспечивает, через двох-кратність взрывных ударов по укусу уступа, улучшения качества проробки подошвы уступа.

**Методы исследования:** Установление скорости распространения волн в исследуемых породах, их прочности, параметров БВР и интервалов замедления между совместимыми зарядами в паре рядов, а также парами рядов.

**Научная новизна:** Заключается в обоснованности разведения в пространстве и времени взаимодействия первой прямой взрывной волны с отображенными от свободных поверхностей укуса и кровли уступа, для избежания обра-

зования магистральных трещин в нем, продолжение прорастания радиальных трещин вокруг заряда во втором ряду, увеличения КПД взрыва.

**Практическая значимость.** Заключается в улучшенные качества проробки увеличенных ЛОПП, за счет двукратности волновых взрывных ударов по укусу, уменьшенные удельной затраты взрывчатых веществ (ВВ).

**Результаты.** Предложенная технология выполнения буровзрывных работ, которая предусматривает начальное взрывание уменьшенного (на 30-50%) заряда во втором ряду взрывного блока, а через рассчитанный интервал замедления, ближнего с полноценной массой, в первом ряду. В дальнейшем, аналогично, через замедление, подрывают следующую пару зарядов в этих рядах и так продолжают, пока не окончатся заряды в первых двух рядах. По мере их отработки, накапливается замедление, и по достижении его значений 120-180 мс, следует начинать взрывание в следующей паре рядов : четвертому и третьему, аналогичным способом, как во втором и первом. Все заряды в парных рядах будут иметь уменьшенную массу, а в непарных полноценную. По этому признаку технология получила название дифференцированного насыщения массива горных пород взрывными энергиями. Количество пар рядов, срабатывающих аналогично, определяется технологическими условиями производства. Параллельно получают такие позитивные проявления: уменьшение фонтанирования пыли, газа через вустя скважин, уменьшение размеров пилегазовой тучи, уменьшения общего количества ядовитых газов во взрывной туче.

**Ключевые слова:** взрывные работы в карьере, пары зарядов, пары рядов, прямая взрывная волна от заряда ВВ, отбиты взрывные волны от свободных поверхностей укуса и кровли уступа, ядовитые взрывные газы.

**Shapurin A.V., Skachkov A.A.** Development of technological decisions for overcoming of resistance on a sole before the first row of charges

**Purpose:** Purpose of work is an improvement and simultaneously reduction of prices of drillings and blasting, by the primary exploding of the diminished (on 30-50%) charge of ВВ in the second row of mining holes, and through the expected interval of deceleration, near valuable charge in the first row. Such replacement of order of exploding of charges of відтермінує in space and time co - operating of the first line of explosive wave with represented from free - form of hay - crop and roof of ledge, eliminates formation of main cracks from such cooperation, continues time of action of explosive gases of charge in the second row, increases КПД explosion, provides, through doubleness of of explosive shots on the hay - crop of ledge, improvements of quality of проробки sole of ledge.

**Research methods:** Establishment of speed of distribution of waves in the investigated breeds, their durability, parameters of БВП and intervals of deceleration between compatible charges in the pair of rows, and also by the pair of rows.

**Scientific novelty:** Consists in validity of breeding in space and time of cooperation of the first line of explosive wave with represented from free-form of hay-crop and roof of ledge, for avoidance of formation of main cracks in him, continuation of germination of radial cracks round a charge in the second row, increases КПД explosion.

**Practical meaningfulness.** Consists of the in the improved internalss of working of megascopic ЛОПП, to due to doubleness of of wave explosive shots on a hay - crop, diminished specific expense of explosives (ВВ).

**Results.** Offered technology of implementation of буро взрывных works, which foresees the initial exploding of the diminished (on 30-50%) charge in the second row of explosive block, and through the expected interval of deceleration, fellow creature with valuable mass, in the first row. In future, like, through deceleration, undermine the next pair of charges in these rows continue and so, while charges will not be finished in the first two rows. As far as their working off, deceleration accumulates, and after achievement of his values 120-180 мс, it is necessary to begin an exploding in the next pair of rows : fourth and third, by an analogical method, as in the second and first. All charges in pair rows will have the diminished mass, and in odd valuable. On this sign technology got the name of the differentiated satiation of array of mountain breeds explosive energies. Amount of pair of rows, working like, is determined the by the technological terms of production. In parallel such positive displays turn out : diminishing of фонтан и рования of dust, gas through вустя mining holes, diminishing of sizes of пилегазовой cloud, diminishing of general amount of toxic gases in an explosive cloud.

**Keywords:** explosive works in a career, pair of charges, pair of rows, direct explosive wave from the charge of ВВ, explosive waves are removed from free-form of hay-crop and roof of ledge, toxic explosive gases.

УДК 57.044

**Яковишина Т.Ф.** Екологічне нормування поелементного забруднення ґрунту урбоєкосистеми важкими металами за фоновою концентрацією

**Мета.** У статті проаналізовано існуючі в Україні та за кордоном підходи щодо нормування поелементного забруднення ґрунтів важкими металами за ГДК, концентрацією природного геохімічного фону, інтегральним показником біологічного стану, Soil Screening Value, показані їх переваги та недоліки. Актуальність даної роботи стосується пошуку показників характеристики екологічної небезпеки і розробки системи нормування забруднення ґрунту, як абіотичної складової будь-якої екосистеми, що зазнала антропогенного втручання в техногенно навантажених регіонах відносно важких металів. Гострота проблеми висвітлена на тлі урбоєкосистеми, де функціонування промислових підприємств зумовлює створення урбанізованого геохімічного фону, котрий може перевищувати природний в декілька разів.

**Методи дослідження.** Надані вимоги щодо екологічних норм, які мають бути орієнтовані на вирішення завдань оптимального функціонування екологічних властивостей ґрунтів, забезпечення їх сталості, відновлення родючості, збереження земельних ресурсів шляхом мінімізації негативного впливу.

**Наукова новизна.** На прикладі м. Дніпро здійснена екологічна оцінка поелементного забруднення ґрунтів урбоєкосистеми міддю за запропонованою системою нормування.

Змістовно обґрунтовано використовувати для екологічного нормування поелементного забруднення важкими металами ґрунту урбоєкосистем концентрації їх природного геохімічного фону, як за валовим вмістом, так і за рухомими формами.

**Практична значимість.** Запропоновано при встановленні ступеня екобезпеки зважати також на вміст рухомих форм забруднювачів, як таких, що завдяки своїй мобільності здатні мігрувати трофічними ланцюгами в екосистемах. Визначено інтенсивність забруднення Cu ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро за валовим вмістом – як слабку та за рухомими формами – дуже сильну.

**Результат.** Встановлено, що підвищення рухомості, через втрату буферної здатності міськими ґрунтами, відбивається на невідповідності результатів оцінок за валовим вмістом і рухомими формами важких металів.

**Ключові слова:** важкі метали, мідь, ґрунт, забруднення, урбоекосистема, нормування.

**Яковишина Т.Ф.** Экологическое нормирование поэлементного загрязнения почвы урбоэкосистемы тяжелыми металлами по фоновой концентрации

**Цель.** В статье проанализированы существующие в Украине и за рубежом подходы относительно нормирования поэлементного загрязнения почв тяжелыми металлами за ПДК, концентрацией природного геохимического фона, интегральным показателем биологического состояния, Soil Screening Value, показаны их преимущества и недостатки. Актуальность данной работы касается поиска показателей характеристики экологической опасности и разработку системы нормирования загрязнения почвы, как абиотичной составляющей любой экосистемы, которая испытала антропогенного вмешательства в техногенно нагруженных регионах относительно тяжелых металлов. Острота проблемы освещена на фоне урбоекосистемы, где функционирование промышленных предприятий предопределяет создание урбанизированного геохимического фона, который может превышать естественный в несколько раз.

**Методы исследования.** Предоставленные требования относительно экологических норм, которые должны быть ориентированы на решение заданной оптимальной функционирования экологических свойств почв, обеспечения их постоянства, возобновления плодородия, сохранения земельных ресурсов путем минимизации негативного влияния.

**Научная новизна.** На примере г. Днепр осуществлена экологическая оценка поэлементного загрязнения почв урбоекосистемы медью по предложенной системе нормирования.

Содержательно обоснованно использовать для экологического нормирования поэлементного загрязнения тяжелыми металлами почвы урбоекосистем концентрации их природного геохимического фона, как за валовым содержанием, так и за подвижными формами.

**Практическая значимость.** Предложено при установлении степени екобезпеки считаться также с содержанием подвижных форм загрязнителей, как таковых, что благодаря своей мобильности способны мигрировать трофическими цепями в экосистемах. Определена интенсивность загрязнения Cu почв урбоекосистемы г. Днепр за валовым содержанием - как слабую и за подвижными формами - очень сильную.

**Результат.** Установлено, что повышение подвижной, через потерю буферной способности городскими почвами, отражается на несоответствии результатов оценок за валовым содержанием и подвижными формами тяжелых металлов.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, медь, почва, загрязнение, урбоекосистема, нормирование.

**Yakovyshyna T.F.** Ecological rationing of the elemental contamination of the soil by the heavy for the background concentration

**Purpose.** In the article, existing is analysed in Ukraine and abroad approaches in relation to setting of norms of memberwise contamination of soils heavy metals after ПДК, concentration of natural geochemical background, integral index of the biological state, Soil Screening Value, their advantages and defects are shown. Actuality hired touches the search of indexes of description of ecological danger and development of the system of setting of norms of contamination of soil, as абиотичної making any ecosystem which tested anthropogenic interference in the technogenic loaded regions in relation to heavy metals. The sharpness of problem is lighted up on a background урбоекосистеми, where functioning of industrial enterprises predetermines creation of the urbanized geochemical background which can exceed natural in several times.

**Research methods.** Given requirements in relation to ecological norms, which must be decision-oriented, providing of their constancy, proceeding in fertility, maintenance of the landed resources by minimization of negative influence tasks of the optimal functioning of ecological properties of soils.

**Scientific novelty.** On an example Dnepr the ecological estimation of memberwise contamination of soils а урбоекосистеми copper is carried out on the offered system of setting of norms.

Richly in content reasonably to use for the ecological setting of norms of memberwise contamination the heavy metals of soil of урбоекосистем concentration of their natural geochemical background, both after gross content and after mobile forms.

**Practical meaningfulness.** It is suggested at establishment of degree of екобезпеки to consider also by content of mobile forms of pollutants, as such, that due to the mobility able to migrate trophic chains in ecosystems. Intensity of contamination of Cu of soils is certain урбоекосистеми Dnepr after gross content - as weak and after mobile forms - very strong.

**Result.** It is set that increase mobile, through the loss of buffer ability town soils, affects disparity of results of estimations after gross content and mobile the forms of heavy metals.

**Key words:** heavy metals, soil, copper, contamination, urban ecosystems, rationing.

УДК 622.733-52

**Жосан А.А. Федоренко О.Л.** Дуальне управління перевернутим маятником як “чорним ящиком”

**Мета.** Проблема стабілізації перевернутого маятника привертає увагу багатьох дослідників з синтезу систем управління динамічними об'єктами. Його вважають одним з тестових об'єктів, на якому можна перевіряти якість систем управління об'єктами такими як: корабель з гвинтом, розташованим у задній частині, ракета, транспорт, що рухається за допомогою буксиру, механізми вертикального підйому, механізми роботів та ін. Існуючі роботи з даного напрямку базуються на лінійній концепції. Однак, більшість об'єктів є нелінійними та нестационарними. Тому такі методика не дають задовільного результату. Нейромережеві регулятори виявляються дуже громіздкими, потребують повторного тренування мережі. Метою даної роботи є розробка алгоритму стабілізації перевернутого маятника у верхньому нестійкому положенні та інших положеннях при різних початкових кутах відхилення. При цьому параметри та структура моделі маятника невідомі. Маятник розглядається як “чорний ящик”.

**Методи дослідження.** Методи дослідження ґрунтуються на концепції дуального непараметричного керування. На основі спостереження за об'єктом створюється розширена матриця стану, яка включає як керуючі дії так і реакцію на них. Ця матриця не містить і не потребує знання параметрів та структури об'єкта керування. Параметри матриці оновлюються на кожному кроці дискретності. За допомогою спеціального алгоритму обробки матриці одержується керуюча дія.

**Наукова новизна.** Наукова новизна полягає у тому, що шляхом чисельного моделювання з застосуванням концепції дуальної непараметричної моделі показана можливість стабілізації перевернутого маятника у різних положеннях (а не тільки у верхньому) при невідомих його параметрах.

**Практична значимість.** Отримані результати можна використати при створенні систем керування такими об'єктами як елементи робото технічних систем, літальні апарати, буксири у системах водного транспорту. При цьому не виникає необхідність у вимірюванні та корекції параметрів регулятора при зміні параметрів об'єкта керування.

**Результати.** Одержані результати повністю підтвердили правильність обраного підходу щодо створення системи стабілізації руху перевернутого маятника у межах поставленої задачі. Особливо важливо, що вдалося досягти стабілізації горизонтального положення маятника при керуючій дії горизонтального напрямку.

**Ключеві слова:** “чорний ящик”, розширена матриця стану, принцип суперпозиції, нейромережевих регулятор, рівняння Лагранжа, локальна модель, глобальна модель.

**Жосан А.А. Федоренко О. Л.** Дуальное управление управление обратным маятником как “черным ящиком”

**Цель.** Проблема стабилизации обратного маятника привлекает внимание многих исследователей по синтезу систем управления динамическими объектами. Его считают одним из тестовых объектов, на котором можно проверять качество систем управления объектами такими как: корабль с винтом, расположенным в задней части, ракета, транспорт, который движется с помощью буксира, механизмы вертикального подъема, механизмы роботов и др. Существующие работы по данному направлению базируются на линейной концепции. Однако, большинство объектов являются нелинейными и нестационарными. Поэтому такие методики не дают удовлетворительного результата. Нейросетевые регуляторы оказываются очень громоздкими, требуют повторного тренировки сети. Целью данной работы является разработка алгоритма стабилизации обратного маятника в верхнем неустойчивом положении и других положениях при различных начальных углах отклонения. При этом параметры и структура модели маятника неизвестны. Маятник рассматривается как “черный ящик”.

**Методы исследования.** Методы исследования основываются на концепции непараметрического дуального управления. На основе наблюдения за объектом создается расширенная матрица состояния, которая включает как управляющие действия так и реакцию на них. Эта матрица не содержит и не требует знания параметров и структуры объекта управления. Параметры матрицы обновляются на каждом шаге дискретности. С помощью специального алгоритма обработки матрицы получаем управляющее воздействие.

**Научная новизна.** Научная новизна заключается в том, что путем численного моделирования с применением концепции дуальной непараметрической модели показана возможность стабилизации обратного маятника в различных положениях (а не только в верхнем) при неизвестных его параметрах.

**Практическая значимость.** Полученные результаты можно использовать при создании систем управления такими объектами как элементы робототехнических систем, летательные аппараты, буксиры в системах водного транспорта. При этом не возникает необходимость в измерении и коррекции параметров регулятора при изменении параметров объекта управления.

**Результаты.** Полученные результаты полностью подтвердили правильность выбранного подхода относительно создания системы стабилизации движения обратного маятника в пределах поставленной задачи. Особенно важно, что удалось добиться стабилизации горизонтального положения маятника при управляющем воздействии горизонтального направления.

**Ключевые слова:** “черный ящик”, расширенная матрица состояния, принцип суперпозиции, нейросетевой регулятор, уравнение Лагранжа, локальная модель, глобальная модель.

**Zhosan A., Fedorenko O.** Dual control of an inverted pendulum as a “blackbox”

**Aim.** The problem of stabilizing the inverted pendulum attracts attention of many scholars involved in synthesizing the dynamic object control systems. The inverted pendulum is considered to be one of the models for testing the quality of control systems for various objects such as for ships with after propellers, rockets, missiles, towed transport, vertical elevating mechanisms, robotic devices etc. Available studies in this field are based on the linear concept. However, most objects being non-linear and non-stationary, such methods do not produce satisfactory results. Neural network regulators are cumbersome and require repetitive trainings of the network. The aim of this paper is to develop an algorithm of stabilizing the inverted pendulum in the unstable upright position and other positions with various initial deviation angles and with unknown parameters and a structure of the pendulum. Here, the pendulum is treated as a “blackbox”.

**Research Methods.** The research methods are based on the concept of dual non-parametric control. On the basis of observations, an expanded state matrix is created. It includes both control actions and responses to them. The matrix neither contains nor requires information of parameters or structure of the controlled object. Parameters of the matrix are renewed at every discrete interval. A special algorithm of matrix processing enables the action of control.

**Scientific Novelty.** Numerical modeling applying the dual non-parametric model concept proves the possibility of stabilizing the inverted pendulum in various positions (not only the upright one) and with unknown parameters.

**Practical Importance.** The obtained results can be used when creating systems for controlling various objects – elements of robotic systems, aircraft, tow-boats, etc. At that, change of controlled object parameters does not require measurements and correction of the regulator parameters.

**Results.** The obtained results prove correctness of the suggested method of creating the system for stabilizing the inverted pendulum. The most important achievement is stabilization of the pendulum horizontal position at the horizontal control force.

**Key words:** “blackbox”, expanded state matrix, superposition principle, neural network regulator, Lagrange equations, local model, global model.

УДК 622.236-047.44:622.232.72

**Вусик О.О., Пищик А.М.** Аналіз стану і перспектив безвибухової розробки гірських порід виймально-навантажувальними комбайнами фрезерного типу

**Мета.** На сьогоднішній час актуальним являється приділення уваги вивченню та дослідженню безвибухової розробки породного масиву в умовах залізрудних кар'єрів. Гірничодобувні підприємства перебуваючи в складних техніко-геологічних і гірничотехнічних умовах потребують нарощування об'ємів видобутку на значних глибинах, пошуку, дослідження і реалізації нових більш продуктивних технологічних схем виробництва.

**Методи.** Висвітлено аналіз стану і перспектив використання фрезерних комбайнів при відпрацюванні безвибуховим способом породних гірських масивів на кар'єрах шляхом обробки статистичних даних досвіду використання фрезерних комбайнів на гірничих підприємствах з метою визначення їх ефективності при розробці гірських порід. Проведено аналіз стану теоретичної і практичної ефективності перспектив використання безвибухового способу відпрацювання покладу гірських порід шляхом застосування гірничих комбайнів фрезерного типу. Розглянуто особливості руйнування гірських порід в залежності від фізико-механічних властивостей.

**Наукова новизна.** Виконано спробу обґрунтування способу використання фрезерних комбайнів при відпрацюванні гірських порід та їх ефективність, котрий дозволяє підвищити техніко-економічні показники роботи кар'єру. При адаптації безвибухової розробки породних масивів до діючої технології розробки родовища в умовах відпрацювання крутоспадних родовищ, що суттєво підвищує ефективність ведення відкритої розробки.

**Практична значимість.** Ефективність використання запропонованої технології розробки породних масивів на кар'єрах залежить від критеріїв оцінки вибору і застосування у відповідних умовах, оптимальної роботи виймально-навантажувальних комбайнів фрезерного типу на залізрудних кар'єрах та удосконалення технології розробки гірських порід. Гірничі комбайни фрезерного типу на сьогоднішній час можуть достатньо ефективно відпрацьовувати залізрудний масив з межею міцності на одноосьове стиснення до 80 МПа. В перспективі цей показник має тенденцію зростати.

**Результати.** Використання фрезерних комбайнів на залізрудних кар'єрах дає можливість ефективно відпрацьовувати тверді породи без попередньої підготовки порід до виймання вибухом. В перспективі пріоритетним напрямком являється оцінка механічного способу розробки гірських порід, підвищення ефективності його застосування, розробка технології відпрацювання залізрудних родовищ фрезерними комбайнами. Даний спосіб дозволяє підвищити техніко-економічні показники роботи кар'єру при адаптації безвибухової розробки породних масивів до умов відпрацювання крутоспадних родовищ, суттєво підвищити ефективність ведення відкритої розробки.

**Ключові слова:** масив, розробка, безвибуховий спосіб, фрезерний комбайн.

**Вусык О.А., Пыщик А.Н.** Анализ состояния и перспектив безвзрывной разработки горных пород выемочно-погрузочными комбайнами фрезерного типа

**Цель.** На сегодняшнее время актуальным является уделить внимание изучению и исследованию безвзрывной разработки породного массива в условиях железорудных карьеров. Горнодобывающие предприятия, находясь в сложных технико-геологических и горнотехнических условиях, требуют наращивания объемов добычи на значительных глубинах, поиска, исследования и реализации, новых более производительных технологических схем производства.

**Методы.** Отражено анализ состояния и перспектив использования фрезерных комбайнов при отработке безвзрывным способом породных горных массивов на карьерах путем обработки статистических данных опыта использования фрезерных комбайнов на горных предприятиях с целью определения их эффективности при разработке горных пород. Проведен анализ состояния теоретической и практической эффективности перспектив использования безвзрывного способа отработки залежи горных пород путем применения горных комбайнов фрезерного типа. Рассмотрены особенности разрушения горных пород в зависимости от физико-механических свойств.

**Научная новизна.** Сделана попытка обоснования способа использования фрезерных комбайнов при отработке горных пород и их эффективность, который позволяет повысить технико-экономические показатели работы карьера. При адаптации безвзрывной разработки породных массивов к действующей технологии разработки месторождения в условиях отработки крутопадающих месторождений, что существенно повышает эффективность ведения открытой разработки.

**Практическая значимость.** Эффективность использования предложенной технологии разработки породных массивов на карьерах зависит от критериев оценки выбора и применения в соответствующих условиях, оптимальной работы выемочно-погрузочных комбайнов фрезерного типа на железорудных карьерах и совершенствование технологии разработки горных пород. Горные комбайны фрезерного типа на сегодняшний день могут достаточно эффективно обрабатывать железорудный массив с пределом прочности на одноосное сжатие до 80 МПа. В перспективе этот показатель имеет тенденцию возрастать.

**Результаты.** Использование фрезерных комбайнов на железорудных карьерах дает возможность эффективно отрабатывать твердые породы без предварительной подготовки пород к выемке взрывом. В перспективе пріоритетным направлением является оценка механического способа разработки горных пород, повышения эффективности его применения, разработка технологии отработки железорудных месторождений фрезерными комбайнами. Данный способ позволяет повысить технико-экономические показатели работы карьера при адаптации безвзрывной разработки породных массивов в условиях отработки крутопадающих месторождений, существенно повысить эффективность ведения открытой разработки.

**Ключевые слова:** массив, разработка, безвзрывной способ, фрезерный комбайн.

**Vusyk O.O., Pyzyk A.M.** Analysis of the state and prospects non-blasting development of rocks mining extraction and loading milling combines

**Goal.** To date, it is urgent to pay attention to the study and study of the non-blasting mining the rock massif in the conditions of iron ore quarries. Mining enterprises, being in difficult technical geological and mining conditions, require increasing production at significant depths, searching, researching and implementing new, more productive technological production schemes.

**Methods.** The analysis of the condition and prospects of the use of milling combines for working out the rock massifs in open-pit mines by quarrying by processing statistical data on the experience of using milling combines at mining enterprises with the purpose of determining their effectiveness in the mining rocks is reflected. The analysis of the state of theoretical and practical effectiveness of the prospects of using a non-blasting method for working out a deposit of rocks by using mountain milling combines is carried out. The features of the destruction of rocks depending on the physical and mechanical properties are considered.

**Scientific novelty.** An attempt has been made to justify the way in which milling combines are used in rock mining and their efficiency, which makes it possible to increase the technical and economic performance of the pit. With the adaptation of the non-blasting mining rock massifs to the existing field development technology in the conditions of mining steeply falling deposits, which significantly improves the efficiency of open mining.

**Practical significance.** The efficiency of using the proposed technology for the mining rock massifs in pits depends on the criteria for assessing the choice and application under appropriate conditions, the optimal operation of milling type mowing-type mowers on iron ore pits and the improvement of mining technology. Mining combines of a milling type for today can efficiently work out an iron ore massif with strength of uniaxial compression up to 80 MPa. In the future, this indicator tends to increase.

**Results.** The use of milling combines in iron ore pits makes it possible to effectively work hard rock without preliminary preparation of rocks for excavation by explosion. In the long term, the priority is to evaluate the mechanical method of mining rocks, improve the efficiency of its use, and develop technology for mining iron ore deposits by milling combines. This method allows increasing the technical and economic performance of the pit during the adaptation of the non-blasting mining of rock massifs in the conditions of working off steeply declining deposits, substantially increasing the efficiency of conducting open mining.

**Key words:** massif, mining, non-blasting method, milling combine.

УДК 621.22 (6.04)

**Голишев О.М., Деньгуб В.І., Коновалюк В.А.** Емпірико-аналітичний метод розрахунку гравітаційної швидкості осідання твердих частинок

**Мета.** Вихідними даними для проектування і подальшої експлуатації систем вентиляції, аспірації, напірного і безнапірного гідротранспорту зернистих частинок є значення гравітаційної швидкості осідання (швидкості витання) в транспортних потоках. Через складну залежність коефіцієнта лобового опору частинок від числа Рейнольдса, яка визначається експериментально і подається в табличній або графічній формі, виникає необхідність проведення наближених розрахунків. Це створює певні незручності і потребує значного проміжку часу. Метою роботи є розробка зручного методу розрахунку гравітаційної швидкості осідання твердих частинок.

**Методи дослідження.** В роботі використано аналітичний метод дослідження, за допомогою якого встановлено математичну залежність між коефіцієнтом опору при русі частинок в рідині, числом Рейнольдса і гравітаційною швидкістю осідання.

**Наукова новизна.** Заміна табличної і графічної форми подання експериментальних даних емпіричною залежністю з подальшим використанням розрахункових параметрів з неперервною зміною розміру частинок і густини матеріалу.

**Практична значимість.** На основі проведених досліджень рекомендовано табличну або графічну форми експериментальних даних залежності коефіцієнта лобового опору ілюструвати емпіричною залежністю від чисел Рейнольдса. Вказано загальний вигляд емпіричної залежності, яку можливо застосувати для різних форм частинок подрібненого матеріалу. Використання емпіричної залежності в подальших розрахунках дозволяє аналітично розраховувати гравітаційну швидкість осідання частинок.

**Результати.** Рекомендований емпірично-аналітичний метод розрахунку дозволяє зменшити час розрахунків при більш широкому діапазоні зміни вихідних параметрів обчислень.

**Ключові слова:** Інженерна гідравліка, гравітаційне осідання частинок, метод розрахунку.

**Гольшев А.М., Деньгуб В.И., Коновалюк В.А.**

Эмпирико-аналитический метод расчета гравитационной скорости оседания твердых частиц

**Цель.** Исходными данными для проектирования и последующей эксплуатации систем вентиляции, аспирации, напорного и безнапорного гидротранспорта зернистых частиц имеет значение гравитационной скорости оседания (скорости витания) в транспортных потоках. Из-за сложной зависимости коэффициента лобового сопротивления частиц от числа Рейнольдса, которая определяется экспериментально и подается в табличной или графической форме, возникает необходимость проведения приближенных расчетов. Это создает определенные неудобства и требует значительных затрат времени. Целью работы является разработка удобного метода расчета гравитационной скорости оседания твердых частиц.

**Методы исследования.** В работе использован аналитический метод исследования, с помощью которого установлено математическую зависимость между коэффициентом сопротивления при движении частиц в жидкости, числом Рейнольдса и гравитационной скоростью оседания.

**Научная новизна.** Замена табличной и графической формы представления экспериментальных данных эмпирической зависимостью с последующим использованием расчетных параметров с непрерывным изменением размера частиц и плотности материала.

**Практическая значимость.** На основе проведенных исследований рекомендуется табличную и графическую формы представления экспериментальных данных зависимости коэффициента лобового сопротивления иллюстрировать эмпирической зависимостью от чисел Рейнольдса. Указан общий вид эмпирической зависимости, которую можно

применить для различных форм частиц измельченного материала. Использование эмпирической зависимости в дальнейших расчетах позволяет аналитически рассчитывать гравитационную скорость оседания частиц.

**Результаты.** Рекомендуемый эмпирико-аналитический метод расчета позволяет уменьшить время расчетов при более широком диапазоне изменения выходных параметров вычислений.

**Ключевые слова:** Инженерная гидравлика, гравитационное оседание частиц, метод расчета.

**Golyshev A.M., Dengub V.I., Konovalyuk V.A.,**

An empirical-analytical method for calculating the gravitational sedimentation rate of solid particles

**Objective.** The initial data for the design and subsequent operation of ventilation systems, aspiration, pressure and non-pressure hydrotransport of granular particles is determined by the gravitational velocity of subsidence (speed of flow) in traffic flows. Because of the complex dependence of the coefficient of drag of particles on the Reynolds number, which is determined experimentally and is supplied in tabular or graphical form, it becomes necessary to perform approximate calculations. This creates certain inconveniences and requires a considerable period of time. The aim of the work is to develop a convenient method for calculating the gravitational sedimentation rate of solid particles.

**Methods of research.** The analytical method of investigation is used in the work, with the help of which a mathematical relationship between the coefficient of resistance in the motion of particles in a liquid, the Reynolds number and the gravitational sediment velocity is established.

**Scientific novelty.** Replacing tabular and graphical form of representation of experimental data by empirical dependence with subsequent use of design parameters with continuous change in particle size and material density.

**Practical significance.** Based on the conducted studies, it is recommended to tabulate or graphical forms of experimental data of the drag coefficient to illustrate the empirical dependence on Reynolds numbers. The general form of the empirical dependence, which can be applied to various forms of particles of crushed material, is indicated. The use of empirical dependence in further calculations allows us to analytically calculate the gravitational sedimentation rate of particles.

**Results.** The recommended empirical-analytical method of calculation makes it possible to reduce the calculation time for a wider range of changes in the output parameters of the calculations.

**Keywords:** Engineering hydraulics, gravitational settling of particles, calculation method.

УДК 622.063.8

**Ширин А.Л., Расцветаев В.А., Инюткин И.В.** Оперативно-производственное управление техническим состоянием транспортно-технологических схем горнорудных предприятий

**Цель.** Создание системы оперативно-производственного контроля технического состояния горнотранспортного оборудования шахт и карьеров для повышения его адаптационной способности в сложных условиях эксплуатации.

**Методы исследования.** Анализ и оценка показателей надежности основных агрегатов и узлов погрузочно-доставочных машин по частоте выхода их из строя и потребности запасных частей для ликвидации неисправностей. Формирование банка данных об условиях эксплуатации и показателей исправного состояния и нормального функционирования узлов и агрегатов.

**Научная новизна.** Координация предупредительных замен деталей и предотвращение крупных поломок в узлах и агрегатах достигается путем оперативного диагностирования и, имея достаточное количество статистических данных об отказах узлов и агрегатов погрузочно-доставочной машины, определяет зависимость потребности запасных частей по категории сложности их устранения с планируемым удлинением межремонтных периодов. Показателями, оценивающими надежность погрузочно-доставочной машины нового поколения, следует считать коэффициенты технического использования и снижения эффективности машины.

**Практическое значение.** Адаптация самоходного оборудования высокого технического уровня в специфических условиях шахты Новокозантиновского месторождения и нерудных карьеров Украины, при соблюдении графиков технического обслуживания, позволит обеспечить оперативно-производственное определение технического состояния погрузочно-доставочных машин нового поколения и прогнозировать оптимальное функционирование технологических процессов добычи полезных ископаемых в сложных горнотехнических условиях эксплуатации.

**Результаты.** Установлено, что показатели надежности узлов и агрегатов погрузочно-доставочных машин нового поколения, определяются условиями их взаимодействия с характеристиками дорожного покрытия и элементами горных выработок. В этой связи исследования, направленные на установление рациональных параметров взаимодействующих элементов системы являются первоочередной задачей.

**Ключевые слова:** коэффициенты технического использования и снижения эффективности машины, транспортно-технологическая схема, техническое обслуживание, адаптация самоходного оборудования.

**Ширин А.Л., Расцветаев В.А., Инюткин И.В.** Оперативно-виробниче управління технічним станом транспортно-технологічних схем гірничорудних підприємств

**Мета.** Створення системи оперативно-виробничого контролю технічного стану гірничотранспортного устаткування шахт і кар'єрів для підвищення його адаптаційної здатності в складних умовах експлуатації.

**Методи дослідження.** Аналіз і оцінка показників надійності основних агрегатів і вузлів машин вантажних доставок по частоті виходу їх з ладу і потреби запасних частин для ліквідації несправностей. Формування банку даних про умови експлуатації і показників справного стану і нормального функціонування вузлів і агрегатів.

**Наукова новизна.** Координація попереджувальних заміни деталей і запобігання великим поломкам у вузлах і агрегатах досягається шляхом оперативного діагностування і, маючи достатню кількість статистичних даних про відмови вузлів і агрегатів машини вантажної доставки, визначає залежність потреби запасних частин по категорії складності їх усунення з планованим подовженням міжремонтних періодів. Показниками, що оцінюють надійність машини вантажної доставки нового покоління, слід рахувати коефіцієнти технічного використання і зниження ефективності машини.

**Практичне значення.** Адаптація самохідного устаткування високого технічного рівня в специфічних умовах шахти Новокозантинівського родовища і нерудних кар'єрів України, при дотриманні графіків технічного обслуговування,

дозволить забезпечити оперативно-виробниче визначення технічного стану машин вантажних доставок нового покоління і прогнозувати оптимальне функціонування технологічних процесів видобутку корисних копалин в складних гірничотехнічних умовах експлуатації.

**Результати.** Встановлено, що показники надійності вузлів і агрегатів машин вантажних доставок нового покоління, визначаються умовами їх взаємодії з характеристиками дорожнього покриття і елементами гірських вироблень. В зв'язку з цим дослідження, спрямовані на встановлення раціональних параметрів взаємодіючих елементів системи є першочерговим завданням.

**Ключові слова:** коефіцієнти технічного використання і зниження ефективності машини, транспортно-технологічна схема, технічне обслуговування, адаптація самохідного устаткування.

**Shyrin A.L., Raszvetaev V.A., Injutkin I.V.B.** Operatively productive management the technical state of transport - technological charts of mining enterprises

**Purpose.** Creation of the оперативно-производственного checking of the technical state of mine transport equipment of mines and quarries system for the increase of his adaptation ability in difficult external environments.

Research methods. Analysis and estimation of reliability of basic asms and knots of loading-deliverable machines indexes on frequency of output of them from a line-up and necessity of awaiting-parts for liquidation of disrepairs. Forming of bank of data about external and indexes of the in good condition state and normal functioning of knots and asms environments.

**Scientific novelty.** Co-ordination of preventive replacements of details and prevention of large breakages in knots and asms is arrived at by the operative diagnosticating and, having a sufficient amount of statistical data about the refuses of knots and asms of loading-deliverable machine, dependence of necessity of awaiting-parts determines on the category of complication of their removal with the planned lengthening of the TBO periods. By indexes, estimating reliability of loading-deliverable machine of new generation, it is necessary to count the coefficients of the technical use and decline of efficiency of machine.

**Practical value.** Adaptation of self-propelled equipment is advanced-technology in the specific terms of mine of Новокопчанського deposit and non-metallic quarries of Ukraine, at the observance of charts of technical service, will allow to provide оперативно-производственное determination of the technical state of loading-deliverable machines of new generation and forecast the optimal functioning of technological processes of mining in difficult горнотехнических external environments.

**Results.** It is set that reliability of knots and asms of loading-deliverable machines of new generation indexes, determined by the terms of their co-operating with descriptions of travelling coverage and elements of the mountain making. In this connection researches, sent to establishment of rational parameters of interactive elements of the system are a primary concern.

**Keywords:** coefficients of the technical use and decline of efficiency of machine, transport-technological chart, technical service, adaptation of self-propelled equipment.

УДК 622.834:622.862.3

**Иорданов И.В., Чепіга Д.А., Власенко Н.Н., Подкопаев С.В.** Исследование движения боковых пород при действии динамических нагрузок

**Цель.** Целью данной работы является изучение движения боковых пород при действии динамических нагрузок, проявляющихся в результате обрушений кровли разрабатываемого угольного пласта, с учетом особенностей проявления горного давления в угленосном массиве, вмещающем горные выработки.

**Методы исследований.** Для изучения особенностей опасных проявлений горного давления в угленосном массиве, вмещающем горные выработки, были проведены лабораторные эксперименты на моделях из оптически чувствительных материалов и аналитические исследования, с привлечением основных положений прикладной механики, теории упругости и теории колебаний.

**Научная новизна.** В результате проведенных исследований впервые установлено, что при обрушении боковых пород в горную выработку и их соударении с породами непосредственной кровли, представленных в виде длинной балки, величина ударного импульса не зависит от массы ударяемого тела и не изменяется при постоянных значениях скорости и массы обрушившихся пород. В таких условиях, при расчете на устойчивость пород непосредственной кровли, критическая нагрузка всегда подобна разрушающей при расчете балок на изгиб.

**Практическое значение.** Рекомендуется, при разработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях, для предотвращения аварийных ситуаций от действия динамических нагрузок и повышения безопасности труда горнорабочих, ориентироваться на способ управления кровлей – закладкой выработанного пространства.

**Ключевые слова:** оптические материалы, динамическое напряжение, колебания, ударный импульс, критическая нагрузка, управление кровлей.

**Иорданов И.В., Чепіга Д.А., Власенко М.М., Подкопаев С.В.** Дослідження руху бічних порід при дії динамічних навантажень

**Мета.** Метою даної роботи є вивчення руху бічних порід при дії динамічних навантажень, що виявляються в результаті обвалення покрівлі вугільного пласта, який розробляється, з урахуванням особливостей проявлення гірничого тиску в угленосному масиві, що вміщає гірничі виробки.

**Методи досліджень.** Для вивчення особливостей небезпечних проявів гірничого тиску в угленосному масиві, що вміщає гірничі виробки, були проведені лабораторні експерименти на моделях з оптично чутливих матеріалів і аналітичні дослідження, із залученням основних положень прикладної механіки, теорії пружності і теорії коливань.

**Наукова новизна.** В результаті проведених досліджень вперше встановлено, що при обваленні бічних порід в гірничу виробку і їх зіткненні з породами середньої покрівлі, представлених у вигляді довгої балки, величина ударного імпульсу не залежить від маси тіла, що ударяється, і не змінюється при постійних значеннях швидкості і маси порід, які обвалилися. В таких умовах, при розрахунку на стійкість порід середньої покрівлі, критичне навантаження завжди подібне руйнівному при розрахунку балок на вигин.

**Практичне значення.** Рекомендується, при розробці вугільних пластів в складних гірничо-геологічних умовах, для запобігання аварійних ситуацій від дії динамічних навантажень і підвищення безпеки праці гірників, орієнтуватися на спосіб управління покрівлею - закладкою виробленого простору.

**Ключові слова:** оптичні матеріали, динамічні напруження, коливання, ударний імпульс, критичне навантаження, управління покрівлею.

**Iordanov I.V., Chepiga D.A., Vlasenko N.N., Podkopaev S.V.** Study of side rock motion by dynamic loads

**Purpose.** The purpose of this work is to study the movement of the lateral rocks under the action of dynamic loads, manifested as a result of the collapse of the roof of the developed coal seam, taking into account the peculiarities of the manifestation of rock pressure in the coal-bearing rock massif containing the mining workings.

**Methods of research.** To study the peculiarities of dangerous manifestations of rock pressure in a coal-bearing rock massif containing rock mines, laboratory experiments were conducted on models of optically sensitive materials and analytical studies, involving the main provisions of applied mechanics, the theory of elasticity, and the theory of oscillations.

**Originality.** As a result of the conducted studies, it was established for the first time that when the lateral rocks collide into the mine workings and collide with the rocks of the immediate roof, represented as a long beam, the magnitude of the shock pulse does not depend on the mass of the impacted body and does not change at constant values of the velocity and mass of the collapsed rocks. In such conditions, when calculating the stability of the rocks of the immediate roof, the critical load is always similar to the bending beam that is destructive when calculating the beams.

**Practical value.** It is recommended, when working out coal seams in difficult mining and geological conditions, to prevent emergencies from the effect of dynamic loads and improving the safety of miners, to focus on the method of managing the roof - laying the worked out space.

**Keywords:** optical materials, dynamic stress, oscillations, impact pulse, critical load, roof control

УДК 624.012.45

**Герб П.І., Валовой О.І.** Ефективність використання відходів гзк, як заповнювача в бетонах, для підвищення тріщиностійкості при підсиленні залізобетонних балок

**Мета.** Метою даної роботи є порівняння експериментальних і розрахункових значень ширини розкриття тріщин підсиленних у розтягнутій зоні залізобетонних балок на відходах збагачення залізних руд при малоциклових навантаженнях.

**Методи дослідження.** Для експериментальних досліджень були виготовлено п'ять серій залізобетонних балок з бетону на відходах збагачення залізних руд. Всі серії балок, крім першої, були попередньо навантажені зусиллям яке становило 0,7...0,8 від руйнівного навантаження першої серії. Після чого балки були розвантажені та підсилені нарощуванням у розтягнутій зоні шаром бетону. Балки підсилювалися нарощуванням у розтягнутій зоні шаром бетону на відходах збагачення залізних руд.

**Наукова новизна.** Вперше отримано експериментальні дані щодо тріщиностійкості підсиленних у розтягнутій зоні згинальних залізобетонних елементів з бетону на заповнювачах із відходів збагачення залізних руд, які зазнають дії малоциклових навантажень високих рівнів. Виявлено закономірність характеру утворення й розкриття тріщин від початкових рівнів монотонно зростаючого навантаження і до руйнування, а також при дії високих рівнів малоциклового навантаження, у балках виготовлених і підсиленних бетоном з відходів збагачення залізних руд.

**Практична значимість.** Виявлена ефективність використання бетонів на заповнювачах з відходів збагачення магнітної сепарації ГЗК при підсиленні залізобетонних конструкцій, у розтягнутій зоні. Експериментально доведено можливість використання наявних методик розрахунку міцності для непідсиленних і підсиленних залізобетонних згинальних елементів виготовлених з бетонів на заповнювачах із відходів збагачення залізних руд з прийнятною для практичних задач точністю.

**Результати.** Результати розрахунку ширини розкриття нормальних тріщин підсиленних і непідсиленних балок позитивно відображають дослідні дані. При цьому теоретична ширина нормальних тріщин завжди більша за експериментальну, що свідчить про стійкість і надійність розрахункових формул. Чинні норми коефіцієнтами  $\phi_1$  та  $\psi_2$  забезпечують належний запас міцності при розрахунку ширини розкриття тріщин для елементів, що піддаються циклічним навантаженням, але не відображають залежність збільшення ширини розкриття тріщин від рівня максимального навантаження й кількості циклів. Експериментально доведено, що використання бетонів на відходах ГЗК в непідсиленних та підсиленних балках показує момент тріщиноутворення відповідно на 16 та 3% більший за розрахунковий.

**Ключові слова:** бетон, випробування, навантаження, відходи, тріщиностійкість, підсилення

**Герб П.И., Валовой А. И.** Эффективность использования отходов гзк, как заполнителя в бетонах, для повышения трещиностойкости при усилении железобетонных балок

**Цель.** Целью данной работы является сравнение экспериментальных и расчетных значений ширины раскрытия трещин усиленных в растянутой зоне железобетонных балок на отходах обогащения железных руд при малоцикловых нагрузках.

**Методы исследования.** Для экспериментальных исследований были изготовлено пять серий железобетонных балок из бетона на отходах обогащения железных руд. Все серии балок, кроме первой, были предварительно нагружены усилием которое представляло 0,7-0,8 от разрушительной нагрузки первой серии. После чего балки были разгружены и усилены наращиванием в растянутой зоне слоем бетона. Балки усиливались наращиванием в растянутой зоне слоем бетона на отходах обогащения железных руд.

**Научная новизна.** Впервые получены экспериментальные данные относительно трещиностойкости усиленных в растянутой зоне изгибистых железобетонных элементов из бетона на заполнителях из отходов обогащения железных руд, которые испытывают действие малоцикловых нагрузок высоких уровней. Выведена закономерность характера образования и раскрытия трещин от начальных уровней монотонно растущей нагрузки и до разрушения, а также при

действию высоких уровней малоциклового нагружения, в балках изготовленных и усиленных бетоном из отходов обогащения железных руд.

**Практическая значимость.** Выявленная эффективность использования бетонов на заполнителях из отходов обогащения магнитной сепарации ГЗК при усилении железобетонных конструкций, в растянутой зоне. Экспериментально доказана возможность использования имеющихся методик расчета прочности для неусиленных и усиленных железобетонных изгибистых элементов изготовленных из бетонов на заполнителях из отходов обогащения железных руд с приемлемой для практических задач точностью.

**Результаты.** Результаты расчета ширины раскрытия нормальных трещин усиленных и неусиленных балок положительно отображают опытные данные. При этом теоретическая ширина нормальных трещин всегда больше экспериментальной, что свидетельствует о стойкости и надежности расчетных формул. Действующие нормы коэффициентами  $\phi_1$  и  $\psi_b$  обеспечивают надлежащий запас прочности при расчете ширины раскрытия трещин для элементов, которые поддаются циклическим нагрузкам, но не отображают зависимость увеличения ширины раскрытия трещин от уровня максимальной нагрузки и количества циклов. Экспериментально доказано, что использование бетонов на отходах ГЗК в неусиленных и усиленных балках показывает момент трещинообразования соответственно на 16 и 3% больше расчетного.

**Ключевые слова:** бетон, испытание, нагрузка, отходы, трещиностійкість, усиление

**Gerb P.I., Valovoi O.I.** Effectiveness of using modc wastes as concrete aggregate for increasing crack resistance when strengthening of ferroconcrete beams

**Objective.** The objective of the work is comparison of the experimental and calculation values of the crack opening width for the strengthened ferroconcrete beams in the tensile zone at low cycle loads. The beams were made from the wastes of ore dressing.

**Research methods.** Five sets of the ferroconcrete beams were made from the concrete which contained the wastes of ore dressing. All beams' sets except the first one were pre-stressed with the load 0,7...0,8 from destructive load of the first set. Afterwards the beams were unloaded and strengthened by plating in the tensile zone with a concrete layer. The beams were strengthened by plating in the tensile zone with a layer of concrete made from the wastes of ore dressing.

**Academic novelty.** For the first time ever, the experimental crack resistance data for the strengthened in the tensile zone bending ferroconcrete elements are obtained. The concrete contained aggregates which were made from the wastes of ore dressing. The concrete elements were loaded at low cycles of the high levels. The mechanism of creating and opening the cracks was determined. The behavior of the cracks was studied from primary level of the monotonous increasing load to destruction. The beams manufactured and strengthened with concrete made from the wastes of ore dressing when low cycle loaded at high levels.

**Practical implications.** The effectiveness of using concretes with aggregates which were made from the wastes of magnetic separation dressing of MODC at the strengthening of the ferroconcrete structures in the tensile zone is determined.

Experimentally proved, that possibility of existing calculation methods' using is acceptable for calculation and practical application of the durability for non-strengthened and strengthened bending elements made from the wastes of ore dressing.

**Results.** The research data display the calculation results of the opening width for the normal cracks in the non-strengthened and strengthened beams. Moreover, theoretical width of the normal cracks is more than the experimental one. This results in the strength and safety of the calculation formulae. The existing regulations with coefficients  $\phi_1$  and  $\psi_b$  provide the necessary durability content when opening width calculating. These elements have been loaded by low cycle loads but they do not display the dependence between the increasing of the width for the crack opening and the level of the maximal load and cycles' quantity. Experimentally proved, that the using of the concrete made from the wastes of MODC in the non-strengthened and strengthened beams indicates that the factor of the crack originating is 16 and 3% more than the calculation one.

**Key words.** Concrete, tests, loads, wastes, crack resistance and strengthening.

УДК 621.879

**Веснін А. В., Крупко І. В., Сегін В. В.** Моделювання процесу пересування екскаватора з чотирьохпорним крокуючим рушієм

**Мета.** Метою даної роботи є розробка методики експериментальних досліджень працездатності крокуючого чотирьохпорного механізму пересування екскаваторів та пошук шляхів його удосконалення. Крокуючі механізми пересування знайшли широке застосування в гірничій промисловості, особливо на машинах з малою швидкістю пересування. Крокуючі механізми, як правило, застосовують на потужних екскаваторах-драглайнах з ковшем місткістю 4 м<sup>3</sup> і більше.

**Методи дослідження.** В роботі використані експериментальні методи дослідження механічних систем, включаючи фізичне моделювання механізму пересування та експериментальні дослідження при різних режимах пересування. Конструкція фізичної моделі чотирьохпорного крокуючого візка дозволяє проводити експериментальні дослідження в умовах, що моделюють процес переміщення такого механізму у гірничих виробках. Експериментальні дослідження були сплановані таким чином, що практично вдалося виключити вплив чинників, що не підлягають контролю і обліку. Метод експериментальних досліджень за допомогою фізичних моделей дозволяє отримати необхідні дані для оцінки надійності механізму і його структурних елементів і з достатнім ступенем вірогідності судити про працездатність досліджуваного об'єкта.

**Наукова новизна.** Крокуючий чотирьохпорний механізм пересування відноситься до нових конструкцій ходового обладнання екскаваторів, а дослідження величини і характеру зміни параметрів для таких механізмів мають визначне значення для їх подальшого застосування.

**Практична значимість.** Отримані результати експериментальних досліджень дозволяють визначити фактичні сили і кінематичні параметри процесу пересування крокуючого механізму пересування. Стримуючим фактором його реального застосування є відсутність обґрунтованих рекомендацій щодо визначення його раціональних параметрів з урахуванням конструктивних особливостей конкретної машини, для чого проводиться цілий ряд експериментальних

досліджень на фізичній моделі чотирьохопорного механізму пересування з метою підвищення ефективності його використання.

**Результати.** Встановлено раціональні параметри ексцентрика та характер зміни кінематичних і силових параметрів за один його повний оберт та визначені зміни тиску на ґрунт і способи його зменшення на діючих екскаваторах.

**Ключові слова:** екскавация в гірничих виробках, екскаватор-драглайн, крокуючий механізм пересування, фізична модель, ексцентрик, експериментальні дослідження.

**Веснін А. В., Крупко І. В., Сегін В. В.** Моделирование процесса передвижения экскаватора с четырехопорным шагающим двигателем

**Цель.** Целью данной работы является разработка методики экспериментальных исследований работоспособности шагающего четырехопорного механизма передвижения экскаваторов и поиск путей его усовершенствования. Шагающие механизмы передвижения нашли широкое приложение в горной промышленности, особенно на машинах с малой скоростью передвижения. Шагающие механизмы, как правило, применяют на мощном экскаваторах-драглайне с ковшем вместимостью  $4 \text{ м}^3$  и больше.

**Методы исследования.** В работе использованы экспериментальные методы исследования механических систем, включая физическое моделирование механизма передвижения и экспериментальные исследования при разных режимах передвижения. Конструкция физической модели четырехопорной шагающей тележки позволяет проводить экспериментальные исследования в условиях, которые моделируют процесс перемещения такого механизма в горных выработках. Экспериментальные исследования были спланированы таким образом, что практически удалось исключить влияние факторов, которые не подлежат контролю и учету. Метод экспериментальных исследований с помощью физических моделей позволяет получить необходимые данные для оценки надежности механизма и его структурных элементов и с достаточной степенью достоверности судить о работоспособности исследуемого объекта.

**Научная новизна.** Шагающий четырехопорный механизм передвижения относится к новым конструкциям ходового оборудования экскаваторов, а исследования величины и характера изменения параметров для таких механизмов имеют выдающееся значение для их дальнейшего приложения.

**Практическая значимость.** Полученные результаты экспериментальных исследований позволяют определить фактические силовые и кинематические параметры процесса передвижения шагающего механизма передвижения. Сдерживающим фактором его реального приложения есть отсутствие обоснованных рекомендаций относительно определения его рациональных параметров с учетом конструктивных особенностей конкретной машины, для чего проводится целый ряд экспериментальных исследований на физической модели четырехопорного механизма передвижения с целью повышения эффективности его использования.

**Результаты.** Установлены рациональные параметры ексцентрика и характер изменения кінематических и силових параметрів за один його повний оберт і определенні змінення тиску на ґрунт і способи його зменшення на діючих екскаваторах.

**Ключевые слова:** экскавация в горных выработках, экскаватор-драглайн, шагающий механизм передвижения, физическая модель, ексцентрик, експериментальні дослідження.

**Vesnin A., Krupko I., Segin V.** Modeling of movement of walking excavator with four outriggers walking arrangement

**The goal.** The goal of this paper is to develop the experimental research methods of excavators walking four outriggers movement mechanism efficiency and to find the ways of its improvement. Walking movement mechanisms are widely used in mining, especially in machines with low speed movement. Walking mechanisms are typically used in giant dragline with a  $4 \text{ m}^3$  and more bucket capacity.

**Methods.** The experimental researches of mechanical systems are used in the paper including physical modeling of the movement mechanism and experimental research in different movement modes. The design of the physical model of four outriggers walking bogie allows undertake an experimental study in conditions that simulate the movement of such mechanism in driftage's. The pilot study was planned in such a way that almost managed to eliminate the influence of factors not subject to control and accounting. The method of experimental studies using physical models allows obtaining required data to assess the reliability of the mechanism and its structural elements and with a sufficient degree of certainty to estimate the performance of the object.

**Scientific novelty.** Walking four outriggers movement mechanism applies to new excavators designs chassis, and research the parameters value and nature for such arrangements have outstanding meaning for their further use.

**The practical significance.** The results of experimental studies can determine the actual power and kinematic parameters of movement of the walking movement mechanism. Constraining factor in its actual use is absence of the grounded recommendations for estimation of rational parameters based design features of the machine, which conducted a series of experimental studies on physical model of four outriggers mechanism of movement in order to enhance its using.

**Results.** The rational parameters of the eccentric and character changes of the kinematics and power parameters for one complete rotation and changes of pressure on soil and ways to decrease it in the operating excavators are established.

**Keywords:** mining excavation, dragline, walking movement mechanism, physical model, eccentric, experimental studies.

УДК 681.513.6

**Кузьменко А.С., Барановська М.Л., Коломіц Г.В.** Дослідження систем з запізнюваннями для подальшої компенсації їх впливу на замкнуті системи управління технологічними процесами

**Мета.** Метою даної роботи є виконання аналізу проблеми регулювання в системах автоматичного управління, що містять протязні транспортні лінії, які викликають запізнювання. Аналіз проведено на прикладі ідентифікації даного об'єкта з запізнюваннями для подальшої настройки типового промислового регулятора. Результатом даного дослідження є отримання порівняльних характеристик, а не абсолютних значень, і оцінка якості регулювання процесу з використанням даного методу та представлених типів промислових регуляторів.

**Методи.** При виконанні теоретичних досліджень прийнято метод математичного моделювання об'єктів регулювання другого порядку. Розроблено і вдосконалено математичні моделі об'єктів регулювання та обґрунтовано основні і малозначимі параметри, що впливають на їх роботу.

**Наукова новизна.** Докладно вивчено питання теорії управління складними об'єктами, зроблено висновки та наведено практичні рекомендації по вибору систем регулювання об'єктів з чистим запізнюванням.

**Практична значимість.** Інтерес до систем управління з запізнюванням завжди був і залишається на досить високому рівні. Цей факт пояснюється рядом причин. Більшість виробничих процесів мають запізнювання, вплив яких на динамічні властивості системи дуже великий. Ряд об'єктів має приховані запізнювання, які в порівнянні з швидкодією процесів на об'єкті не великі. Такими запізнюваннями найчастіше нехтують. Але в ряді випадків вони є важливою властивістю об'єкта, яка вимагає її врахування при аналізі динамічних властивостей об'єкта.

**Результати.** Для деяких процесів динамічні характеристики об'єкта мають такі властивості, що найкращий (відносно якості перехідних процесів) спосіб регулювання буде неекономічним, тому в майже статичному режимі регулююча дія має бути або відсутньою, або мати мінімальне можливе значення. Проте у ряді випадків економічна доцільність отримання навіть невеликого приросту критерію якості може бути основою для використання складних систем управління, особливо для складних об'єктів з запізнюванням.

**Ключові слова:** регулювання, запізнювання, ідентифікація об'єкта, налаштування регулятора, вибір способу регулювання.

**Кузьменко А.С., Барановская М.Л., Коломиц Г.В.** Исследование систем с запаздыванием по дальнейшей компенсации их влияния на замкнутую систему управления технологическими процессами

**Цель.** Целью данной работы является выполнение анализа проблемы регулирования в системах автоматического управления, содержащих транспортные линии, которые вызывают запаздывания. Анализ проведен на примере идентификации объекта с запаздыванием для дальнейшей настройки типового промышленного регулятора. Результатом данного исследования является получение сравнительных характеристик, а не абсолютных значений, и оценка качества регулирования процесса с использованием данного метода и представленных типов промышленных регуляторов.

**Методы.** При выполнении теоретических исследований принят метод математического моделирования объектов регулирования второго порядка. Разработаны и усовершенствованы математические модели объектов регулирования и обоснованы основные и малозначимые параметры, влияющие на их работу.

**Научная новизна.** Подробно изучен вопрос теории управления сложными объектами, сделаны выводы и приведены практические рекомендации по выбору систем регулирования объектов с чистым запаздыванием.

**Практическая значимость.** Интерес к системам управления с запаздыванием всегда был и остается на достаточно высоком уровне. Этот факт объясняется рядом причин. Большинство производственных процессов имеют запаздывания, влияние которых на динамические свойства системы очень большие. Ряд объектов имеет скрытые запаздывания, которые по сравнению с скоростью процессов на объекте не велики. Такими запаздываниями чаще всего пренебрегают. Но в ряде случаев они являются важными свойствами объекта, требующих их учета при анализе динамических свойств объекта.

**Результаты.** Для некоторых процессов динамические характеристики объекта имеют свойства, для которых лучший (в отношении качества переходных процессов) способ регулирования будет неэкономичным, поэтому в почти статическом режиме регулирующее действие должно быть или отсутствовать, или иметь минимальное возможное значение. Однако в ряде случаев экономическая целесообразность получения даже небольшого прироста критерия качества может быть основой для использования сложных систем управления, особенно для сложных объектов с запаздыванием.

**Ключевые слова:** регулирование, запаздывание, идентификация объекта, настройки регулятора, выбор способа регулирования.

**Kuzmenko A.S., Baranovskaya M.L., Kolomits G.V.** Investigation of systems with delay for further compensation of their impact on the closed system of technological processes management

**Goal.** The aim of this paper is to perform an analysis of the control problem in automatic control systems containing transport lines that cause delays. The analysis was carried out on the example of identification of the object with delay for further adjustment of a typical industrial regulator. The result of this study is to obtain comparative characteristics, rather than absolute values, and an assessment of the quality of process control using this method and the types of industrial regulators presented.

**Methods.** When performing theoretical studies, a method of mathematical modeling of second-order control objects was adopted. Mathematical models of regulatory objects have been developed and improved, and the main and minor parameters that affect their operation have been substantiated.

**Scientific novelty.** The question of the theory of managing complex objects has been studied in detail, conclusions have been drawn and practical recommendations have been made on the choice of control systems for objects with a clean delay.

**Practical significance.** Interest in control systems with delay has always been and remains at a fairly high level. This fact is due to a number of reasons. Most production processes have delays, the impact of which on the dynamic properties of the system is very large. A number of objects have latent lags, which are not large compared to the speed of processes at the object. Such delays are most often neglected. But in a number of cases they are important properties of the object, requiring their consideration in the analysis of the dynamic properties of the object.

**Results.** For some processes, the dynamic characteristics of the object have properties for which the best (in terms of the transients quality) control method will be uneconomical, therefore, in an almost static mode, the regulating action must either be absent or have the smallest possible value. However, in some cases, the economic feasibility of obtaining even a small increase in the quality criterion can be the basis for the use of complex control systems, especially for complex objects with delay.

УДК 004.942

**Кузьменко А.С., Коломіц Г.В.** Порівняння моделей тягового електроприводу змінного та постійного струму кар'єрного самоскиду

**Мета.** Одним з актуальних питань в гірництві є оптимальне використання існуючого обладнання та механізмів з мінімальними витратами на його ремонт та обслуговування. У статті наведено результати дослідження роботи моделі тягового електроприводу кар'єрного самоскиду з урахуванням характеру технологічної траси для виявлення можливого перегріву електроприводу та оптимізації роботи самоскиду або кар'єрної траси. Основною задачею при створенні моделі було виявити можливі переваження електроприводу самоскиду і як наслідок цього перегрів синхронного генератора або приводних двигунів при роботі на технологічній трасі.

**Методи дослідження.** Базовими складовими моделі є некерований діодний міст та двигуни постійного струму, синхронний генератор, модель навантаження на валах двигунів. Проведений розрахунок параметрів моделі електроприводу. Розробка електроприводу кар'єрних самоскидів не стоїть на місці, впроваджуються більш сучасні та ефективні електроприводи. Модель дозволяє відстежувати електричні та температурні переваження в роботі електроприводу в залежності від характеру технологічної траси.

**Наукова новизна.** В статті наведені приклади моделювання руху БілАЗу при рідних умовах траси.

**Практична значимість.** Моделювання роботи сучасного електроприводу самоскиду дає можливість виявити переваження та неоптимальне його використання на технологічній трасі. Це дає змогу оптимізувати саму трасу кар'єру чи відвалу, визначити оптимальні маршрути руху транспорту що дасть можливість зекономити паливе та зменшити собівартість відпрацювання кар'єру. Створення моделі та її подальший аналіз проводився в математичному пакеті MatLab.

**Результати.** Створенню моделі тягового електроприводу кар'єрного самоскиду присвячена серія робіт, включаючи цю.

**Ключові слова:** кар'єрний самоскид, електропривод, модель, технологічна траса.

**Кузьменко А.С., Коломіц Г.В.** Сравнение моделей тягового электропривода переменного и постоянного тока карьерных самосвалов

**Цель.** Одним из актуальных вопросов в горном деле является оптимальное использование существующего оборудования и механизмов с минимальными затратами на его ремонт и обслуживание. В статье приведены результаты исследования работы модели тягового электропривода карьерного самосвала с учетом характера технологической трассы для выявления возможного перегрева электропривода и оптимизации работы самосвала или карьерной трассы. Основной задачей при создании модели было выявить возможные перегрузки электропривода самосвала и как следствие этого перегрев синхронного генератора или приводных двигателей при работе на технологической трассе.

**Методы исследования.** Базовыми составляющими модели являются неуправляемый диодный мост и двигатели постоянного тока, синхронный генератор, модель нагрузки на валах двигателей. Проведенный расчет параметров модели электропривода. Разработка электропривода карьерных самосвалов не стоит на месте, внедряются более современные и эффективные электроприводы. Модель позволяет отслеживать электрические и температурные перегрузки в работе электропривода в зависимости от характера технологической трассы.

**Научная новизна.** В статье приведены примеры моделирования движения БелАЗ при разных условиях трассы.

**Практическая значимость.** Моделирование работы современного электропривода самосвала дает возможность выявить перегрузки и неоптимальное его использования на технологической трассе. Это позволяет оптимизировать саму трассу карьеру или отвала, определить оптимальные маршруты движения транспорта что позволит сэкономить топливо и уменьшить себестоимость отработки карьеру. Создание модели и ее последующий анализ проводился в математическом пакете MatLab.

**Результаты.** Созданию модели тягового электропривода карьерного самосвала посвящена серия работ, включая эту.

**Ключевые слова:** карьерный самосвал, электропривод, модель, технологическая трасса.

**Kuzmenko A.S., Kolomits A.V.** Career dumpers ac and dc electric drive models comparison

**Goal.** One of the topical issues in mining is the optimal use of existing equipment and mechanisms with minimal costs for its repair and maintenance. The article presents the results of a study of the operation of the traction electric drive model of a mining dump truck, taking into account the nature of the technological road in order to identify possible overheating of the electric drive and optimize the operation of the dump truck or the career track. The main task in creating the model was to identify possible overloads of the dump truck electric drive and, therefore, overheating of the synchronous generator or drive motors while working on the technological route.

**Methods of research.** The basic components of the model are an uncontrolled diode bridge and DC motors, a synchronous generator, a load model on motor shafts. Calculation of the parameters of the electric drive model. The development of the electric drive for quarry dump trucks does not stand still, more modern and efficient electric drives are introduced. The model allows monitoring the electrical and temperature overloads in the operation of the electric drive, depending on the nature of the technological route.

**Scientific novelty.** The article gives examples of BelAZ motion simulation under different conditions of the route.

**Practical significance.** Modeling the operation of a modern electric drive of a dumper makes it possible to identify overloads and its non-optimal use on the technological route. This allows you to optimize the very path of a career or dump, determine the optimal routes of traffic that will save fuel and reduce the cost of working off a career. The creation of the model and its subsequent analysis was carried out in the mathematical package MatLab.

**Results.** A series of works, including this one, is devoted to the creation of the traction drive electric drive model of a mining dump truck.

**Keywords:** mine dump truck, electric drive, model, technological route.

УДК

**Лапшин О.Є., Черняєва Т.А., Вознікова О.А., Токар Т.Ю., Науменко С.В., Коток Л.І.** Епідеміологічний нагляд за ентеровірусними інфекціями на сучасному етапі в місті Кривому Розі

Автори діляться своїм практичним досвідом по організації практичного нагляду за ентеровірусними інфекціями, надають дані про частоту позитивних лабораторних вірусологічних досліджень на ентеровіруси у людей, зовнішньому середовищі.

**Основні положення** про поліомієліт, розкрито окремі профілактичні заходи, що здійснюються з метою попередження захворювання. Приведені дані про випадки інфікування дітей вірусом поліо- у Закарпатській області та моніторингу циркуляції поліо- та інших ентеровірусів у навколишньому середовищі. Розглянуто державну програму захисту дітей від захворювання, смерті, інвалідизації шляхом проведення рутинної імунізації.

**Метою** епідеміологічного нагляду за ентеровірусними інфекціями є попередження підвищеного ризику спалаху поліомієліту в Україні та елімінації вірусу в державі шляхом створення колективного імунітету, що зупинить циркуляцію вірусу.

**Основним методом досягнення мети** є проведення рутинної імунізації – програми, яка проводиться для всього населення, зокрема для всіх дітей, щоб забезпечити захист від смерті, інвалідизації та захворювань, які можуть викликати інфекції. Проведення турової імунізації (або додаткові заходи з імунізації, кампанія з додатковою імунізацією) передбачають введення додаткових доз вакцини для великої кількості населення протягом короткого періоду.

**Науковою новизною** є запровадження інформаційної підсистеми як основного елемента епідеміологічного нагляду, яка забезпечує отримання даних щодо епідемічної ситуації і базується на результатах вірусологічних досліджень.

**Здійснення епідеміологічного нагляду** за ентеровірусними інфекціями не можливо без належного вірусологічного лабораторного забезпечення. Вірусологічний моніторинг ентеровірусних інфекцій є провідною складовою інформаційної підсистеми епідеміологічного нагляду за цими хворобами. Від його результативності залежить ефективність його функціонування аналітично-діагностичної та організаційно-виконавчої підсистем. Велике значення має створення колекції ентеровірусів, її належне зберігання, що є запорукою для розвитку молекулярної епідеміології ентеровірусних інфекцій, прогнозування перебігу їх епідемічного процесу.

**Ключові слова:** ентеровірусні інфекції, поліовіруси, елімінація поліомієліту, імунопрофілактика

**Лапшин О. Е., Черняева Т.А., Возникова О. А., Токар Т.Ю., Науменко С.В., Коток Л. И.**

Эпидемиологический надзор за энтеровирусными инфекциями на современном этапе в городе Кривом Роге

Авторы делятся своим практическим опытом по организации практического надзора за энтеровирусными инфекциями, предоставляют данные о частоте позитивных лабораторных вирусологических исследований на энтеровирусы у людей, внешней среде.

**Основные положения** о полиомиелите, раскрыты отдельные профилактические меры, которые осуществляются с целью предупреждения заболевания. Приведены данные о случаях инфицирования детей вирусом полио- в Закарпатской области и мониторинге циркуляции полио- и других энтеровирусом в окружающей среде. Рассмотрена государственная программа защиты детей от заболевания, смерти, инвалидизации путем проведения рутинной иммунизации.

**Целью** эпидемиологического надзора за энтеровирусными инфекциями является предупреждение повышенного риска вспышки полиомиелита в Украине и элиминации вируса в государстве путем создания коллективного иммунитета, который остановит циркуляцию вируса.

**Основным методом достижения** цели является проведение рутинной иммунизации - программы, которая проводится для всего населения, в частности для всех детей, чтобы обеспечить защиту от смерти, инвалидизации и заболеваний, которые могут вызывать инфекции. Проведения туровой иммунизации (или дополнительные мероприятия по иммунизации, кампания из дополнительной иммунизации) предусматривают введение дополнительных доз вакцины для большого количества населения в течение короткого периода.

**Научной новизной** является ввод информационной подсистемы как основного элемента эпидемиологического примотра, которая обеспечивает получение данных относительно эпидемической ситуации и базируется на результатах вирусологических исследований.

**Осуществление эпидемиологического надзора** за энтеровирусными инфекциями не возможно без должного вирусологического лабораторного обеспечения. Вирусологический мониторинг энтеровирусных инфекций является ведущей составляющей информационной подсистемы эпидемиологического надзора за этими болезнями. От его результативности зависит эффективность его функционирования аналитически-диагностической и организационно-исполнительной подсистем.

**Результаты.** Большое значение имеет создание коллекции энтеровирусом, ее надлежащее хранение, которое является залогом для развития молекулярной эпидемиологии энтеровирусных инфекций, прогнозирования хода их эпидемического процесса.

**Ключевые слова:** энтеровирусные инфекции, полиовирус, элиминация полиомиелита, имунопрофилактика

**Lapshyn A.E., Chershjaeva T.A., Voznikova O.A., Tokar N.Ju., Naumenko S.V., Kotok L.I.** Epidemiology supervision after enterovirus infections on the modern stage in city the Kryvy Rih

Authors are divided by the practical experience on organization of practical supervision after enterovirus infections, give data about frequency of positive laboratory virologic researches on enterovirus for people, to the external environment.

**Purpose.** Substantive provisions about poliomyelitis, separate prophylactic measures which are carried out with the purpose of warning of disease are exposed. Infecting over of children given about cases is brought the virus of polio - in the Transcarpathian area and monitoring of circulation of polio - and other enterovirus in an environment. The government program of defence of children is considered from a disease, death, инвалидизації by realization of conservative immunization.

**By the purpose** of the purpose of epidemiology supervision after enterovirus infections is warning of enhanceable risk of flash of poliomyelitis in Ukraine and элиминации of of virus in the state by creation of collective immunity which will stop circulation of virus.

**The basic method** of gaining end is realization of conservative immunization - program which is conducted for all population, in particular for all children, to provide protecting from death, інвалідизації and diseases which can cause infections. Realizations of тупової immunization (or additional measures on immunization, campaign from additional immunization) foresee introduction of additional doses of vaccine for plenty of population during a short period.

is an input of informative subsystem as a basic element of epidemiology supervision, which provides the receipt of data in relation to an epidemic situation and is based on the results of virologic researches.

Realization of epidemiology supervision after enterovirus infections not possibly without the due of the virologic laboratory providing. The virologic monitoring of enterovirus infections is leading making informative subsystem of epidemiology supervision after these illnesses. On his effectiveness efficiency of his functioning depends analytically-diagnostic and organizationally-executive subsystems.

**Results.** A large value has creation of collection of enterovirus, her proper storage, which is a mortgage for development of molecular epidemiology of enterovirus infections, prognostication of motion of their epidemic process.

**Keywords:** enterovirus infections, polynomiality, eliminatsija of poliomyelitis, иммуно prophylaxis

УДК 622.271

**Максимов І.І., Слободянюк Р.В.** Особливості визначення раціонального положення перевантажувального пункту у кар'єрі

**Мета.** Метою даної роботи є розробка методологічної основи для визначення точки Ферма-Торрічеллі для кількості екскаваторних вибоїв, що перевищує три, а також з урахуванням впливу на оптимальну точку зведення відмінностей у продуктивності екскаваторних вибоїв.

**Методи дослідження.** У статті наданий огляд сучасних досліджень, в яких для мінімізації логістичних процесів використовуються алгоритми з використання точки Ферма-Торрічеллі-Штейнера. У роботі використані методи математичної оптимізації. З огляду на математичну складність розв'язуваної задачі, координати оптимальної точки зведення раціонально визначати методом сіток або градієнтним методом.

**Наукова новизна.** Технологія гірничих робіт з використанням перевантажувальних складів широко розповсюджена на глибоких залізрудних кар'єрах. У більшості випадків, при прийнятті рішення про місце розташування перевантажувального складу в першу чергу до уваги береться його висотне положення в просторі кар'єру. Але положення перевантажувального пункту в плані теж має значний вплив на техніко-економічні показники відкритих гірничих робіт. Традиційний підхід, що розглядає в якості оптимальної точки звозу точку центра ваги, не є гарантією забезпечення мінімального значення транспортної роботи. В математиці відома точка Ферма-Торрічеллі, яка забезпечує мінімальну відстань до вершин трикутника. Показано, що коли область виконання гірничих робіт не можна апроксимувати правильною геометричною фігурою, точка центру ваги не є такою, що забезпечує мінімальну транспортну роботу. В такому випадку мінімальна транспортна робота забезпечується при співпадінні точки звозу з точкою Ферма-Торрічеллі.

**Практична значимість.** З точки зору відкритої розробки, особливе практичне значення має розробка методу, що дозволить визначити оптимальну точку звозу для робочої зони кар'єру за відомими координатами характерних точок з урахуванням вагових коефіцієнтів. Запропоновано рішення задачі визначення раціональної точки зведення розділити на кілька етапів. На першому етапі визначаємо координати центру ваги даної області. На другому етапі визначаємо координати точки Ферма-Торрічеллі методом сіток або градієнтним методом, прийнявши за початок умовної системи координат точку центра ваги.

**Результати.** Запропонований метод дозволяє визначити оптимальну точку зведення гірничої маси (мінімум транспортної роботи) для довільної кількості екскаваторних вибоїв як з однаковою, так і з різною продуктивністю. Визначення оптимальної точки зведення дозволяє знизити обсяг транспортної роботи на 20-30%.

**Ключові слова:** перевантажувальний пункт, тимчасовий відвал, точка Ферма-Торрічеллі, мінімізація транспортної роботи.

**Максимов І.І., Слободянюк Р. В.** Особенности определения рационального положения перегрузочного пункта в карьере

**Цель.** Целью данной работы является разработка методологической основы для определения точки Ферма-Торрічеллі для количества экскаваторных забоев, которое превышает три, а также с учетом влияния на оптимальную точку сзведения отличий в производительности экскаваторных забоев.

**Методы исследования.** В статье предоставлен обзор современных исследований, в которых для минимизации логистических процессов используются алгоритмы из использования точки Ферма-Торрічеллі-Штейнера. В работе использованные методы математической оптимизации. Учитывая математическую сложность решаемой задачи, координаты оптимальной точки сзведения рационально определять методом сеток или градиентном методом.

**Научная новизна.** Технология горных работ с использованием перегрузочных составов широко распространена на глубоких железорудных карьерах. В большинстве случаев, при принятии решения о месте расположения перегрузочного состава в первую очередь к сведению берется его высотное положение в пространстве карьера. Но положение перегрузочного пункта в плане тоже имеет значительное влияние на технико-экономические показатели открытых горных работ. Традиционный подход, который рассматривает в качестве оптимальной точки звозу точку центра веса, не является гарантией обеспечения минимального значения транспортной работы. В математике известная точка Ферма-Торрічеллі, которая обеспечивает минимальное расстояние к вершинам треугольника. Показано, что когда область выполнения горных работ нельзя аппроксимировать правильной геометрической фигурой, точка центра веса не является такой, которая обеспечивает минимальную транспортную работу. В таком случае минимальная транспортная работа обеспечивается при совпадении точки звозу с точкой Ферма-Торрічеллі.

**Практическая значимость.** С точки зрения открытой разработки, особенное практическое значение имеет разработка метода, который позволит определять оптимальную точку звозу для рабочей зоны карьера за известными координатами характерных точек с учетом взвешивающих коэффициентов. Предложено решение задачи определения

рациональной точки свезения разделить на несколько этапов. На первом этапе определяем координаты центра веса данной области. На втором этапе определяем координаты точки Ферма-Торричелли методом сеток или градиентным методом, приняв за начало условной системы координат точку центра веса.

**Результаты.** Предложенный метод позволяет определить оптимальную точку свезения горной массы (минимум транспортной работы) для произвольного количества экскаваторных забоев как с одинаковой, так и из разной производительностью. Определение оптимальной точки свезения позволяет снизить объем транспортной работы на 20-30%.

**Ключевые слова:** перегрузочный пункт, временный отвал, точка Ферма-Торричелли, минимизация транспортной работы.

**Maksymov I.I., Slobodyanyuk R.V.** Peculiarities of efficient location of a reloading station at the open pit

**Purpose.** The purpose of this work is to develop a methodology to determine the Fermat-Torricelli point for more than three excavation faces in terms of impact of difference in productivity of excavation faces on an optimum point for run-of-mine stock location.

**Methods of research.** This article represents an overview of current researches, where algorithms of the Fermat-Torricelli-Steiner point are used in order to minimize the logistic processes. We applied the mathematical methods of optimization. Given the complexity of the mathematical problem to be solved, the coordinates of an optimal point for RoM stock location are efficiently detected by net or gradient method.

**Scientific novelty.** Mining technology with use of reloading stations is rather common at the deep iron ore pits. In most cases, when deciding on location of RoM stock, its high-altitude position in space of the pit is primarily taken into account. However, the location of the reloading station in a layout also has a significant influence on technical and economic parameters of open-pit mining operations. The traditional approach, which considers a point of the center of gravity as an optimal point for RoM stock location, does not guarantee the minimum haulage. In mathematics, the Fermat-Torricelli point that provides a minimum distance to the vertices of the triangle is known. It is shown that the area where mining operations cannot be approximated by regular geometric figure, the point of center of gravity is not such as to ensure the minimum haulage. In this case, the minimum haulage is provided when the point of RoM stock location and Fermat-Torricelli point coincide.

**Practical relevance.** In terms of open pit mining operations, the development of a method that will determine an optimal point of RoM stock location for a working area with respect to the known coordinates of distinguished points on the basis of new weight factors is of particular practical importance. A solution to the problem of determining the rational point of RoM stock location to be divided into several stages is proposed. At the first stage, we determine the coordinates of the center of gravity of this area. At the second stage, we determine the coordinates of the Fermat-Torricelli point by net or gradient method, taking the center of gravity as the beginning of a conditional coordinate system.

**Results.** The proposed method allows us to determine an optimum point for RoM stock location (minimum haulage) for any number of excavation faces with both the equal and different productivity. Determining an optimal point for RoM stock location reduces the haulage by 20-30%.

**Key words:** reloading station, temporary dump, Fermat-Torricelli point, minimum haulage.

УДК 622.8: 614.8: 331.452

**Негрій Т.О., Негрій С.Г.** Про вплив енергетичних витрат гірників на рівень виробничого травматизму

**Мета.** Метою статті є встановлення впливу енергоємності робіт на рівень травматизму при виконанні операцій в рамках виробничого процесу.

**Методи дослідження:** фізіологічні методи вивчення трудових процесів: хронометраж робочого дня, методи дослідження нервово-м'язового апарату, дослідження зовнішнього дихання і газообміну, методи дослідження серцево-судинної системи.

**Наукова новизна.** Новизна роботи полягає у розробці наукових засад щодо оптимізації графіків організації робіт з урахуванням фізичних можливостей гірників. З використанням результатів розрахунку енергетичних витрат гірників, на основі встановлених залежностей та вимірювань частоти серцевих скорочень у шахтарів, при виконанні підоперацій були визначені сумарні енерговитрати при виконанні комплексу робіт, які передували травмуванню їх виконавцю.

**Практична значимість.** На конкретному прикладі здійснено обґрунтування необхідності врахування психофізіологічних умов праці при проектуванні безпечних технологічних схем ведення гірничих робіт, які б враховували режими праці-відпочинку працівників.

**Результати.** Встановлено взаємозв'язок між показниками важкості праці та рівнем виробничого травматизму, що є підґрунтям для подальшого вивчення фізіології праці гірників задля забезпечення більш комфортних та безпечних умов праці.

**Ключові слова:** травматизм, умови праці, енергетичні витрати, графік організації робіт, працездатність, компенсаційний відпочинок.

Ключові слова: травматизм, умови праці, енергетичні витрати, графік організації робіт, працездатність, компенсаційний відпочинок.

**Негрей Т.А., Негрей С.Г.** О влиянии энергетических затрат горнорабочих на уровень производственного травматизма

**Целью статьи** является установление влияния энергоёмкости работ на уровень травматизма при выполнении операций в рамках производственного процесса.

**Научная новизна** заключается в разработке научных основ по оптимизации графиков организации работ с учетом физических возможностей горнорабочих. С использованием результатов расчета энергетических затрат горнорабочих на основе установленных зависимостей и измерений частоты сердечных сокращений у шахтеров при выполне-

нии подопераций были определены суммарные энергозатраты при выполнении комплекса работ, которые предшествовали травмированию их исполнителей.

**Практическое значение** проведенных исследований заключается в том, что на конкретном примере выполнено обоснование необходимости учета психофизиологических условий труда при проектировании безопасных технологических схем ведения горных работ, которые бы учитывали режима труда-отдыха работников.

**Основным результатом** статьи является то, что была установлена взаимосвязь между показателями тяжести труда и уровнем производственного травматизма, что является основой для дальнейшего изучения физиологии труда горнорабочих и обеспечения более комфортных и безопасных условий труда.

**Ключевые слова:** травматизм, условия труда, энергетические затраты, график организации работ, работоспособность, компенсационный отдых.

**T. Nehrii, S. Nehrii.** Influence of energy expenditure of miners on the level of industrial traumatism

**The purpose** of the article is establishment of influence of power-hungryness of works on the level of traumatism at implementation of operations within the framework of productive process.

**A scientific novelty** consists in development of scientific bases on optimization of charts of organization of works taking into account physical possibilities of miners. With the use of results of calculation of power expenses of miners on the basis of the set dependences and measuring of frequency of heart-throbs for miners at implementation of suboperations total энергозатраты were certain at implementation of complex of works which was preceded to injuring of their performers.

**The practical** value of the conducted researches consists in that on a concrete example a ground is executed of necessity of account of психофизиологических terms of labour at planning of safe flowsheets of conduct of mountain works which would take into account mode of labour-rest of workers.

**The basic result** of the article is that intercommunication between the indexes of weight of labour was set and by the level of productive traumatism, that is basis for the further study of physiology of labour of miners and providing of more comfort and safe terms of labour.

**Keywords:** traumatism, working conditions, energy expenditure, work schedule, working efficiency, compensatory rest.

УДК 621.01:681.3: 658.5

**Пікільняк А.В.** Розробка системи розпізнавання графітових включень при аналізі мікроструктури чавуну

**Метою** дослідження є розробка системи автоматизованого мікроструктурного аналізу для вирішення конкретних задач. Створення планується в форматі окремих модулів під конкретні задачі матеріалознавства, що дозволить молодим науковцям, які позбавлені фінансування, вирішувати задачі, пов'язані з їх професійним спрямуванням.

Елементом **наукової новизни** є питання розробки сучасної вітчизняної системи автоматизованого мікроструктурного аналізу на етапі аналізу графітових включень у чавуні. Викладено результати проведення мікроструктурного аналізу та обробки отриманих результатів, а також перелік використаного обладнання.

У роботі сформульовано актуальність проблеми, пов'язаної з необхідністю переходу від стандартних методів мікроструктурного аналізу до сучасних, які є більш точними і потребують мінімум втручання людини. Дослідження проводились на зразках циліндричної форми. Матеріал КЧ35-10. У процесі цифрової обробки отриманих зображень використано **метод** Вейвлет аналізу. Для аналізу графітових включень для визначення відношення Ферит-Перліт встановлюються порогові рівні градації сірого так, щоб на нетравленому зразку можна було виявити графіт. Графітна фракція використовується для розрізнення між графітом і перлітом, тому що їх схожість в відтінках сірого робить їх практично невідмітними один від одного Після завершення аналізу, програма автоматично обчислює відсоток графітної фракції, яка зберігається в проміжний звіт. **Практична значимість** полягає в тому, що розроблена програма в комбінації з можливостями сучасної цифрової техніки для мікроструктурного аналізу дозволяє визначити параметри графіту точно і багаторазово. Програмний пакет розроблені відповідно до міжнародного стандарту ISO 945-1:2008. Передбачена можливість автоматичного генерування звіту, заснованого на даних аналізу.

**Результати** дослідження показали, що розроблена система є універсальною і може взаємодіяти з будь-яким оптичним обладнанням (компактні цифрові металографічні мікроскопи, аналогові мікроскопи з цифровим окуляром, професійні цифрові металографічні мікроскопи), але яке, в свою чергу задовольняє вимоги, що висувуються при мікроструктурному аналізі.

**Ключові слова:** мікроструктурний аналіз, графіт, чавун, система розпізнавання, матеріалознавство, сфероїдизація.

**Пикильняк А.В.** Разработка системы распознавания графитовых включений при анализе микроструктуры чугуна

**Целью исследования** является разработка системы автоматизированного микроструктурного анализа для решения конкретных задач. Создание планируется в формате отдельных модулей под конкретные задачи материаловедения, которое позволит молодым научным работникам, какие лишены финансирования, решать задачи, связанные с их профессиональным устремлением.

Элементом **научной новизны** является вопрос разработки современной отечественной системы автоматизированного микроструктурного анализа на этапе анализа графитовых включений в чугуне. Изложены результаты проведения микроструктурного анализа и обработки полученных результатов, а также перечень использованного оборудования.

В работе сформулирована **актуальность проблемы**, связанной с необходимостью перехода от стандартных методов микроструктурного анализа к современным, которые являются точнее и нуждаются минимум в вмешательстве человека. Исследования проводились на образцах цилиндрической формы. Материал КЧ35-10. В процессе цифровой обработки полученных изображений использован метод Вейвлет анализа. Для анализа графитовых включений для определения отношения Феррит-перлит устанавливаются пороговые равные градации серого так, чтобы на нетравленном образце можно было выявить графит. Графитовая фракция используется для различения между графитом и перлитом, потому что их сходство в оттенках серого делает их практически неотличительными один от другого По завершению анализа, программа автоматически вычисляет процент графитовой фракции, которая хранится в промежуточный отчет.

**Практическая значимость** заключается в том, что разработанная программа в комбинации с возможностями современной цифровой техники для микроструктурного анализа позволяет определять параметры графита точно и многократно. Программный пакет розроблен в соответствии с международным стандартом ISO 945-1:2008. Предвиденная возможность автоматического генерирования отчета, основанного на данных анализа.

**Результаты** исследования показали, что разработанная система является универсальной и может взаимодействовать с любым оптическим оборудованием (компактные цифровые металлографические микроскопы, аналоговые микроскопы с цифровым окуляром, профессиональные цифровые металлографические микроскопы), но которое, в свою очередь удовлетворяет требования, которые выдвигаются при микроструктурном анализе.

**Ключевые слова:** микроструктурный анализ, графит, чугун, система распознавания, материаловедение, сфероидизация.

**Pikilnjak A.V.** Development of the system of recognition of the graphite including at the analysis of microstructure of cast-iron

**A research purpose** is development of the system of the automated microstructure analysis for the decision of concrete tasks. Creation is planned in the format of the separate modules under the concrete tasks of материаловедения which will allow young research workers, what deprived financing, to decide tasks, related to their professional aspiration.

The element of scientific novelty is a question of development of the modern domestic system of the automated microstructure analysis on the stage of analysis of the graphite including in cast-iron. The results of realization of microstructure analysis and treatment of the got results, and also list of the used equipment, are expounded.

**Actuality of problem**, related to the necessity of transition from the standard methods of microstructure analysis to modern one is in-process formulated, which are more precisely and need minimum intervention from a man. Researches were conducted on the standards of cylindrical form. Material of КЧ35- 10. In the process of the digital processing of the got images the method of Вейвлет of analysis is used. For the analysis of the graphite including for determination of relation a Ferrite-pearlite is set threshold even gradations grey so that on the unpoisoned standard it is possible it was to educe a graphite. Graphite faction is used for distinction between a graphite and pearlite, because their likeness in tints grey does them practically undistinctive one from other On completion of analysis, the program calculates the percent of graphite faction which is kept in an interim report automatically.

**Practical** meaningfulness consists in that the worked out program in combination with possibilities of modern digital technique for a microstructure analysis allows to determine the parameters of graphite exactly and repeatedly. Programmatic package of розроблен in accordance with the international standard of ISO 945-1:2008. Foreseen possibility of the automatic generating of report, based on data of analysis.

**Research results** showed that the worked out system was universal and can co-operate with any optical equipment (compact digital metallography microscopes, analog microscopes with a digital eyepiece, professional digital metallography microscopes), but which, in turn satisfies requirements which are pulled out at a microstructure analysis.

**Keywords:** microstructure analysis, graphite, cast-iron, system of recognition, материаловедение, сфероидизация.

УДК 622. 274. 53:622. 063. 44:622. 234. 5

**Тарасютин В. М., Косенко А. В.** Ресурсосберегающие технологии очистной выемки богатых железных руд на глубоких горизонтах шахт

**Цель.** Исследование и разработка ресурсосберегающих геотехнологий очистной выемки природно-богатых железных рудна базе скважинной гидротехнологии и самоходного оборудования, позволяющих повысить качество товарной продукции и эффективность ведения горных работ.

**Методы.** Конструктивно-функциональный анализ системы разработки подэтажного обрушения, численный анализ и оценка параметров обнажений очистных камер, моделирование на эквивалентных материалах технологического процесса выпуска руды, технологическое проектирование схем очистной выемки богатых руд, технико-экономическая оценка вариантов системы разработки.

**Научная новизна.** Установлено, что в условиях разработки глубоких горизонтов железорудных шахт рациональные технологические параметры процессов геотехнологий очистной выемки определяется геомеханическими условиями и комплексами применяемой геотехники. Получили дальнейшее развитие зависимости: трансформации напряженно-деформированного состояния вокруг выработанных пространств и горных выработок при разработке железорудных месторождений; рациональных режимов высокоинтенсивного выпуска рудной массы; оптимизации схем комплексной механизации процесса доставки рудной массы.

**Практическое значение.** Для наклонно-падающих средней мощности железорудных залежей, представленных зонально-распределёнными массивами разносортных природно-богатых руд средней и ниже средней крепости и устойчивости, разработаны рациональные ресурсосберегающие технологические схемы процессов очистной выемки, обеспечивающие раздельное получение рудного суперконцентрата, высококачественной чистой руды и рядовой рудной массы без повышения себестоимости добычи.

**Результаты.** Впервые разработаны ресурсосберегающие варианты комбинированной системы разработки подэтажным обрушением с образованием устойчивых согласно падающих компенсационных пространств путём опережающей выемки наиболее богатой части массивов руд скважинной гидротехнологией и последующей отработкой рядовых запасов второй очереди технологией с отбойкой руды веерами глубоких скважин оптимальной длины и ориентации и интенсивным линейно-равномерным режимом выпуска рудной массы на базе высокопроизводительных комбинированных доставочных комплексов скреперных установок и самоходных погрузочно-доставочных машин. Комбинированная геотехнология очистной выемки, обеспечивает: простоту конструкции; высокую безопасность и санитарно-гигиенические условия; производительность очистного забоя – 70-110 тыс. т; производительность труда рабочего по системе – 60-80 т/чел. смену; потери – 10-15%; разубоживание – 3-7%; себестоимость – 65-75% от традиционной.

**Ключевые слова:** богатые многосортные железные руды, ресурсосберегающие технологии, глубокие горизонты, подэтажное обрушение, раздельная выемка, технологическая схема, самоходные машины и установки, скважинная гидротехнология, процессы очистной выемки, технико-экономические показатели.

**Тарасютін В. М., Косенко А.В.** Ресурсозберігаючі технології очисної виїмки багатих залізних руд на глибоких горизонтах шахт

**Мета.** Дослідження і розробка ресурсозберігаючих геотехнологій очисної виїмки природно-багатих залізних руд на базі свердловинної гідротехнології і самохідного обладнання, що дозволяють підвищити якість товарної продукції і ефективність ведення гірничих робіт.

**Методи.** Конструктивно-функціональний аналіз системи розробки підповерхового обвалення, чисельний аналіз і оцінка параметрів оголень очисних камер, моделювання на еквівалентних матеріалах технологічного процесу випуску руди, технологічне проектування схем очисної виїмки багатих руд, техніко-економічна оцінка варіантів системи розробки.

**Наукова новизна.** Встановлено, що в умовах розробки глибоких горизонтів залізрудних шахт раціональні технологічні параметри процесів геотехнологій очисної виїмки визначається геомеханічними умовами і комплексами геотехніки, яка застосовується. Отримали подальшого розвитку залежності: трансформації напружено-деформованого стану навколо вироблених просторів і гірничих виробок при розробці залізрудних родовищ; раціональних режимів високо інтенсивного випуску рудної маси; оптимізації схем комплексної механізації процесу доставки рудної маси.

**Практичне значення.** Для похило-падаючих середньої потужності залізрудних покладів, представлених зонально-розподіленими масивами різносортових природно-багатих руд середньої і нижче середньої міцності і стійкості, розроблені раціональні ресурсозберігаючі технологічні схеми процесів очисної виїмки, що забезпечують роздільне отримання рудного суперконцентрату, високоякісної чистої руди і рядовий рудної маси без підвищення собівартості видобутку.

**Результати.** Вперше розроблено ресурсозберігаючі варіанти комбінованої системи розробки підповерхового обвалення з утворенням стійких, згідно падаючих, компенсаційних просторів шляхом випереджаючої виїмки найбільш багаті частини масивів руд свердловинною гідротехнологією і подальшим відпрацюванням рядових запасів другої черги технологією з відбійкою руди віялами глибоких свердловин оптимальної довжини і орієнтації та інтенсивним лінійно-рівномірним режимом випуску рудної маси на базі високопродуктивних комбінованих доставочних комплексів скреперних установок і самохідних навантажувально-доставочних машин. Комбінована геотехнологія очисної виїмки, забезпечує: простоту конструкції; високу безпеку і санітарно-гігієнічні умови праці; продуктивність очисного вибою – 70-110 тис. т; продуктивність праці робітника по системі – 60-80 т/чол. зміну; втрати – 10-15%; засмічення – 3-7%; собівартість – 65-75% від традиційної.

**Ключові слова:** багаті багатосортні залізні руди, ресурсозберігаючі технології, глибокі горизонти, підповерхове обвалення, роздільна виїмка, технологічна схема, самохідні машини і установки, свердловинна гідротехнологія, процеси очисної виїмки, техніко-економічні показники.

**Tarasuyutin V. M., Kosenko A.V.** Resource-saving technologies of the cleaning of rich iron ores on deep mining horizons

**Goal.** Research and development of resource-saving geotechnologies for the stoped excavation of natural rich iron ores on the basis of borehole hydro technology and self-propelled equipment, which improve the quality of commercial products and the efficiency of mining operations.

**Methods.** Structural and functional analysis of the sublevel caving development system, numerical analysis and evaluation of outcrop parameters of the chambers to stope, modeling of the ore production process on equivalent materials, technological design of stoped excavation of the rich ore, technical and economic evaluation of the development system options.

**Scientific novelty.** It is established that in the conditions of the development of deep horizons of iron ore mines, the rational technological parameters of the processes of geotechnologies of the processes of stoped excavation are determined by the geomechanical conditions and the complexes of geotechnics used. Further developed the relationship: the transformation of the stress-strain state around the worked-out areas, and mining in the development of iron ore deposits; Rational regimes for high-intensity ore mass production; Optimization of schemes of complex mechanization of the ore mass delivery process.

**Practical significance.** For the inclined-falling average thickness of iron ore deposits, represented by zoned-distributed massifs of various rich natural and rich ores of medium and lower average strength and stability, rational resource-saving technological schemes of the processes of stoped excavation have been developed, providing separate extraction of ore super concentrate, high-grade pure ore and ordinary ore mass increase in production costs.

**Results.** For the first time resource-saving variants of the combined development system have been developed by sublevel caving with the formation of stable ones according to falling compensating spaces by outrunning the most rich part of the ore massifs by down-hole hydrological technology and subsequent processing of the second stage's second-stage technology by cutting the ore by fans of deep wells of optimal length and orientation and intensive linear- release of ore on the basis of high-performance combined haul complex scraper systems and self-propelled scoop trams. Combined geotechnology purification recess provides: simplicity of design; high safety and hygienic conditions; productivity long-wall – 70-110 thousand tons. Desktop productivity of the system – 60-80 tons/person shift; losses – 10-15%; dilution – 3-7%; prime cost - 65-75% of the traditional.

**Key words:** rich multi-grade iron ores, resource-saving technologies, deep horizons, sublevel caving, separate excavation, technological scheme, self-propelled machines and installations, borehole hydro technology, processes of stoped excavation, technical and economic indicators.

УДК 539.3: 622.233

**Здешиц В.М., Здешиц А.В.** Поширення пружних хвиль в стержнях змінного перерізу

**Мета.** Вимірювання тривалості удару та швидкості поширення пружних хвиль в металевих стрижнях змінного перерізу, а також визначення залежності швидкості від геометричних та фізичних характеристик стрижня.

**Методи дослідження** засновані на використанні відомих положень теорії удару, розв'язку задач про поздовжнє зіткнення стрижнів. Для проведення вимірювань застосовувалися сучасні цифрові прилади. Експериментальна обробка даних виконувалася, в основному, методом найменших квадратів. Розрахунки і аналіз експериментальних даних виконувалися з використанням сучасної обчислювальної техніки і програмного забезпечення.

**Наукова новизна.** Вперше отримана синусоподібна функціональна залежність швидкості поширення пружної хвилі від калібру ступінчастого стрижня, тобто від форми бічної поверхні стержня.

**Практична значимість.** Розроблено спосіб отримання величини максимальної швидкості поздовжньої хвилі в зразках гірської породи. Ці дані можна використовувати для аналізу напружено-деформованого стану гірського масиву та інших об'єктів при їх ударному навантаженні.

**Результати.** При ударі в стрижні як у твердому тілі поширюються хвилі кількох типів з різними швидкостями. Проведений аналіз поширення пружних хвиль в круглих стрижнях показав, що значення середньої швидкості поширення хвилі в коротких стрижнях відрізняється від швидкості хвилі, яка визначається в одновимірній теорії. Для вимірювання швидкості пружних хвиль використовувалися два способи: а) за часом розповсюдження пружної хвилі в стрижні (реєстратор – п'єзодатчик), б) за часом зіткнення двох стрижнів (електроконтактний метод). Тривалість контакту визначалася як різниця часу з моменту початку контакту до моменту, коли всі точки торця стрижня відійдуть від перешкоди. Досліджувалися ступінчасті стрижні довжиною 100 мм та діаметром 10 мм. Довжина сходинки діаметром 5 мм змінювалася в межах 0-100 мм. Теоретичні та експериментальні дослідження на розроблених та виготовлених установках довели, що існують дві характерні області, в яких швидкість поширення пружної хвилі в трьохвимірному стрижні кінцевої довжини відрізняється від величини швидкості хвилі в одновимірному стрижні. Максимальної швидкості хвиля досягає, коли довжина сходинки становить 0,2 від довжини стрижня. Для заліза ця швидкість складала величину 5958 м/с, алюмінію 6098 м/с, латуні 4065 м/с. Існує значення калібру, при якому середня швидкість поздовжньої хвилі мінімальна, що обумовлено істотним впливом на неї поперечних коливань. Це доводить помилковість обчислення напружено-деформованого стану стрижня в одновимірному наближенні.

**Ключові слова:** швидкість поширення пружної хвилі, тривалість удару, одновимірні, двовимірні стержні

**Здешиц В.М, zdeшиц А.В.** Распространение упругих волн в стержнях переменного сечения

**Цель.** Измерение длительности удара и скорости распространения упругих волн в металлических стержнях переменного сечения, а также определение зависимости скорости от геометрических и физических характеристик стержня.

**Методы исследования** основаны на использовании известных положений теории удара, решения задач о продольном столкновении стержней. Для проведения измерений применялись современные цифровые приборы. Экспериментальная обработка данных выполнялась, в основном, методом наименьших квадратов. Расчеты и анализ экспериментальных данных выполнялись с использованием современной вычислительной техники и программного обеспечения.

**Научная новизна.** Впервые получена синусоподобная функциональная зависимость скорости распространения упругой волны от калибра ступенчатого стержня, то есть от формы боковой поверхности стержня.

**Практическая значимость.** Разработан способ получения величины максимальной скорости продольной волны в образцах горной породы. Эти данные можно использовать для анализа напряженно-деформированного состояния горного массива и других объектов при их ударной нагрузке.

**Результаты.** При ударе в стержне, как в твердом теле, распространяются волны нескольких типов с различными скоростями. Проведенный анализ распространения упругих волн в круглых стержнях показал, что значение средней скорости распространения волны в коротких стержнях отличается от скорости волны, которая определяется в одномерной теории.

Для измерения скорости упругих волн использовались два способа: а) по времени распространения упругой волны в стержне (регистратор - пьезодатчик), б) по времени столкновения двух стержней (электроконтактный метод). Исследовались ступенчатые стержни длиной 100 мм и диаметром 10 мм. Длина ступеньки диаметром 5 мм изменялась в пределах 0-100 мм. Теоретические и экспериментальные исследования на разработанных и изготовленных установках доказали, что существуют две характерных области, в которых скорость распространения упругой волны в трехмерном стержне конечной длины отличается от величины скорости волны в одномерном стержне. Максимальной скорости волна достигает, когда длина ступеньки составляет 0,2 от длины стержня. Для железа эта скорость составила величину 5958 м/с, алюминия – 6098 м/с, латуни – 4065 м/с. Существует значение калибра, при котором средняя скорость продольной волны минимальна, что обусловлено существенным влиянием на нее поперечных колебаний. Это доказывает ошибочность вычисления напряженно-деформированного состояния стержня в одномерном приближении.

**Ключевые слова:** скорость распространения упругой волны, длительность удара, одномерные, двумерные стержни

**Zdeshchyts V., Zdeshchyts A.** Propagation of acoustic waves through a rod of variable cross-section

**Aim.** Measuring of duration of shock and velocity of propagation of acoustic waves through the metallic rods of variable cross-section, and also determination of dependence of velocity on geometrical and physical properties of rod.

**Research methods** are based on the use of the well-known theses of the theory of shock, decisions of tasks about the longitudinal collision of rods. For realization of measuring modern digital devices were used. The experimental processing of data was executed, mainly, by a least-squares method. Calculations and analysis of experimental data were executed with the use of the modern computing engineering and software.

**Scientific novelty.** Sinusoidal functional dependence of velocity of propagation of acoustic wave is first obtained from the caliber of step rod, it est from the form of the lateral surface of the rod.

**Practical meaningfulness.** The method of obtaining of the value of maximum velocity of longitudinal wave in rock samples has been developed. These data can be used for the analysis of the tensely-deformed state of mountain massif and other objects at their shock load.

**Results.** Upon impact, there are waves of several types with different velocities, propagate in the rod, as in a solid. The analysis of the propagation of acoustic waves in round rods has shown that the value of the average velocity of wave propagation in short rods differs from the wave velocity, which is determined in a one-dimensional theory.

For measuring of velocity of acoustic waves two methods were used: a) by the time of propagations of acoustic wave in a rod (recorder is piezoelectric sensor), b) by the collision time of two rods (electrical contact technique). Stepped rods 100 mm long and 10 mm in diameter were researched. The length of the step with a diameter of 5 mm varied in the range 0-100 mm. Theoretical and experimental researches on developed and manufactured installation proved, that there are two characteristic areas, in which the velocity of propagation of acoustic wave in a three-dimensional rod of finite length differs from the value of velocity of wave in a one-dimensional rod. The maximum velocity a wave is reached, when the length of the step is 0,2 of the length of the rod. For iron, this velocity was 5958 m/s, aluminum - 6098 m/s, brass - 4065 m/s. It proves the fallaciousness of calculation of the tensely-deformed state of the rod in the one-dimensional approximation.

**Keywords:** velocity of propagation of acoustic wave, duration of shock, one-dimensional, two-dimensional rods

УДК 622.235.62:622.271

**Римарчук Б.І., Міненко П.О., Грищенко Т.С., Грищенко М.А.** Вибір технології вибухоставки руди у камерних системах розробки

**Мета.** Метою даної роботи є розробка методу зменшення втрат руди на лежачому боці за рахунок використання ВКЗ та ГКЗ. Відбійка руд у камері за допомогою свердловинних зарядів показує, що втрати чистої руди на лежачому боці рудного покладу становлять приблизно до 20%, так як еліпсоїд випуску становить близько 90°, а кут падіння покладів Криворізьких залізрудних родовищ становить 35-70°.

**Методи дослідження.** Розглядалося технологія вибухоставки руди з відбійкою у два етапи, на першому етапі відбивається руда прилегла до висячого боку, а після випуску руди на створений таким чином компенсаційний простір відбивається руда яка прилегла до лежачого боку, використовуючи вибухоставку, руда буде відкинута під дучки висячого боку, що знизить втрати чистої руди по лежачому боці.

**Наукова новизна.** Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Її метою є математичне обґрунтування руху відбитої породи для її вибухоставки з лежачого боку на висячий, що знизить втрати руди на лежачому боці. Для суттєвого запобігання втрат корисної копалини слід застосувати зміни порядку відбійки руди в блоці.

**Практична значимість.** Технологія БПР на відбійку стелини виконується у два етапи: першим відбивається заряд ГКЗ, а потім із сповільненням – заряд ВКЗ. Пуста порода на стелиною не встигне впасти раніше на дачку за рахунок того, що швидкість вибухоставки вище ніж швидкість довільного падіння. Отже враховуючи те, що зарядження глибоких свердловин у буровому штреку за правилами техніки безпеки унеможливило знаходження робітників в межах зсуву порід лежачого боку.

**Результати.** Отримані результати між відбійкою свердловинними зарядами, та відбійкою ВКЗ показують, що при першому варіанті 36% загальної енергії вибуху йде на формування УВВ, а в другому варіанті енергії вибуху буде достатньо для відбійки руди у стелині з лежачого боку на дучки висячого боку.

**Ключові слова:** ВКЗ, ГКЗ, відбійка стелини.

**Римарчук Б.И., Миненко П.А., Грищенко Т.С., Грищенко М.А.** Выбор технологии взрывоставки руды в камерных системах разработки

**Цель.** Целью данной работы была разработка метода уменьшения потерь руды на лежачем боку за счет использования ВКЗ и ГКЗ. Отбойка руд в камере с помощью скважинных зарядов показывает, что потери чистой руды на лежачем боку рудного тела составляют приблизительно до 20%, так как эллипсоид выпуска составляет приблизительно 90°, а угол падения залежи Криворожских железорудных месторождений составляет 35-70°.

**Методы исследования.** Рассматривалась технология взрывоставки руды с отбойкой в два этапа, на первом этапе, на первом этапе отбивается руда прилегающая к висячему боку, а после выпуска руды на образованный таким образом компенсационное пространство отбивается руда которая прилегает к лежачему боку, используя взрывоставку, будет откинута под дучки висячего бока.

**Научная новизна.** Решение данной задачи составляет актуальность работы. Ее цель математическое обоснование движения отбитой породы для ее взрывоставки с лежачего бока на висячий, что снизит потери руды на лежачем боку. Для значительного предотвращения потерь полезного ископаемого следует использовать изменение порядка отбойки руды в блоке.

**Практическая значимость.** Технология БПР на отбойку потолочины выполняется в два этапа: первым отбивается заряд ГКЗ, а потом с замедлением – заряд ВКЗ. Пустая порода над потолочиной не успеет упасть раньше на дучку за счет того, что скорость взрывоставки выше чем скорость свободного падения. Учитывая то, что зарядание глубоких скважин в буровом штреку по правилам техники безопасности делает невозможным нахождение работников в зоне сдвижения пород лежачего бока.

**Результаты.** Полученные результаты между отбойкой скважинными зарядами и отбойкой ВКЗ показывают, что при первом варианте 36% общей энергии взрыва идет на формирования УВВ, а во втором варианте энергия взрыва будет достаточной для отбойки руды в потолочине с лежачего бока на дучки висячего бока.

**Ключевые слова:** ВКЗ, ГКЗ, отбойка потолочины, потери на лежачем боку.

**Rimarchuk B.I., Minenko P.O., Hryshenko T.S., Hryshenko M.A.** Choice technology of explosive delivery ore in cross system

**Goal.** The purpose of this work was to develop a method for reducing ore losses on the bottom layer by using the VCC and HCC. The breaking-out of ore in the chamber with the help of blasthole charge shows that the losses of pure ore on the bottom layer of the ore body are approximately up to 20%, since the taking-down ellipsoid is approximately 90°, and the angle of incidence of the Krivoy Rog iron ore deposits is 35-70°.

**Methods of research.** The technology of explosive delivery of ore with breaking in two stages was considered, at the first stage the ore is associate to the hanging layer, and after the ore is discharged to the so formed compensatory space, the ore

that associate to the bottom layer, using the explosive delivery, will be thrown under draw-point hanging layer.

**Scientific novelty.** The solution of this task is the relevance of the works. Its purpose is the mathematical justification of the movement of the broken rock for its explosion and delivery from the bottom layer to the hanging layer.

Practical significance. Drilling and blasting technology for breaking the crown is carried out in two stages: the first charge is repelled by the HCC, and then with a slowdown - the charge of the VCC. An burrow rock above the crown will not have time to fall earlier on the hawk due to the fact that the speed of the blast delivery is higher than the speed of free fall.

**Results.** The results obtained between the busting of blasthole charge and the breaking of the VCC show that, in the first variant, 36% of the total energy of the explosive goes to the formation of the reciprocating, and in the second variant the energy of the explosive will be sufficient to break the ore in the crown from the bottom layer to the hanging layer on the draw-points.

**Key words:** VCC, HCC, breakage of the crown.

УДК 69.059:69.003

**Хохрякова Д.О., Колесніченко С.В., Денисов Є.В.** Нормування вібродинамічних випробувань сталевих ферм при проведенні технічних обстежень реконструйованих будівель

**Мета.** Підвищення ефективності проведення робіт з оцінки технічного стану сталевих ферм шляхом нормалізації процесу вібродинамічних випробувань.

**Методи дослідження.** Проектування норм часу здійснювалось на підставі нормативних спостережень, що проводилися методом змішаного фотообліку відповідно до «Методичних рекомендацій з проектування та перегляду норм часу на будівельно-монтажні роботи». Точність записів під час спостережень становила 1 хвилину. Вібродинамічні випробування виконувались ланкою з 3 осіб. Обробка даних нормативних спостережень мала три етапи: первинна обробка даних; розрахунок середніх значень витрат праці оперативної роботи на одиницю вимірюваної первинної продукції (одна точка установки датчика, одна ферма, група ферм); розрахунок середніх значень витрат праці оперативної роботи на одиницю виміру робочого процесу в цілому (10 конструкцій).

**Наукова новизна.** Виявлено, що чинні нормативні документи не містять методик і нормативи на виконання вібродинамічних випробувань кровляних ферм при проведенні технічних обстежень будівлі. Застосування непрямих розцінок не дозволяє компенсувати витрати на проведення таких обстежень. Вперше запропонований метод оцінки технічного стану сталевих ферм шляхом визначення її динамічних параметрів. Запропонована норма часу на виконання вібродинамічних випробувань сталевих ферм.

**Практична значимість.** Результати приведених у статті досліджень з нормалізації процесу вібродинамічних випробувань були використані організацією при визначенні вартості виконання робіт з оцінки технічного стану об'єкта.

**Результати.** Дослідним шляхом встановлено, що запропонована методика проведення вібродинамічних випробувань дозволяє не тільки підвищити достовірність результатів оцінки технічного стану ферм, але й знизити їх трудомісткість у порівнянні з візуальним обстеженням.

**Ключові слова:** обстеження, вібродинамічні випробування, норма часу, сталеві ферми, витрати праці.

**Хохрякова Д.А., Колесниченко С.В., Денисов Е.В.** Нормирование вибродинамических испытаний стальных ферм при проведении технических обследований реконструируемых зданий

**Цель.** Повышение эффективности проведения работ по оценке технического состояния стальных ферм путем нормализации процесса вибродинамических испытаний.

**Методы исследования.** Проектирование норм времени осуществлялось на основании нормативных наблюдений, проводимых методом смешанного фотоучета согласно «Методических рекомендаций по проектированию и пересмотру норм времени на строительно-монтажные работы». Точность записей во время наблюдений составляла 1 минуту. Вибродинамические испытания выполнялись звеном из 3 человек. Обработка данных нормативных наблюдений имела три этапа: первичная обработка данных; расчет средних значений затрат труда оперативной работы на единицу измеряемой первичной продукции (одна точка установки датчика, одна ферма, группа ферм); расчет средних значений затрат труда оперативной работы на единицу измерения рабочего процесса в целом (10 конструкций).

**Научная новизна.** Вывявлено, что действующие нормативные документы не содержат методики и нормативы на выполнение вибродинамических испытаний стропильных ферм при проведении технических обследований здания. Применение непрямых расценок не позволяет компенсировать затраты на проведение таких обследований. Впервые предложен метод оценки технического состояния стальных ферм путем определения ее динамических параметров. Предложена норма времени на выполнение вибродинамических испытаний стальных ферм.

**Практическая значимость.** Результаты приведенных в статье исследований по нормализации процесса вибродинамических испытаний были использованы организацией при определении стоимости выполнения работ по оценке технического состояния объекта.

**Результаты.** Опытным путем установлено, что предложенная методика проведения вибродинамических испытаний позволяет не только повысить достоверность результатов оценки технического состояния ферм, но и снизить их трудоемкость по сравнению с визуальным обследованием.

**Ключевые слова:** обследование, вибродинамические испытания, норма времени, стальные фермы, затраты труда.

**Khokhriakova D., Kolesnichenko S., Denisov Ye.** Steel trusses vibration testing costs engineering for technical investigation of buildings under reconstruction.

**Aim.** Increasing of efficiency the investigations works for steel trusses technical conditions estimation by the costs engineering of vibration testing process.

**Investigations methods.** Time costs engineering were carried out on the basis of standard examinations by the mixed photos registration method with accordance of national recommendations. Accuracy of records were one minute. Vibration testing has been done by the group of men in 3 persons. Final data's processing had three stages: initial data's processing, calculation of average mean observations for one unit of initial production (one point for gauge placement, one truss, number of trusses)

and average mean observations calculations for operation works labour input on one unit of working process in general (10 trusses).

**Scientific discovery.** Legal standards do not have a methodic and standard costs engineering for vibration testing procedure for steel roof trusses for technical buildings' testing. When non-direct costs applied all work expenses could not take into consideration. The methods of technical conditions assessment for steel trusses by the dynamic parameters definitions is firstly offer. The real time costs engineering calculation for vibration testing is proposed.

**Practical results.** The proposed results of costs engineering investigations for the vibration tests process had been used by the special organization for real estimation of technical building state.

**Results.** Proposed methodic is established by the real experimental ways for vibration tests and offer to achieve not only precise results of real building's condition state, but also technical state of steel trusses.

**Key words:** investigations, vibration testing, unit labour in man-hours, steel trusses, labour costs.

УДК 622.272: 624.191.5

**Роечко А.Н., Харин С.А., Кнуренко В.Н.** Разработка программного обеспечения и анализ влияния БВР на организацию проходческих работ

**Цель.** Целью данной работы является разработка программного обеспечения и исследование влияние ряда параметров буровзрывных работ на интенсивность проходческих работ. Необходимо также выполнить анализ полученных в ходе исследования результатов, установить закономерности изменения соответствующих параметров и выработать рекомендации по рациональному ведению проходческих работ.

**Методы исследования.** В работе использован комплексный подход, включающий обобщение и анализ литературных источников и исследований в области строительства шахт, теоретические исследования, базирующиеся на методах математического моделирования.

**Научная новизна.** Получены зависимости скорости проходки протяженных горизонтальных выработок от влияния ряда факторов буровзрывных работ, а также применении контурного взрывания.

**Практическая значимость.** Данная категория состоит в нахождении оптимальных проектных решений по строительству комплекса выработок горизонтов на больших глубинах для действующих шахтах Криворожского бассейна, позволяющих обеспечить своевременный ввод горизонтов в эксплуатацию.

**Результаты.** Таким образом, в результате разработки программного обеспечения на языке Java, которое выступило в качестве инструмента исследований вопросов организации строительства горных выработок и изучения воздействия в различных условиях, которое оказывает обычное и контурное взрывание на скорость строительства протяженных выработок горизонта, стало возможным установить такие результаты: применение контурного взрывания вызывает необходимость размещения в забое выработки дополнительных шпуров, количество которых может измеряться, для различных случаев, величиной порядка 20-30% для штрека площадью поперечного сечения 10 м<sup>2</sup> и величиной 18-25% для квершлага сечением 20 м<sup>2</sup>; характерным является также то, что с увеличением значения  $f$  наблюдается относительное снижение прироста количества контурных шпуров; интенсивность сооружения штрека при контурном взрывании уменьшится примерно в 1,15 раза при крепости 10 и в 1,2 раза при крепости 20; для квершлага с указанные величины будут составлять соответственно порядка 1,1 и 1,25.

**Ключевые слова:** скорость, выработка, квершлаг, контурное взрывание, сооружение, программное обеспечение, язык Java.

**Роечко А.М., Харин С.А., Кнуренко В.М.** Розробка програмного забезпечення і аналіз впливу БВР на організацію прохідницьких робіт

**Мета.** Метою даної роботи є розробка програмного забезпечення та дослідження впливу ряду параметрів буропідричних робіт на інтенсивність прохідницьких робіт. Необхідно також виконати аналіз отриманих в ході дослідження результатів, встановити закономірності зміни відповідних параметрів і виробити рекомендації щодо раціонального ведення прохідницьких робіт.

**Методи дослідження.** У роботі використано комплексний підхід, що включає узагальнення і аналіз літературних джерел і досліджень в галузі будівництва шахт, теоретичні дослідження, що базуються на методах математичного моделювання.

**Наукова новизна.** Отримано залежності швидкості проходки протяжних горизонтальних виробок від впливу ряду факторів буропідричних робіт, а також при застосуванні контурного підривання.

**Практична значимість.** Дана категорія складається із знаходження оптимальних проектних рішень щодо будівництва комплексу виробок горизонтів на великих глибинах для діючих шахтах Криворізького басейну, що дозволяють забезпечити своєчасне введення горизонтів в експлуатацію.

**Результати.** Таким чином, в результаті розробки програмного забезпечення на мові Java, яке виступило в якості інструменту досліджень питань організації будівництва гірничих виробок і вивчення впливу в різних умовах, яке здійснює звичайне і контурне підривання на швидкість будівництва протяжних виробок горизонту, стало можливим встановити такі результати: застосування контурного підривання викликає необхідність розміщення в забої вироблення додаткових шпурів, кількість яких може вимірюватися, для різних випадків, величиною порядку 20-30% для штреку площею поперечного перерізу 10 м<sup>2</sup> і величиною 18-25% для квершлага перетином 20 м<sup>2</sup>; характерним є також те, що зі збільшенням значення  $f$  спостерігається відносне зниження приросту кількості контурних шпурів; інтенсивність споруди штреку при контурному підриванні зменшиться приблизно в 1,15 рази при фортеці 10 і в 1,2 рази при фортеці 20; для квершлага з зазначені величини становитимуть відповідно близько 1,1 і 1,25.

**Ключові слова:** швидкість, вироблення, квершлаг, контурне підривання, спорудження, програмне забезпечення, мову Java.

**Royenko A.N., Kharin S.A., Knurenko V.N.** Development of the software and analysis of the influence of BWA on the organization of processing works

**Goal.** The purpose of this work is to develop software and study the impact of a number of parameters of drilling and blasting operations on the intensity of tunneling work. It is also necessary to perform an analysis of the results obtained in the course of the study, establish the patterns of changes in the relevant parameters, and develop recommendations for the rational conduct of tunneling work.

**Methods of research.** We used a comprehensive approach including compilation and analysis of the literature and research in the field of construction of mines, theoretical studies, based on mathematical methods modelirovaniya.1

**Scientific novelty.** Dependences ROP extended horizontal workings of the influence of a number of PLS factors and applying contour blasting.

**Practical significance.** This category is to find the optimal design solutions for the construction of the complex horizons workings at great depths for the operating mines of Krivoy Rog basin, allowing to provide timely input horizons into operation.

**Results.** Thus, as a result of the development of software in the Java language, which acted as a tool for research on the organization of mine workings and the study of the impact in various conditions that the conventional and contour blasting has on the speed of building long horizons, it became possible to establish such results: application Contour blasting causes the need to place additional holes in the face, the number of which can be measured in size 20-30% for a drift with a cross-sectional area of 10 m<sup>2</sup> and a value of 18-25% for a cross-section of 20 m<sup>2</sup>; It is also characteristic that as the value of f increases, the relative increase in the number of contour holes is relatively reduced; intensity roadway structures with contour blasting decrease approximately 1.15 times when the fortress 10 and 1.2 times at 20 fortress; For the cross-cut with the indicated values will be respectively about 1.1 and 1.25.

**Key words:** speed, production, crosscut, contour blasting, construction, software, Java language.

УДК 691.32

**Шишкіна А.А., Хильченко А.П., Мельниченко Н.П.** Пористые бетоны на основе железосодержащих веществ

**Цель.** На строительные конструкции промышленных зданий и сооружений, в частности, горно-металлургического комплекса, в особенности расположенных вблизи тепловых аппаратов, оказывает температурное влияние окружающая среда, изменяя физико-механические свойства материалов, из которых изготовлены эти конструкции, и, как следствие, влияет на их долговечность. Это приводит к необходимости предусматривать, при реконструкции зданий и сооружений, мероприятия по повышению их долговечности путем снижения температурного влияния окружающей среды.

Кроме того, одним из самых важных факторов, которые определяют стоимость эксплуатации домов и сооружений, является величина затрат на поддержание в них необходимого температурного режима. За годы эксплуатации конструкции существующих зданий и сооружений подвергались многократному воздействию окружающей среды, что снизило эксплуатационные свойства материалов, из которых изготовлены строительные конструкции и, как следствие, самих зданий.

**Методы исследований,** результаты которых представлены в работе, является получение пористого реакционного бетона с повышенной прочностью и пониженными усадкой за счёт модификации его состава комплексной добавкой, которая состоит из полиспирта и железосодержащего вещества, а также применения пористых заполнителей на основе железосодержащего вещества.

**Научная новизна.** Экспериментами установлено влияние комплексной добавки на прочность пористого бетона, объёмное водопоглощение исследуемых бетонов и их водопоглощение методом капиллярного подсоса для бетонов, приготовленных без использования комплексной добавки и с использованием добавки.

**Практическая значимость.** Исследовано изменение во времени массы бетона с добавкой и без нее. Также была исследована усадка пористого бетона с применением комплексной добавки и без нее.

**Результаты.** В результате было установлено, что одновременное введение в пористые бетоны минерального комплекса, содержащего железо, и полиспирта приводит к повышению прочности при сжатии, снижению усадки указанных бетонов. Показано, что содержание минерального железистого комплекса (порошка) и органического компонента в пористых бетонах носит экстремальный характер, т.е. имеется их содержание, обеспечивающее наибольшую прочность таких бетонов и их наименьшее водопоглощение.

**Ключевые слова:** пористые бетоны, комплексная добавка, железосодержащее вещество, поверхностно-активное вещество.

**Шишкіна А.О., Хильченко А.П., Мельниченко Н.П.** Пористі бетони на основі залізовмісних речовин

**Мета.** На будівельні конструкції промислових будівель і споруд, зокрема, гірничо-металургійного комплексу, особливо розташованих поблизу теплових апаратів, надає температурний вплив довкілля, змінюючи фізико-механічні властивості матеріалів, з яких виготовлені ці конструкції, і, як наслідок, впливає на їх довговічність. Це приводить до необхідності передбачати, при реконструкції будівель і споруд, заходи щодо підвищення їх довговічності шляхом зниження температурного впливу навколишнього середовища.

Крім того, одним з найважливіших чинників, які визначають вартість експлуатації будинків і споруд, є величина витрат на підтримку в них необхідного температурного режиму. За роки експлуатації конструкції існуючих будівель і споруд піддавалися багатократній дії довкілля, що понизило експлуатаційні властивості матеріалів, з яких виготовлені будівельні конструкції і, як наслідок, самих будівель.

**Методами досліджень,** результати яких представлені в роботі, є отримання пористого реакційного бетону з підвищеною міцністю і зниженими усадкою за рахунок модифікації його складу комплексною добавкою, яка складається з поліспирту і залізовміщуючої речовини, а також застосування пористих заповнювачів на основі якій міститься залізо речовини.

**Наукова новизна.** Експериментами встановлено вплив комплексної добавки на міцність пористого бетону, об'ємне водопоглинання досліджуваних бетонів і їх водопоглинання методом каплярного підсосу для бетонів, приготованих без використання комплексної добавки і з використанням добавки.

**Практична значимість.** Досліджено зміну в часі маси бетону з добавкою і без неї. Також була досліджена усадка пористого бетону з застосуванням комплексної добавки і без неї.

**Результати.** У результаті було встановлено, що одночасне введення в пористі бетони мінерального комплексу, що містить залізо, і поліспиртів призводить до підвищення міцності при стисненні, зниження усадки зазначених бетонів. Показано, що вміст мінерального залізного комплексу (порошку) і органічного компонента в пористих бетонах носить екстремальний характер, тобто є їх зміст, що забезпечує найбільшу міцність таких бетонів і їх найменше водопоглинання.

**Shyshkina A.A., Khilchenko A.N., Melnychenko N.P.** Porous concretes on the basis of ferrous matters

**Purpose.** On the building constructions of industrial building and building, in particular, горно-металлургического complex, in particular case located near-by thermal vehicles, an environment renders temperature influence, changing физико-механические properties of materials which these constructions are made from, and, as a consequence, influences on their longevity. It results in a necessity to provide for, at the reconstruction of building and building, measures on the increase of their longevity by the decline of temperature influence of environment.

In addition, one of the most important factors which determine a running of houses and building cost is a size of expenses on maintenance in them necessary temperature condition. For years exploitation of construction of existent building and building exposed to frequent influence of environment, that reduced operating properties of materials, from which building constructions are made and, as a result, building.

**Methods of researches** the results of which are presented in-process, there is a receipt of porous reactionary concrete with enhanceable durability and lowered by усадкой due to modification of his composition by complex addition which consists of полиспирта and ferrous matter, and also applications of porous fillers on the basis of ferrous matter.

**Scientific novelty.** Experiments are set influence of complex addition on durability of porous concrete, by volume водопоглощение of the investigated concretes and their водопоглощение of capillary подсоса a method for concretes, prepared without the use of complex addition and with the use of addition.

Practical meaningfulness. Time-history mass of concrete is investigational with addition and without her. Усадка of porous concrete was also investigational with the use of complex addition and without her.

**Results.** It was set as a result, that simultaneous introduction to the porous concretes of mineral complex, containing iron, and полиспирта results in the increase of durability at a compression, to the decline of усадки of the indicated concretes. It is shown that maintenance of mineral ferrous complex (sprinkle of snow) and organic component in porous concretes is carried by extreme character, i.e. there is their maintenance, providing most durability of such concretes and their least водопоглощение.

**Keywords:** porous concretes, complex addition, ferrous matter, поверхностно-активное matter.

УДК 622.272.012.2

**Цариковский В.В., Цариковский Вал.В., Седунова Т.Т., Козариз В.Я., Мигуль А.Ф., Рубцов Д.А.** Определение геометрических параметров систем этажного обрушения с учетом допустимых объемов взрывааемых ВВ при отработке магнетитовых кварцитов шахты имени Орджоникидзе ПАО «ЦГОК»

**Цель.** Целью данной работы является разработка методики определения геометрических параметров системы этажного обрушения с учетом допустимых объемов взрывааемых взрывчатых веществ (ВВ). Обусловлено это спецификой условий отработки магнетитовых кварцитов шахты им. Орджоникидзе, заключающейся в проведении массовых взрывов взрывчатых веществ (ВВ) общей массой от 30 до 170 т при расположении вблизи шахтного поля многоэтажных жилых домов и промышленных сооружений. В связи с огромными массами взрывааемых взрывчатых веществ колебания земной поверхности достигают 6...7 баллов, что отрицательно влияет на состояние жилых домов и промышленных сооружений.

**Методы исследования.** Причиной указанного является наличие множества методик определения геометрических параметров систем разработки из условий их устойчивости и отсутствие исследований зависимости интенсивности сейсмических колебаний земной поверхности от объемов одновременно взрывааемых взрывчатых веществ при различных граничных условиях расположения отбиваемого массива. При проведении данной работы применялись методы инструментальных наблюдений за сейсмическим воздействием взрывных работ на земную поверхность.

**Научная новизна.** Научная новизна данной статьи заключается в установлении на основании инструментальных измерений сейсмической интенсивности колебаний земной поверхности при проведении массовых взрывов в различных горнотехнических условиях отработки магнетитовых кварцитов шахты им. Орджоникидзе взаимосвязей между условиями производства взрывов, объемом взрывааемых взрывчатых веществ в одном замедлении и интенсивностью колебаний земной поверхности и изучении влияния на интенсивность сейсмических колебаний земной поверхности количества обнаженных плоскостей, на которые отбивается рудный массив, наличие и ориентация обрушенных пород у отбиваемого массива, также установлена возможность использования порядков отбойки запасов для управления интенсивностью сейсмических колебаний земной поверхности.

**Практическая значимость.** По результатам проведенных исследований разработана методика, предусматривающая определение геометрических параметров конструктивных элементов системы этажного обрушения как из условий их устойчивости, так и с учетом допустимых объемов одновременно взрывааемых взрывчатых веществ.

**Результаты.** Разработанная методика позволяет выбирать схемы и порядки отбойки запасов, обеспечивающие устойчивость конструктивных элементов систем разработки и сохранность поверхностных сооружений.

**Ключевые слова:** взрывчатые вещества, сейсмическое колебание, земная поверхность, здание, сооружение.

**Цариковський В.В., Цариковський Вал.В., Сєдунова Т.Т., Козаріс В.Я., Мігуль А.Ф., Рубцов Д.А.** Визначення геометричних параметрів систем поверхового обвалення з урахуванням допустимих об'ємів висаджуваних в повітря ВР при відробітку магнетитових кварцитів шахти імені Орджонікідзе ПАТ "ЦГЗК"

**Мета.** Метою цієї роботи є розробка методики визначення геометричних параметрів системи поверхового обвалення з урахуванням допустимих обсягів підривання вибухових речовин (ВР). Обумовлено це специфікою умов відробки магнетитових кварцитів шахти ім. Орджонікідзе, що полягає в проведенні масових вибухів вибухових речовин (ВР) загальною масою від 30 до 170 т при розташуванні поблизу шахтного поля багатопверхових житлових будинків і промислових споруд. У зв'язку з величезними масами висаджуваних вибухових речовин коливання земної поверхні досягають 6-7 балів, що негативно впливає на стан житлових будинків і промислових споруд.

**Методи дослідження.** Причиною вказаного є наявність безлічі методик визначення геометричних параметрів систем розробки з умов їх стійкості і відсутність досліджень залежності інтенсивності сейсмічних коливань земної поверхні від об'ємів одночасно висаджуваних вибухових речовин за різних граничних умов розташування відбиваного масиву. При проведенні цієї роботи застосовувалися методи інструментальних спостережень за сейсмічною дією вибухових робіт наземну поверхню.

**Наукова новизна.** Наукова новизна цієї статті полягає у встановленні на підставі інструментальних вимірів сейсмічної інтенсивності коливань земної поверхні при проведенні масових вибухів в різних гірничотехнічних умовах відробки магнетитових кварцитів шахти ім.Орджонікідзе взаємозв'язків між умовами виробництва вибухів, об'ємом висаджуваних вибухових речовин в одному уповільненні і інтенсивністю коливань земної поверхні і вивченні впливу на інтенсивність сейсмічних коливань земної поверхні кількості оголених площин, на які відбивається рудний масив, наявність і орієнтація обваленої породи у відбиваємого масиву, також встановлено можливість використання порядку відбійки запасів для управління інтенсивністю сейсмічного коливання земної поверхні.

**Практична значимість.** По результатам проведених досліджень розроблена методика, що передбачає визначення геометричних параметрів конструктивних елементів системи поверхового обвалення як з умов їх стійкості, так і з урахуванням допустимих об'ємів одночасно висаджуваних вибухових речовин.

**Результати.** Розроблена методика дозволяє вибирати схеми і порядки відбійки запасів, що забезпечують стійкість конструктивних елементів систем розробки і збереження поверхневих споруд.

**Ключові слова:** вибухові речовини, сейсмічне коливання, земна поверхня, будівля, споруда.

**Tsarikovsky V.V., Tsarikovsky Val. V. Kjariz V.YA., Ph D, Sedunova T.T., Migul A.F., Rubtsov D. A.** Determination of geometrical parameters of block caving systems, taking into account the allowable volume of blasting explosives at working off magnetite quartzite of Ordzhonikidze mine PJSC "CGOK"

Determination of geometrical parameters of the systems of the floor bringing down taking into account the possible volumes of blown up BB at working off the магнетитовых quartzites of mine of the name of Орджоникидзе ПАО "ЦГОК"

**Purpose.** A purpose hired is development of methods of determination of geometrical parameters of the system of the floor bringing down taking into account the possible volumes of the blown up explosives (BB). It contingently by the specific of terms of working off the магнетитовых quartzites of mine the name quartzite at Ordzhonikidze, consisting in realization of mass explosions of explosives (BB) general mass from 30 to 170 т at a location near-by the mine field of multistoried dwellings building and industrial building. In connection with the enormous masses of the blown up explosives of oscillation of earthly surface arrive at 6.7 bulk-tankers, that negatively influences on the state of dwelling-houses and industrial building.

**Research methods.** By reason indicated there is a presence of great number of methods of determination of geometrical parameters of the systems of development from the terms of their stability and absence of researches of dependence of intensity of seismic vibrations of earthly surface from the volumes of the simultaneously blown up explosives at the different border terms of location of the removed array. During realization hired the methods of the instrumental watching were used the seismic affecting of explosive works earthly surface.

**Scientific novelty.** The scientific novelty of this article consists in establishment on the basis of the instrumental measuring of seismic intensity of vibrations of earthly surface during realization of mass explosions in the different горнотехнических terms of working off the магнетитовых quartzites of mine of quartzite at Ordzhonikidze intercommunications between the terms of production of explosions, by volume of the blown up explosives in one deceleration and by intensity of vibrations of earthly surface and study of influence on intensity of seismic vibrations of earthly surface of amount of bare planes, on which an ore array, presence and orientation of goafed breeds, is removed at the removed array, possibility of the use of orders of отбойки of supplies is also set for a management intensity of seismic vibrations of earthly surface.

**Practical meaningfulness.** On results the conducted researches methods are worked out, foreseeing determination of geometrical parameters of structural elements of the system of the floor bringing down both from the terms of their stability and taking into account the possible volumes of the simultaneously blown up explosives.

**Results.** The worked out methods allow to choose charts and orders отбойки of supplies, providing stability of structural elements of the systems of development and safety of superficial building.

**Keywords:** explosives, seismic oscillation, earthly surface, building, building.

УДК 622.647.2

**Стеценко А.І., Єфименко Л.І., Доценко І.О.** Необхідність створення комплексної системи автоматизації конвеєрної лінії

**Мета.** Метою цієї роботи є створення комплексної системи автоматизації та контролю конвеєрної лінії для її безперебійної, надійної та економічної роботи, крім того система стане більш захищеною від серйозних пошкоджень та довгих простоїв, що в свою чергу відобразиться на грошових затратах, що несе підприємство для утримання системи. Тому, розробка комплексної системи автоматизації та керування й аналізу режимів роботи автоматизованої конвеєрної лінії є важливим і актуальним заданням для розвитку гірничодобувної промисловості.

**Методи дослідження.** Для вирішення цього завдання використовуються методи технічної діагностики основних вузлів та агрегатів конвеєрної лінії, що характеризують її технічний стан, також використовуються загальні методи теорії систем автоматичного управління, а також метод пасивного експерименту.

**Наукова новизна.** Наукова новизна полягає у створенні комплексної системи автоматизації конвеєрної лінії, яка на відміну від існуючих, включає в себе підсистему контролю та керування роботою лінії, підсистему технічного діагностування, підсистему прогнозування та аналізу стану обладнання системи, підсистему архівування даних, які можуть бути використані для розрахунків в інших відділах підприємства та підсистему пожежної сигналізації.

**Практична значимість.** Створення комплексної системи автоматизації дасть повноцінний контроль та максимально розширений спектр параметрів конвеєрної лінії, що характеризують її роботу, які зібрані в одному місці. При впровадженні комплексної системи автоматизації конвеєрної лінії можна досягнути значного економічного ефекту за рахунок зменшення простоїв лінії, збереження обладнання від значних пошкоджень та швидкості реагування на виникнення аварійних ситуацій.

**Результати.** Сформулювали принципи взаємодії основних підсистем об'єкту для збирання та архівування даних, які в подальшому можуть бути використані для аналізу та прогнозування системи або для розрахунків в інших відділах системи. Під час проведення аналізу роботи конвеєрних ліній було перелічено основні типи витрат, які пов'язані з роботою об'єкту. Визначили основні діагностичні типи сигналів, які несуть інформацію про технічний стан основних вузлів та агрегатів.

**Ключові слова:** конвеєрна лінія, комплексна система управління, діагностування технічного стану, архівація поточних даних.

**Степенко А.И., Ефименко Л.И., Доценко И.О.** Необходимость создания комплексной системы автоматизации конвейерной линии

**Цель.** Целью этой работы является создание комплексной системы автоматизации и контроля конвейерной линии для ее бесперебойной, надежной и экономичной работы, кроме того система станет более защищенной от серьезных повреждений и долгих простоев, в свою очередь отразится на денежных затратах, что несет предприятие для содержания системы. Поэтому, разработка комплексной системы автоматизации и управления и анализа режимов работы автоматизированной конвейерной линии является важным и актуальным заданием для развития горнодобывающей промышленности.

**Методы исследования.** Для решения этой задачи используются методы диагностики основных узлов и агрегатов конвейерной линии, характеризующие ее техническое состояние, также используются общие методы теории систем автоматического управления, а также метод пассивного эксперимента.

**Научная новизна.** Научная новизна заключается в создании комплексной системы автоматизации конвейерной линии, в отличие от существующих, включает в себя подсистему контроля и управления работой линии, подсистему технического диагностирования, подсистему прогнозирования и анализа состояния оборудования системы, подсистему архивирования данных, которые могут быть использованы для расчетов в других отделах предприятия и подсистему пожарной сигнализации.

**Практическая значимость.** Создание комплексной системы автоматизации даст полноценный контроль и максимально расширенный спектр параметров конвейерной линии, характеризующие ее работу, которые собраны в одном месте. При внедрении комплексной системы автоматизации конвейерной линии можно достичь значительного экономического эффекта за счет уменьшения простоев линии, сохранность оборудования от значительных повреждений и скорости реагирования на возникновение аварийных ситуаций.

**Результаты.** Сформировали принципы взаимодействия основных подсистем объекта для сбора и архивирования данных, которые в дальнейшем могут быть использованы для анализа и прогнозирования системы или для расчетов в других отделах системы. При проведении анализа работы конвейерных линий были перечислены основные типы расходов, связанных с работой объекта. Определили основные диагностические типы сигналов, несущих информацию о техническом состоянии основных узлов и агрегатов.

**Ключевые слова:** конвейерная линия, комплексная система управления, диагностирования технического состояния, архивация текущих данных.

**Stetsenko A.I., Yefimenko L.I., Docenko I.O.** The need for a comprehensive system automation conveyor line

**Purpose.** The purpose of this work is to create an integrated system for automation and control of the conveyor line for its uninterrupted, reliable and economical operation, in addition, the system will be more protected from serious damage and long downtime, which in turn will affect the monetary costs that the enterprise carries for the maintenance of the system. Therefore, the development of an integrated system for automation and management and analysis of the operating modes of the automated conveyor line is an important and urgent task for the development of the mining industry.

**Research methods.** To solve this problem, methods are used to diagnose the main nodes and aggregates of the conveyor line, characterizing its technical condition, and also use the general methods of the theory of automatic control systems, as well as the method of passive experiment.

**Scientific novelty.** The scientific novelty lies in the creation of an integrated conveyor line automation system, in contrast to existing ones, includes a subsystem for monitoring and controlling the operation of the line, a subsystem for technical diagnostics, a subsystem for forecasting and analyzing the state of the equipment of the system, a subsystem of data archiving that can be used for calculations in other Departments of the enterprise and the fire alarm subsystem.

**Practical meaningfulness** The creation of an integrated automation system will give full control and the widest range of conveyor line parameters that characterize its operation, which are collected in one place. When implementing a comprehensive automation system for the conveyor line, you can achieve significant economic benefits by reducing line downtimes, safeguarding the equipment against significant damage and the speed of response to emergencies.

**Results.** Formed the principles of interaction of the main subsystems of the object for the collection and archiving of data, which in the future can be used for analysis and prediction of the system or for calculations in other departments of the system. When analyzing the operation of conveyor lines, the main types of costs associated with the operation of the facility

were listed. Defined the main diagnostic types of signals that carry information about the technical condition of the main units and aggregates.

**Keywords:** conveyor line, complex control system, diagnostics of technical condition, archiving of current data.

УДК 681.2.084

**Толмачов С.Т., Бурчак І.М.** Система безконтактного виміру моменту на валу електродвигунів в умовах експлуатації

**Мета.** Метою даної публікації є викладення досвіду розробки та впровадження системи автоматичного безконтактного виміру та бездротової передачі інформації щодо крутного моменту на валу електродвигунів в умовах експлуатації в широкому діапазоні зміни статичного та динамічного навантаження.

**Методи дослідження.** Проведено порівняльний аналіз існуючих та перспективних систем безпосереднього виміру моменту на обертових валах електричних машин. Основна увага приділена найбільш поширеним на сьогодні тензорезисторним системам вимірювання пружних деформацій валу. Практична робота по конструюванню системи безконтактного виміру моменту пов'язана з підбором параметрів та формуванням тензорезисторного моста, реалізацією дистанційної передачі інформації з тензодатчиків після її оцифрування на зовнішній приймач за допомогою радіомодуля Bluetooth. Для програмування мікроконтролера використана апаратна та програмна платформа Arduino. Для роботи з кодами АЦП використано середовище розробки та платформа для виконання програм LabVIEW, що базується на графічній мові програмування «G» фірми National Instruments. Для фільтрації високочастотних шумів використано фільтр медіальної фільтрації.

**Наукова новизна.** Доказано, що на основі сучасних досягнень в галузі інтегральної електроніки можна створювати безконтактні та безпроводні системи виміру моменту та інших характеристик двигунів, вартість яких може бути значно меншою, ніж присутніх на сучасному ринку аналогів.

**Практична цінність.** Використання результатів роботи дає можливість в лабораторних умовах виконувати лабораторно-практичні заняття та наукові дослідження з однієї з важливих проблем електромеханіки – ефективного моніторингу моменту на обертових валах двигунів.

**Результати роботи.** Розроблено та впроваджено функціонально завершений пристрій для безпосереднього виміру крутного моменту. Практична реалізація системи показала, що тензорезистори як чутливі до пружних деформацій елементи залишаються одними з найбільш дешевих, точних та надійних компонентів в системах автоматичного вимірювання зусиль та моментів.

**Ключові слова.** Крутний момент, вимірювання, тензорезистори, Bluetooth, Arduino, LabVIEW.

**Толмачев С.Т., Бурчак И.Н.** Система бесконтактного измерения момента на валу электродвигателя в условиях эксплуатации

**Цель.** Целью данной публикации является изложение опыта разработки и внедрения системы автоматического бесконтактного измерения и беспроводной передачи информации о крутящем моменте на валу электродвигателей в условиях эксплуатации в широком диапазоне изменения статического и динамического нагружения.

**Методы исследования.** Проведен сравнительный анализ существующих и перспективных систем непосредственного измерения момента на вращающихся валах электрических машин. Основное внимание уделено наиболее распространенным на сегодня тензорезисторным системам измерения упругих деформаций вала. Практическая работа по конструированию системы бесконтактного измерения момента связана с подбором параметров и формированием тензорезисторного моста, реализацией дистанционной передачи информации с тензодатчиков после ее оцифровки на внешний приемник с помощью радиомодуля Bluetooth. Для программирования микроконтроллера использована аппаратная и программная платформа Arduino. Для работы с кодами АЦП использована среда разработки и платформа для выполнения программ LabVIEW, основанная на графическом языке программирования «G» фирмы National Instruments. Для фильтрации высокочастотных шумов использован фильтр медіальної фільтрації.

**Научная новизна.** Доказано, что на основе современных достижений в области интегральной электроники можно создавать бесконтактные и беспроводные системы измерения момента и других характеристик двигателей, стоимость которых может быть значительно меньше, чем присутствующих на современном рынке аналогов.

**Практическая ценность.** Использование результатов работы дает возможность в лабораторных условиях выполнять лабораторно-практические занятия и научные исследования по одной из важных проблем электромеханики – эффективного мониторинга момента на вращающихся валах двигателей.

**Результаты работы.** Разработано и внедрено функционально завершенное устройство для непосредственного измерения крутящего момента. Практическая реализация системы показала, что тензорезисторы как чувствительные к упругим деформациям элементы остаются одними из самых дешевых, точных и надежных компонентов в системах автоматического измерения усилий и моментов.

**Ключевые слова.** Крутящий момент, измерения, тензорезисторы, Bluetooth, Arduino, LabVIEW.

**Tolmachev S., Burchak I.** System non-contact easurement of torque on the motor shaft in operation

**Goal.** The goal of this publication is to present the experience of developing and implementing an automatic non-contact measurement system and wireless transmission of information about the torque on the motor shaft under operating conditions over a wide range of static and dynamic loading.

**Methods of research.** A comparative analysis of existing and prospective systems for direct measurement of torque on rotating shafts of electric machines was performed. The main attention is paid to the most widespread strain-gauge systems for measuring elastic deformations of a shaft of the engine. Practical work on the construction of a non-contact torque measurement system is related to the selection of parameters and the formation of a tensor bridge, the realization of remote transmission of information from load cells. After digitizing the information it is transmitted to the external receiver and by means of a module Bluetooth. The hardware and software platform Arduino is used to program the microcontroller. The programming language of Arduino devices is based on C / C ++. To work with ADC codes, a development environment and a platform for

executing LabVIEW programs are used, based on the graphical programming language "G" of National Instruments. To filter high-frequency noise, a medial filtering filter is used.

Scientific novelty. It is proved that on the basis of modern advances in the field of integrated electronics, non-contact and wireless systems for measuring torque and other characteristics of motors can be created, the cost of which can be significantly less than those present in the current market analogues.

**Practical value.** The use of the results of the work makes it possible in the laboratory to perform laboratory and practical studies and scientific research on one of the important problems of electromechanics - effective torque monitoring on rotating shafts of engines.

**Results of the work.** A functionally complete device for direct measurement of torque has been developed and implemented. Practical implementation of the system has shown that strain gages as sensitive to elastic deformation elements remain one of the cheapest, accurate and reliable components in systems of automatic measurement of forces and moments.

**Keywords.** Torque, measurements, strain gauges, Bluetooth, Arduino, LabVIEW

УДК 622.53:681.518.52

**Толмачов С.Т., Ильченко О.В.** Оптимізація режимів роботи насосних установок головного водовідливу шахт за критерієм мінімуму вартості електроенергії

**Мета.** Метою даної публікації є розробка методу оптимізації робочих режимів головних водовідливних установок гірничорудних шахт за критерієм мінімуму питомої вартості електроенергії.

**Методи дослідження.** Основна увага приділена можливості вибору таких робочих режимів насосних установок головного водовідливу, які відповідають характеристикам системи «насос – трубопровідна мережа», добовому графіку притоку води з нижніх горизонтів, технічним обмеженням (об'єм водозбірника, максимальна кількість насосних установок, які можуть працювати одночасно, горизонт головного водовідливу). Пошук оптимального варіанта роботи системи головного водовідливу реалізується шляхом погодинної дискретизації зони ефективної роботи насосних установок, формування масиву потенціально можливих робочих режимів та перебору комбінацій різних варіантів з урахуванням часових зон споживання електроенергії. Аналіз режимів роботи системи головного водовідливу. розглядається на прикладі шахт «Гвардійська» і «Родіна».

**Наукова новизна.** Вирішення сформульованої проблеми ґрунтується на спеціально розробленому алгоритмі, реалізованому у вигляді комп'ютерної програми, яка автоматично формує добовий графік роботи головних водовідливних установок з урахуванням поточного об'єму води у водозбірнику, динаміки притоку води та пріоритетної роботи насосів по можливості у години мінімальної вартості електроенергії. Розрахунок добового графіка роботи насосних установок виконано з використанням системи візуального програмування LABVIEW.

**Практична цінність.** Використання результатів роботи дає можливість в умовах різних шахт сформувати добові графіки роботи системи головного водовідливу, які з урахуванням фактичних технічних параметрів та технологічних обмежень забезпечують мінімальну вартість електроенергії при роботі насосних установок, а також можливість оцінки потенціалу енергозбереження та визначення шляхів його реалізації.

**Результати роботи.** Основними результатами роботи є: метод оптимізації режимів роботи насосних установок головного водовідливу шахт за критерієм мінімуму питомої вартості електроенергії, алгоритм визначення погодинного графіка роботи насосів, комп'ютерна програма для реалізації даного алгоритму, практичні розрахунки щодо оптимізації роботи системи головного водовідливу.

**Ключові слова.** Водовідлив, насосні установки, енергоефективність, добовий графік роботи, оптимізація, вартість електроенергії.

**Толмачов С.Т., Ильченко А. В.** Оптимизация режимов работы насосных установок главного водоотлива шахт по критерию минимума стоимости электроэнергии

**Цель.** Целью данной публикации является разработка метода оптимизации рабочих режимов главных водоотливных установок горнорудных шахт по критерию минимума удельной стоимости электроэнергии.

**Методы исследования.** Основное внимание уделено возможности выбора таких рабочих режимов насосных установок главного водоотлива, которые соответствуют характеристикам системы «насос - трубопроводная сеть», суточном графике притока воды из нижних горизонтов, техническим ограничениям (объем водосборника, максимальное количество насосных установок, которые могут работать одновременно, горизонт главного водоотлива). Поиск оптимального варианта работы системы главного водоотлива реализуется путем почасовой дискретизации зоны эффективной работы насосных установок, формирование массива потенциально возможных рабочих режимов и перебора комбинаций различных вариантов с учетом временных зон потребления электроэнергии. Анализ режимов работы системы главного водоотлива. рассматривается на примере шахт «Гвардейская» и «Родина».

**Научная новизна.** Решение сформулированной проблемы основывается на специально разработанном алгоритме, реализованном в виде компьютерной программы, которая автоматически формирует суточный график работы главных водоотливных установок с учетом текущего объема воды в водосборнике, динамики притока воды и приоритетной работы насосов по возможности в часы минимальной стоимости электроэнергии. Расчет суточного графика работы насосных установок выполнен с использованием системы визуального программирования LABVIEW.

**Практическая ценность.** Использование результатов работы дает возможность в условиях различных шахт сформировать суточные графики работы системы главного водоотлива, которые с учетом фактических технических параметров и технологических ограничений обеспечивают минимальную стоимость электроэнергии при работе насосных установок, а также возможность оценки потенциала энергосбережения и определения путей его реализации.

**Результаты работы.** Основными результатами работы являются: метод оптимизации режимов работы насосных установок главного водоотлива шахт по критерию минимума удельной стоимости электроэнергии, алгоритм определения почасового графика работы насосов, компьютерная программа для реализации данного алгоритма, практические расчеты по оптимизации работы системы главного водоотлива.

Ключевые слова. Водоотлив, насосные установки, энергоэффективность, суточный график работы, оптимизация, стоимость электроэнергии.

**Tolmachov S.T., Ilchenko A.V.** Optimization of the modes of operations of pumping options of the main pumping of mines on the criterion of a minimum of electricity charges

**Goal.** The goal of this publication is development of a method of optimization of operating modes of the principal water-removing systems of mining mines by criterion of a minimum of specific cost of the electric power.

**Research methods.** The main attention is paid to the choice of operating modes of the pumping systems of the main water-removing system that meet the specifications of the system "pump - pipe system", the daily diagram of inflow of water from the lower horizons, to technical restrictions (catchment basin volume, the maximum number of pumping systems which can work at the same time, the horizon of the principal water low tide). Search of an optimal variant of system operation of the principal water low tide is implemented by hourly sampling of a zone of effective operation of pumping systems, formation of an array potentially of possible operating modes and search of combinations of different options taking into account temporal zones of electricity consumption. Analysis of operation modes of system of the principal water low tide. is considered on the example of mine "Guards" and "Rodina".

**Scientific novelty.** The solution was realized on specially developed algorithm realized in the form of the computer program. The program automatically creates the daily diagram of operation of the principal water-removing systems taking into account the current volume of water in a catchment basin, dynamics of influx of water and priority operation of pumps depending on the minimum cost of the electric power. Calculation of the daily diagram of operation of pumping systems is executed with use of system of visual programming of LABVIEW.

**The practical value.** Results of operation can be used for mines. Results will allow to create daily diagrams of system operation of the principal water low tide which taking into account the actual technical parameters and technological limits, provide the minimum cost of the electric power by operation of pumping systems, and also a possibility of an assessment of potential of energy saving and determination of ways of its implementation.

**Results.** The main results of operation are: a method of optimization of operation modes of pumping systems of the principal water low tide of mines by criterion of a minimum of specific cost of the electric power, an algorithm of determination of the hourly diagram of operation of pumps, the computer program for implementation of this algorithm, practical calculations for optimization of system operation of the principal water low tide.

**Keywords.** Water-removing systems, pumping systems, energy efficiency, daily diagram of operation, optimization, electric power cost.

УДК 624.012.454

**Валовой О.І., Єрмоєнко О.Ю., Валовой М.О.** Характеристики міцності та жорсткості балок армованих базальтовою арматурою

**Мета.** Метою даної роботи є порівняння напружено-деформованого стану балок армованих базальтовою арматурою (BFRP) з аналогічними залізобетонними балками. Базальтова арматура є, відносно, новим матеріалом і особливості її роботи, у складі тих чи інших будівельних конструкцій, досліджені не в повній мірі. Існує обмежена кількість відомостей про характер впливу специфічних, притаманних композитним матеріалам, фізико-механічних властивостей базальтової арматури на загальну несучу здатність та деформативність конструкцій.

**Методи дослідження.** Вивчення, аналіз та систематизації результатів новітніх експериментальних досліджень поведінки базальтової арматури у складі будівельних конструкцій. Проведення оцінки характеру руйнування, тріщиноутворення, показників міцності та жорсткості за результатами випробувань експериментальних балок.

**Наукова новизна.** З'ясовані відмінності в характері руйнування, тріщиноутворення, прогинах та показниках міцності балок армованих базальтовою арматурою порівняно з балками армованими металевою арматурою. Встановлено потребу в удосконаленні методів оцінки прогинів балок армованих базальтовою арматурою зважаючи на показники жорсткості цієї арматури.

**Практична значимість.** Розглянуті відомості про особливості роботи балок армованих базальтовою арматурою порівняно з балками армованими металевою арматурою дають підстави стверджувати про ефективність використання базальтової арматури у складі бетонних конструкцій. Розширення бази експериментальних відомостей дасть змогу підвищити надійність конструкцій армованих базальтовою арматурою, вдосконалити існуючу нормативну базу з розрахунку та проектування таких конструкцій.

**Результати.** Встановлено, що балки ідентичних розмірів, виготовлені з бетону одного класу, армовані базальтовою та металевою арматурою одного діаметру показали приріст міцності при випробуваннях на згин, до 210% для випадку використання базальтової арматури порівняно зі зразками армованими металевою арматурою. В той же час прогини при руйнуванні балок з базальтовою арматурою більше ніж у 2.5 рази перевищували прогини балок армованих металевою арматурою. Прогини обох зразків балок при рівні навантажень, яке відповідає руйнівному для балок армованих металевою арматурою, були однаковими.

**Ключові слова:** композит, базальтова арматура, балка, бетон, міцність, прогин, тріщиностійкість.

**Валовой О. І., Єрмоєнко О. Ю., Валовой М. О.** Характеристики прочности и жесткости балок армированных базальтовой арматурой

**Цель.** Целью данной работы является сравнение напряженно-деформированного состояния балок армированных базальтовой арматурой (BFRP) с аналогичными железобетонными балками. Базальтовая арматура есть, относительно, новым материалом и особенности ее работы, в составе тех или других строительных конструкций, исследованные не в полной мере. Существует ограниченное количество сведений о характере влияния специфических, присутствующих композитным материалам, физико-механических свойств базальтовой арматуры на общую несущую способность и деформативность конструкций.

**Методы исследования.** Изучение, анализ и систематизации результатов новейших экспериментальных исследований поведения базальтовой арматуры в составе строительных конструкций. Проведение оценки характера разрушения, трещинообразования, показателей прочности и жесткости по результатам испытаний экспериментальных балок.

**Научная новизна.** Выясненные отличия в характере разрушения, трещиноутворения, прогибах и показателях прочности балок армированных базальтовой арматурой сравнительно с балками армированными металлической арматурой. Установлена потребность в усовершенствовании методов оценки прогибов балок армированных базальтовой арматурой принимая во внимание показатели жесткости этой арматуры.

**Практическая значимость.** Рассмотренные сведения об особенностях работы балок армированных базальтовой арматурой сравнительно с балками армированными металлической арматурой дают основания утверждать об эффективности использования базальтовой арматуры в составе бетонных конструкций. Расширение базы экспериментальных сведений даст возможность повысить надежность конструкций армированных базальтовой арматурой, усовершенствовать существующую нормативную базу из расчета и проектирования таких конструкций.

**Результаты.** Установлено, что балки идентичных размеров, изготовленные из бетона одного класса, армированы базальтовой и металлической арматурой одного диаметра показали прирост прочности при испытаниях на изгиб, к 210% для случая использования базальтовой арматуры сравнительно с образцами армированными металлической арматурой. В то же время прогибы при разрушении балок с базальтовой арматурой больше чем в 2.5 раза превышали прогибы балок армированных металлической арматурой. Прогибы обоих образцов балок при уровне нагрузок, которое отвечает разрушительному для балок армированных металлической арматурой, были одинаковыми.

**Ключевые слова:** композит, базальтовая арматура, балка, бетон, прочность, прогиб, трещиностойкость.

**Valovoi O.I., Eremenko O.Y., Valovoi M.O.** Durability and rigidity characteristics of beams reinforced with basalt armature

**Objective.** The purpose of the work is comparison of deformation mode of the beams reinforced with the basalt armature with the similar ferroconcrete beams. Basalt armature is a relatively new material and its features of the working in a structure of any framework are not basically researched. There is limited data about the character of the influence of specific, physical and mechanical purposes of the basalt armature on the bearing power and framework deformability.

**Research methods.** Examination, analysis and systematization of the modern experimental research results of the basalt armature behavior in the structure of a framework were used for the research. The estimation of the destruction character, crack development, durability and rigidity indices according to the test results of the experimental beams were conducted.

**Academic novelty.** The differences between the destruction character, crack development, bending, durability and rigidity indices of the beams reinforced with the basalt armature with the beams reinforced with metal armature are discovered. It is stated the necessity of the methods' improvement in the process of the beams bending estimation taking into consideration rigidity indices of the armature.

**Practical implications.** The features of the working of the beams reinforced with the basalt armature with the beams reinforced with metal armature are studied. It results in the effectiveness of using the basalt armature in the structure of the concrete framework. The spreading of the experimental data base empowers to increase the safety of the structures reinforced with the basalt armature and to improve existing regulation base for calculation and design.

**Results.** It is stated, that the beams of the identical sizes which were made from the same mark concrete and have the same diameter of the basalt and metal armature show the rigidity increasing when tested in bending to 210% in the case of the basalt armature in comparison with the metal one. At the same time, when destructing, the bendings of the beams reinforced with the basalt armature 2.5 times exceed the bendings of the beams reinforced with metal armature. The bendings of the both beams' samples were equal. The level of destruction was taken according to the destruction level for the beams reinforced with metal armature.

**Key words:** structure, basalt armature, beam, concrete, durability, bending, crack resistance.

УДК 691.328.4; 691.175.3

**Попруга Д.В., Валовой О.І.** Використання склопластикової композитної арматури в згинальних елементах виготовлених з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів

**Мета.** Метою даної роботи є визначення реальних фізико-механічних властивостей композитної склопластикової арматури і порівняння їх з аналогічними характеристиками металеві арматури. Визначення передумов використання склопластикових композитів в якості арматурних виробів згинальних елементів виготовлених на бетонах з відходів гірничо-збагачувальних комбінатів.

**Методи дослідження.** Окрім аналізу літературних джерел планується проведення натурного експерименту зі зразками композитної склопластикової арматури і металеві арматури А400С.

**Наукова новизна.** Реальні фізико-механічні характеристики композитної склопластикової арматури дозволять встановити закономірності рівномірної заміни металеві арматури А400С і можливість подальшого використання композитів в бетонних згинальних елементах.

**Практична значимість.** Згідно експериментальних даних, отриманих під час випробування зразків композитної склопластикової арматури на розрив, буде розроблена програма наукового дослідження згинальних бетонних елементів виготовлених на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів і армованих композитною склопластиковою арматурою. Визначення реального напружено-деформованого стану згинальних елементів армованих композитами і виготовлених з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів, дозволить встановити передумови використання подібної арматури в згинальних бетонних будівельних конструкціях, а особливо виготовлених на бетонах, що мають знижені деформативні характеристики.

**Результати.** Під час експериментального дослідження різних діаметрів композитної склопластикової арматури на розрив буде встановлено: фактичні розміри і вага арматурних зразків, визначення тимчасового опору арматури на розтяг, побудовано графічну залежність "напруження-деформації", визначення наявності або відсутності площадки текучості, відносні деформації арматурних зразків, початковий модуль пружності. Визначені фізико-механічні характеристики металеві арматури А400С дозволять встановити реальні залежності рівномірної заміни її композитною склопластиковою арматурою при виготовленні бетонних згинальних елементів.

**Ключові слова:** композитна склопластикова арматура, металева арматура, фізико-механічні характеристики, тимчасовий опір на розрив, рівномірна заміна, модуль пружності.

**Попруга Д.В., Валовой А. И.** Использование стеклопластиковой композитной арматуры в изгибистых элементах изготовленных из бетонов на отходах горно-обогатительных комбинатов

**Цель.** Целью данной работы является определение реальных физико-механических свойств композитной стеклопластиковой арматуры и сравнения их с аналогичными характеристиками металлической арматуры. Определение предпосылок использования стеклопластиковых композитов в качестве арматурных изделий изгибистых элементов изготовленных на бетонах из отходов горно-обогатительных комбинатов.

**Методы исследования.** Кроме анализа литературных источников планируется проведение натурного эксперимента с образцами композитной стеклопластиковой арматуры и металлической арматуры А400С.

**Научная новизна.** Реальные физико-механические характеристики композитной стеклопластиковой арматуры позволят установить закономерности равнопрочной замены металлической арматуры А400С и возможность дальнейшего использования композитов в бетонных изгибистых элементах.

**Практическая значимость.** Согласно экспериментальных данных, полученных во время испытания образцов композитной стеклопластиковой арматуры на разрыв, будет разработана программа научного исследования изгибистых бетонных элементов изготовленных на отходах горно-обогатительных комбинатов и армированных композитной стеклопластиковой арматурой. Определение реального напряженно-деформированного состояния изгибистых элементов армированных композитами и изготовленных из бетонов на отходах горно-обогатительных комбинатов, позволит установить предпосылки использования подобной арматуры в изгибистых бетонных строительных конструкциях, а особенно изготовленных на бетонах, которые имеют сниженные деформативные характеристики.

**Результаты.** Во время экспериментального исследования разных диаметров композитной стеклопластиковой арматуры на разрыв будет установлено: фактические размеры и вес арматурных образцов, определения временного сопротивления арматуры на розтяг, построена графическая зависимость "напряжения-деформации", определения наличия или отсутствия площадки текучести, относительные деформации арматурных образцов, начальный модуль упругости. Определенные физико-механические характеристики металлической арматуры А400С позволят установить реальные зависимости равнопрочной замены ее композитной стеклопластиковой арматурой при изготовлении бетонных изгибистых элементов.

**Ключевые слова:** композитная стеклопластикова арматура, металлическая арматура, фізико-механічні характеристики, временное сопротивление на разрыв, рівномірна заміна, модуль упругости.

**Popruga D.V. Valovoi O.I.** Using of fiberglass composite armature in the bending elements made from the concretes on the mining ore dressing combines wastes

**Objective.** The objective of the work is the definition of the physical and mechanical properties of composite fiberglass armature and its comparison with the identical characteristics of metal armature. The work is also focused on the definition of the using background of fiberglass composites as reinforced products of the bending elements made from the concretes on the Mining Ore Dressing Combines wastes.

**Research methods.** Except the literature analysis it is planned to conduct full-scale experiment with the samples of composite fiberglass armature and metal armature А400С.

**Academic novelty.** Objective physical and mechanical parameters of composite fiberglass armature enable to establish the mechanism of the equally efficient substitution of metal armature А400С and alternative of the further using of composites in the concrete bending elements.

**Practical implication.** According to the experimental data obtained during the testing of the samples of composite fiberglass armature on breakup, the program of the scientific research will be worked out. The research will engage the bending concrete elements made from the concretes on the Mining Ore Dressing Combines wastes and reinforced with composite fiberglass armature. The definition of the objective deformation- mode of the bending elements reinforced with composites and made from the concretes on the Mining Ore Dressing Combines wastes enables to establish the background of using of the similar armature in the bending concrete building structures, especially those which were made from concretes with lowered deformation characteristics.

**Results.** In experiments for different diameters of composite fiberglass armature in breakup it will be stated the following: the actual sizes and weight of armature's samples, the definition of the temporary resistance of the armature in extension, the characteristic curve "intention-deformation" will be built, the definition of existence or absence of yield point, relative deformations of the armature samples, primary module of resilience. Defined physical and mechanical characteristics of the metal armature А400С will allow to set the objective dependencies of the equally efficient substitution by composite fiberglass armature for the production of the concrete bending elements.

**Key words:** composite fiberglass armature, metal armature, physical and mechanical characteristics, temporary resistance on breakup, equally efficient substitution, module of resilience.

УДК 656.11

**Сістук В.О., Богачевський А.О.** Підвищення пропускної здатності перехрестя магістральної та об'їзної вулиць з регульованим рухом

**Мета.** Метою роботи є комплексне дослідження пропускної здатності перехрестя магістральної та об'їзної вулиць у місті Кривий Ріг, яке використовується учасниками дорожнього руху для зменшення часу проїзду між Саксаганським та Центрально-міським районами міста. Об'єктом дослідження виступає Х-подібна транспортна розв'язка, яка складається з проспекту Миру з 6 смугами руху, та примикаючої вулиці Гетьманської з 2 смугами з одного боку від проспекту, 4 смугами – з іншого. Предметом дослідження є показники часу проїзду перехрестя та довжини транспортних заторів.

**Методи дослідження.** У роботі було використано польові дослідження, метод комп'ютерного імітаційного моделювання та аналіз статистичних залежностей та показників.

**Наукова новизна.** Наукову цінність представляє розроблена комп'ютерна імітаційна модель перехрестя у програмному середовищі PTV VISSIM з урахуванням режиму світлофорної сигналізації та отриманих у польових умовах показників інтенсивностей руху.

**Практична значимість.** За результатами моделювання встановлено, що за напрямками з південної частини міста по вулиці «пр. Миру» та зі східної частини міста по вулиці Гетьманська утворюється значна черга транспортних засобів. У першому напрямку така черга (139 м) обумовлена необхідністю зупинки транспортних засобів перед перехрестям і недостатнім часом включення дозволяючого сигналу світлофору (30 с) для закінчення водіями маневру. У другому напрямку черга (156 м) утворюється через недостатню ширину проїзної частини (3,5 м). Для підвищення пропускної здібності проблемних ділянок перехрестя розроблені практичні рекомендації щодо розширення проїзної частини по вулиці Гетьманська на 2 м, для забезпечення 2-х смугового руху транспортних засобів (по 2,75 м на смугу), та розроблено нову 3-х фазну циклограму режиму світлофорного регулювання.

**Результати.** Проведений аналіз альтернативного варіанту будови та регулювання перехрестя показав, що з'являється можливість скоротити час руху транспортних засобів з південної частини міста по вулиці «пр. Миру» на 130 с, та зменшити довжину черги у напрямку з південної частини міста по вул. «пр. Миру» на 14 м, й зі східної частини міста по вулиці Гетьманська – на 18 м.

**Ключові слова:** транспортна система, комп'ютерне імітаційне моделювання, статистичні параметри, інтенсивність руху, світлофорне регулювання, PTV VISSIM.

**Sistuk V.O., Bogachevskiy A.O.** Traffic capacity growth of arterial street and loop road signalized intersection

**The goal of research.** The paper presents a comprehensive study of traffic capacity of the arterial street and loop road intersection in the city of Kryvyi Rih which is used by travelers for decrease of travel time between Saksahanskyi and Central City districts. The object of research is X-shaped intersection, which consists of the Mira Avenue with 6 lanes of traffic and the adjoining street of Hetman with 2 lanes on one side of the Avenue and 4 lanes on the other. The subject of the study are indicators of the travel time and length of traffic jam.

**Methods.** The field researches, computer simulation and analysis of historical data and functions were used in the study.

**Scientific value.** The developed simulation model of the intersection in microscopic flow simulation software PTV VISSIM taking into account light signal mode and vehicle densities indicators from real-life conditions is seen scientific value.

**Practical utility.** Based on the simulation it was determined that an impressive traffic queue take place from the southern part of the city on the Mira Avenue and from the eastern part of the city on the Hetman street. In the first direction such queue (139 m) is due to the need to vehicles stopping down before the intersection and lack of turn-on time of an allowing signal of the traffic light (30s) to finish the drivers of the maneuver. In the second direction the queue (156 m) is formed due to the insufficient width of the roadway (3.5 m). For traffic capacity growth of problem intersection areas the operational recommendations to road expansion on the Hetman street on 2 m for 2 lane traffic (for 2.75 m on lane) and new 3-phase the sequence diagram of modes of traffic regulation were developed.

**Results.** The analysis of the alternative versions of the structure and regulation of the intersection showed that it is possible to reduce the vehicles drive time from the southern part of the city on the Mira Avenue on 130s and to reduce the queue length in the direction of the southern part of the city of the Mira Avenue at 14 m and from the eastern part of the city on the Hetman street on 18 m.

**Keywords:** transport system, computer simulation, statistical parameters, traffic intensity, traffic light control, PTV VISSIM.

**Zaikina D.P.** Study of current methods for identification and evaluation of occupational hazard at the mining industry enterprises

**Purpose.** Analysis and systematization of the existing quantitative and qualitative methods and methodology for risk assessment in the field of occupational health and safety with a view to further justify choice of a method to adapt the calculations for occupational hazard in conditions of mining enterprises.

**Research methods.** Currently, there is a countrywide need for develop new and improve given methods, means and principles for the protection and promotion of health workers at unhealthy trades, including miners, whose work on existing criterion is applied to the category of high life and health risk.

Thus, to achieve this purpose there was the complex method of scientific research, comprising: a generalization and analysis of the literature and static information on the working conditions in the iron-ore mines; Injury methods of analysis getting injury, the expert assessments, mathematical statistics and probability theory to assess of occupational hazard, which enables further development towards integration of occupational health and safety management system in conditions of underground iron-ore mining.

**Originality.** The necessity of a unified approach to risk assessment and implementation of the management of occupational hazards (OH) in the occupational health and safety management system in mining enterprises is grounded.

**Practical value.** A new approach to the procedure for the identification and hazard assessment, which will minimize the probability of accidents, injuries, occupational hazards and, consequently, increase the stability of the performance of production functions is given.

**Findings.** An overview of the main approaches to improving the effectiveness of occupational safety and health administration at the mining enterprises is done.

**Keywords:** the system of «human-machine-environment», working-environment factor and working process, working-environment factor and working process, hazardous event, the value of the probability of infringement (injury) to health worker, severity of the consequences of the adverse effects harmful conditions and hazardous job, occupational hazard, criteria for risk acceptance, risk management, occupational health and safety management system.

UDK 331.461:622.012

**Zaikina D.P.** Study of current methods for identification and evaluation of occupational hazard at the mining industry enterprises

**Purpose.** Analysis and systematization of the existing quantitative and qualitative methods and methodology for risk assessment in the field of occupational health and safety with a view to further justify choice of a method to adapt the calculations for occupational hazard in conditions of mining enterprises.

**Research methods.** Currently, there is a countrywide need for develop new and improve given methods, means and principles for the protection and promotion of health workers at unhealthy trades, including miners, whose work on existing criterion is applied to the category of high life and health risk.

Thus, to achieve this purpose there was the complex method of scientific research, comprising: a generalization and analysis of the literature and static information on the working conditions in the iron-ore mines; Injury methods of analysis getting injury, the expert assessments, mathematical statistics and probability theory to assess of occupational hazard, which enables further development towards integration of occupational health and safety management system in conditions of underground iron-ore mining.

**Originality.** The necessity of a unified approach to risk assessment and implementation of the management of occupational hazards (OH) in the occupational health and safety management system in mining enterprises is grounded.

**Practical value.** A new approach to the procedure for the identification and hazard assessment, which will minimize the probability of accidents, injuries, occupational hazards and, consequently, increase the stability of the performance of production functions is given.

**Findings.** An overview of the main approaches to improving the effectiveness of occupational safety and health administration at the mining enterprises is done.

**Keywords:** the system of «human-machine-environment», working-environment factor and working process, working-environment factor and working process, hazardous event, the value of the probability of infringement (injury) to health worker, severity of the consequences of the adverse effects harmful conditions and hazardous job, occupational hazard, criteria for risk acceptance, risk management, occupational health and safety management system.

**Заїкіна Д.П.** Дослідження сучасних методів ідентифікації і оцінювання професійних ризиків підприємств гірничої промисловості

**Мета.** Аналіз і систематизація існуючих кількісних і якісних методів і методик оцінки ризиків в галузі охорони праці, з метою подальшого обґрунтування вибору методу для адаптування при розрахунках виробничих ризиків в умовах гірничих підприємств.

**Методи дослідження.** Нині виникає загальнодержавна потреба розвивати нові і удосконалювати методи, що виправдали себе, засоби і принципи охорони та зміцнення здоров'я працівників шкідливих професій, в тому числі шахтарів, праця яких за існуючими критеріями відноситься до категорії високого ризику для життя і здоров'я.

Так, для досягнення поставленої мети було використано комплексний метод наукового дослідження, який містить: узагальнення та аналіз літературних джерел і статичної інформації за умовами праці на залізрудних шахтах; методи аналізу травматизму, експертних оцінок, математичної статистики і теорії ймовірності для оцінки професійних ризиків, що надає можливість подальшого розвитку в напрямку інтегрування системи управління в умовах підземного видобутку залізних руд.

**Наукова новизна.** Аргументовано необхідність в єдиному підході оцінки ризиків та впровадження менеджменту професійних ризиків (ПР) в систему управління охороною праці на гірничих підприємствах.

**Практична значимість.** Обґрунтування нового підходу до процедури ідентифікації та оцінки небезпек, який дозволить мінімізувати ймовірність нещасних випадків, травмування, профзахворювань і, отже, підвищити стабільність виконання виробничих функцій. Розробка якого, розширить можливості використання уніфікованої методики при проведенні аналогічних досліджень в інших сферах діяльності країни і будуть сприяти накопиченню баз даних за кількісними і якісними характеристиками ПР в різних професіях і видах діяльності.

**Результати.** Здійснено огляд основних підходів до вдосконалення ефективності управління охороною праці на гірничорудних підприємствах.

**Ключові слова.** Система «людина-машина-середовище», фактори виробничого середовища і трудового процесу, небезпечна подія, величина ймовірності порушення (ушкодження) здоров'я працівника, тяжкість наслідків несприятливого впливу шкідливостей та небезпечних умов праці, професійний ризик, критерії прийнятності ризику, заходи по зменшенню ризику, система управління охороною праці.

**Заїкіна Д.П.** Исследования современных методов идентификации и оценки профессиональных рисков предприятий горной промышленности

**Цель.** Анализ и систематизация существующих количественных и качественных методов и методик оценки рисков в области охраны труда с целью последующего обоснования выбора метода для адаптирования при расчетах производственных рисков в условиях горных предприятий.

**Методы исследования.** В настоящее время возникает общегосударственная потребность развивать новые и совершенствовать оправдавшие себя методы, средства и принципы охраны и укрепления здоровья работников вредных профессий, в том числе шахтеров, труд которых по существующим критериям относится к категории высокого риска для жизни и здоровья.

Так, для достижения поставленной цели был использован комплексный метод научного исследования, который содержит: обобщение и анализ литературных источников и статистической информации по условиям труда на железорудной шахте; методы анализа травматизма, экспертных оценок, математической статистики и теории вероятности для оценки профессиональных рисков, что предоставляет возможность дальнейшего развития по направлению интеграции системы управления в условиях подземной разработки железных руд.

**Научная новизна.** Аргументирована необходимость в едином подходе оценки рисков и внедрение менеджмента профессиональных рисков (ПР) в систему управления охраной труда на горных предприятиях.

**Практическая значимость.** Обоснование нового подхода к процедуре идентификации и оценки опасностей, который позволит минимизировать вероятность несчастных случаев, травмирования, профзаболеваний и, следовательно, повысит стабильность выполнения производственных функций. Разработка которого, расширит возможности ис-

пользования унифицированной методики при проведении аналогичных исследований в других сферах деятельности страны и будут способствовать накоплению баз данных по количественным и качественным характеристикам ПР в различных профессиях и видах деятельности.

**Результаты.** Осуществлен обзор основных подходов к совершенствованию эффективности управления охраны труда на горнорудных предприятиях.

**Ключевые слова.** Система «человек-машина-среда», факторы производственной среды и трудового процесса, опасное событие, величина вероятности нарушения (повреждения) здоровья работника, тяжесть последствий неблагоприятного воздействия вредных и опасных условий труда, профессиональный риск, критерии приемлемого риска, меры по уменьшению риска, система управления охраной труда.

УДК 504.056: 502.5/8 (477.63)

**Антонік В.І., Петрухін А.В., Антонік І.П.** Вплив відвалів та хвостосховищ гірничо-збагачувальних комбінатів Криворіжжя на стан екології прилеглих територій

**Мета.** Оцінка впливу відходів видобутку і збагачення залізорудної сировини, сконцентрованих у формі відвалів та хвостосховищ, на стан екології навколишнього середовища та встановлення характерних ознак техногенної геоекосистеми, що формується під дією шкідливих факторів з боку цих об'єктів.

**Методи досліджень.** Порівняльний аналіз і співставлення сучасних і ретроспективних даних стану абіотичних та біотичних чинників екосистем на територіальних ділянках впливу техногенних факторів.

**Наукова новизна.** Встановлено, що техногенні фактори, які генеруються відвалами та хвостосховищами, одночасно негативно впливають на стан атмосферного повітря, ґрунтів, на геологію і гідрологічні параметри місцевості та на гідрохімію підземних вод. Віддалені наслідки такої дії проявляються глибокими та не зворотними руйнаціями природних екосистем з утворенням деградованих техногенних геоекосистем та провокують антропогенні сукцесії регресивного характеру.

**Практична значимість.** Дослідження характеру і напрямків аlogenно обумовлених трансформацій екологічних систем на територіях, що межують з багатоярусними відвалами чи хвостосховищами є важливим та актуальним питанням як для об'єктивізації оцінок впливу техногенних споруд на довкілля, так і для розробки найбільш ефективних методів охорони навколишнього середовища.

**Результати.** Деструктивна дія відвалів та хвостосховищ на стан екології пов'язана із фракційно – хімічним складом та агрегатним станом відходів видобутку та збагачення залізо – рудної сировини, а також із застосовуваними технологіями складування самих відходів. За результатами досліджень рекомендується переглянути оціночні критерії ступеню безпечності і токсичності речовин, що концентруються у відвалах та хвостосховищах, так як віддалені наслідки дії пилу з поверхонь цих об'єктів приводять до суттєвого кумулятивного забруднення ґрунтів навколишнього середовища токсичними речовинами I-II класу небезпеки. Відвали та хвостосховища повинні бути визнані об'єктами екологічної небезпеки високого рівня, так як створювані за їх участю техногенні геоекосистеми мають руйнівний характер розвитку, що закінчується аlogenними сукцесіями зі створенням збіднених біотопів. Зростання негативних зрушень в стані екології прилеглих до відвалів та хвостосховищ територій прогресує пропорційно нарощуванню відвального та шламо – хвостового господарства.

**Ключові слова:** відвали, хвостосховища, забруднюючі фактори, екологія, техногенна геоекосистема, деградація, сукцесії.

**Антоник В.И., Петрухин А.В., Антоник И.П.** Влияние отвалов и хвостохранилищ горнообогатительных комбинатов Криворожья на состояние экологии прилегающих территорий

**Цель.** Оценить влияние отходов добычи и обогащения железорудного сырья, сконцентрированных в форме отвалов и хвостохранилищ, на состояние экологии окружающей среды и определить характерные признаки техногенной геоекосистемы, которая формируется под воздействием вредных факторов со стороны этих объектов.

**Методы исследований.** Сравнительный анализ и сопоставление современных и ретроспективных данных состояния абитических и биотических составляющих экосистем на территориальных участках воздействия техногенных факторов.

**Научная новизна.** Установлено, что техногенные факторы, которые генерируются отвалами и хвостохранилищами, одновременно негативно влияют на состояние атмосферного воздуха и грунтов, на геологию и гидрологические параметры местности, а также на гидрохимию подземных вод. Отдаленные последствия такого воздействия проявляются глубокими и бесповоротными разрушениями природных экосистем с образованием деградированных техногенных геоекосистем, а также провоцируют антропогенные сукцесии регрессионного характера.

**Практическое значение.** Исследование характера и направления аlogenно обусловленных трансформаций экологических систем на территориях, которые граничат с многоярусными отвалами и хвостохранилищами, является важным и актуальным вопросом как для объективизации оценок влияния техногенных сооружений на окружающую среду, так и для разработки наиболее эффективных методов охраны этой среды.

**Результаты.** Деструктивное влияние отвалов и хвостохранилищ на состояние экологии связано с фракционно-химическим составом и агрегатным состоянием отходов добычи и обогащения железорудного сырья, а также с применяемыми технологиями складирования самих отходов. По результатам исследований рекомендуется пересмотреть оценочные критерии степени опасности и токсичности веществ, которые складываются в отвалах и хвостохранилищах, поскольку отдаленные последствия воздействия пыли с поверхности этих объектов приводят к существенному кумулятивному загрязнению грунтов окружающей среды токсическими веществами I-II класса опасности. Отвалы и хвостохранилища должны быть признаны объектами экологической опасности высокого уровня, так как создаваемые ими техногенные геоекосистемы имеют регрессивный характер развития, что заканчивается аlogenными сукцесиями по созданию обедненных биотопов. Увеличение негативных изменений в состоянии экологии прилегающих к отвалам и хвостохранилищам территорий прогрессирует пропорционально наращиванию параметров отвального и шламо – хвостового хозяйства.

**Ключевые слова:** отвалы, хвостохранилища, загрязняющие факторы, экология, техногенная геосистема, деградация, сукцессии.

**Antonik V. I., Petrukhin A V., Antonik I. P.** The effect of dumps and tailing ponds from mining and dressing complexes in Kryvyi Rih on the ecology of adjoining territories

**The purpose.** To evaluate the affect of dumps from mining and dressing of iron raw materials in the form of dumps and tailing ponds on the ecology of the environment and determine the characteristic features of technogenic geoecosystem which is formed under the affect of harmful factors of these complexes.

**The methods of investigation.** The comparative analysis and the comparison of modern and retrospective data of the state of abiotic and biotic components of ecosystems on the territories affected by technogenic factors.

**Scientific novelty.** It's established that technogenic factors which are generated by dumps and tailing ponds simultaneously affect the state of atmosphere and soil, geology and hydrological parameters of adjoining territories as well as hydrochemistry of groundwater. The remote consequences of such impact are manifested in deep and irrevocable destructions of natural ecosystems with the formation of degraded technogenic geoecosystems and they also provoke the appearance of anthropogenic successions of regressive character.

**Practical importance.** The investigation of the characters and the direction of allogiously caused transformations of ecological systems on the territories which border on multi-tiered dumps and tailing ponds is important and acute issue both for objective evaluations of the effect of technogenic buildings on the environment and for developing the most effective methods for the environment protection.

**The results.** The destructive affect of dumps and tailing ponds on the ecological state is connected with aggregate state of dumps from mining and dressing of iron raw material as well as with applied technologies of storing wastes. It's recommended to overestimate the evaluations of danger and toxicity of substances stored in dumps and tailing ponds as the remote consequences from the affect of dust from the surface of these complexes result in cumulative pollution of soils of the environment with toxic substances of the first and second danger levels. Dumps and tailing ponds should be recognized as objects of ecological danger of high level as the technogenic geoecosystems created by their have a regressive character of their development which results in the formation of allogeneic successions through creation of depleted biotopes. The increase in negative changes in the state of the ecology of the territories adjoining dumps and tailing ponds progresses proportionally to the increase in the parameters of dumps, slime and tailing ponds.

**Key words:** dumps, tailing pond, pollution factors, ecology technogenic geoecosystem, degradation, successions.

УДК 004.056. 5: 004.738.5(045)

**Мелешко Е.А., Болотникова Е.С.** Проблемы безопасности мобильных устройств, систем и приложений в OS ANDROID

**Цель работы.** Повышение эффективности защиты информации с ограниченным доступом в мобильных устройствах путем разработки политик и регламентов использования мобильных устройств, анализа и выбора методов шифрования, ограничения использования вредоносного ПО. Систематизация и анализ корпоративных методов защиты внутренней информации. Минимизация корпоративных убытков за счет утечки информации различного уровня (типа) конфиденциальности.

**Методы исследования.** Обзор и анализ факторов риска нарушения безопасности использования мобильных устройств. Анализ и систематизация методов защиты информации на мобильных устройствах под управлением OS Android. Опытная проверка существующих способов защиты конфиденциальной информации на мобильном устройстве. Анализ алгоритмов установки стороннего ПО на устройства под управлением OS Android, поиск путей уязвимости и защиты внутренней информации.

**Научная новизна.** Выполнен анализ и систематизация угроз и способов воздействия на мобильные устройства. На основе выполненного анализа и систематизации разработан и практически проверен алгоритм использования методов защиты информации.

**Результаты.** На основании проведенных исследований уязвимости и методов защиты в OS Android установлено, что данная операционная система как собственные, внутренние средства защиты, так же может и поддерживать дополнительное, разработанное другими разработчиками. Встроенные внутренние средства защиты, достаточно удобными инструментами защиты данных на мобильных телефонах. Учитывая тип блокировки, выделяют различные виды безопасности. Они достаточно эффективны, но от внешних атак, то есть если кто-то хочет зайти на мобильный телефон и посмотреть какие-то определенные данные, то злоумышленник встречает препятствие в виде: пароля, рисунка, распознавание лица или PIN. Но от внутренних атак, вирусов, данные средства бесполезны. В то время как дополнительное программное обеспечение, может обеспечить, как безопасность от внутренних, так и от внешних атак.

**Ключевые слова:** OS Android; мобильные телефоны; безопасность информации; угрозы; конфиденциальность; целостность; доступность; средства защиты информации.

**Мелешко Е.А., Болотникова Е.С.** Проблеми безпеки мобільних пристроїв, систем і додатків в OS ANDROID

**Мета роботи.** Підвищення ефективності захисту інформації з обмеженим доступом в мобільних пристроях шляхом розробки політик і регламентів використання мобільних пристроїв, аналізу і вибору методів шифрування, обмеження використання шкідливого ПО. Систематизація і аналіз корпоративних методів захисту внутрішньої інформації. Мінімізація корпоративних збитків за рахунок витоку інформацію різного рівня (типу) конфіденційності.

**Методи дослідження.** Огляд і аналіз чинників ризику порушення безпеки використання мобільних пристроїв. Аналіз і систематизація методів захисту інформації на мобільних пристроях під управлінням OS Android. Досвідчена перевірка існуючих способів захисту конфіденційної інформації на мобільному пристрої. Аналіз алгоритмів установки стороннього ПО на пристрої під управлінням OS Android, пошук шляхів уразливості і захисту внутрішньої інформації.

**Наукова новизна.** Виконаний аналіз і систематизація погроз і способів дії на мобільні пристрої. На основі виконаного аналізу і систематизації розроблений і практично перевірений алгоритм використання методів захисту інформації.

**Результати.** На підставі проведених досліджень уразливості і методів захисту в OS Android встановлено, що ця операційна система як власні, внутрішні засоби захисту, так само може і підтримувати додаткове, розроблене іншими розробниками. Вбудовані внутрішні засоби захисту, досить зручними інструментами захисту даних на мобільних телефонах. Враховуючи тип блокування, виділяють різні види безпеки. Вони досить ефективні, але від зовнішніх атак, тобто якщо хтось хоче зайти на мобільний телефон і подивитися якісь певні дані, то зловмисник зустрічає перешкоду у виді: пароля, малюнка, розпізнавання особи або PIN. Але від внутрішніх атак, вірусів, ці засоби безпорадні. Тоді як додаткове програмне забезпечення, може забезпечити, як безпека від внутрішніх, так і від зовнішніх атак.

**Ключові слова:** OS Android; мобільні телефони; безпека інформації; погрози; конфіденційність; цілісність; доступність; засоби захисту інформації.

**Meleshko E.A., Bolotnikova E.S.** Problem of safety of mobile devices, systems and appendixes in OS ANDROID

**Purpose of work.** Increase of efficiency of priv with the limited access in mobile devices by development politician and regulations of the use of mobile devices, analysis and choice of methods of encipherement, limitation of the use of harmful POE. Systematization and analysis of corporate methods of defence of internal information. Minimization of corporate losses due to a loss information of different level (type) of confidentiality.

**Research methods.** Review and analysis of risk of security of the use of mobile devices breach factors. An analysis and systematization of methods is sewn up to information on mobile devices under the management of OS Android.

**Experienced** verification of existent methods of defence of confidential information on a mobile device. Analysis of algorithms of setting of strange POE on devices under the management of OS Android, search of ways of vulnerability and defence of internal information.

**Scientific novelty.** An analysis and systematization of threats and affecting methods is executed mobile devices. On the basis of the executed analysis and systematization worked out and the algorithm of the use of methods of priv is practically tested.

**Results.** On the basis of the conducted researches of vulnerability and methods of defence it is set in OS Android, that this operating system as personal, internal funds of defence, similarly can support additional, worked out by other developers. Built-in internal facilities of defence, by the comfortable enough instruments of protection of data on mobile telephones. Taking into account the type of blocking, distinguish the different types of safety. They are effective enough, but from external attacks, id est if someone wants to call on a mobile telephone and look some certain data, then a malefactor meets an obstacle in a kind: password, picture, recognition of person or PIN. But from internal attacks, viruses, these facilities are helpless. While additional software, can provide, both safety from internal and from external attacks.

**Keywords:** OS Android; mobile telephones; safety of information; threats; confidentiality; integrity; availability; facilities of priv.

УДК 62-54: 621.313-024.67.

**Данилейко О.К., Кузьменко А.С., Коломіц Г.В., Коломіц О.К.** Розробка програмних та апаратних засобів для керування кроковими двигунами

**Мета.** Розробка програмного та апаратного забезпечення для керування КД. Для досягнення поставленої мети потрібно зробити: розглянути основні принципи керування для обраних КД; обрати алгоритм керування для кожного КД; проаналізувати можливість програмованого логічного контролера (ПЛК); розробити для (ПЛК) програму керування відповідним КД.

**Методи дослідження.** При вирішенні задачі використовувались загальні методи обчислювальної техніки, побудови локальних мереж та програмування.

**Наукова новизна.** Розглянуті питання побудови систем автоматики та керування технологічними механізмами з КД. Розроблена оригінальна програма керування КД для ПЛК *ABB ACS500-еСо*.

**Практична значимість.** Сучасний стан цифрової електроніки суттєво поширив область використання крокових двигунів (КД). Вони широко використовуються в пристроях з позиційними системами керування а також в сучасних напрямках техніки, таких як механотроніка, робототехніка.

Поява роботів зі заміною позиційних систем, без зворотних зв'язків з дешевими транзисторними перемикачами, посприяло більш поширеному використанню КД.

**Результати.** Для підготовки фахівців, які мають навички в питаннях побудови та налаштування позиційних систем з КД в ДВНЗ «Криворізький національний університет» в учбовий процес впроваджуються лабораторні роботи з аналізу способів керування КД – для чого створено декілька стендів. Перший стенд побудовано на трифазному уніполярному кроковому двигуні. Комутації обмоток фаз реалізована з використанням програмованого логічного контролера (ПЛК). Другий стенд побудовано на двофазному біполярному кроковому двигуні типу *28BYJ-48*, який завдяки невисокій вартості має широкий спектр застосування. Третій стенд побудовано на двофазному біполярному кроковому двигуні з використанням досить поширеного драйвера *MP8825* на базі контролера *DRV8825*. Відповідно обраним способам керування розроблені алгоритми управління двигунами та створенні відповідні програми. Розглянуті питання сприяють покращенню професійної підготовки студентів, та дозволять їм набути необхідних навичок.

**Ключові слова:** кроковий двигун, контролер, апаратні засоби, стенди.

**Данилейко О.К., Кузьменко А.С., Коломіц Г.В., Коломіц А.К.** Разработка программных и аппаратных средств для управления шаговыми двигателями

**Цель.** Разработка программного и аппаратного обеспечения для управления ШД. Для достижения поставленной цели необходимо сделать: рассмотреть основные принципы управления для выбранных ШД; выбрать алгоритм управления для каждого ШД; проанализировать возможности программируемого логического контроллера (ПЛК) разработать для (ПЛК) программу управления соответствующим ШД.

**Методи дослідження.** При розв'язанні задачі використовувались загальні методи обчислювальної техніки, побудова локальних мереж і програмування.

**Наукова новизна.** Розглянуті питання побудови систем автоматизації та управління технологічними механізмами з ШД. Розроблено оригінальну програму управління ШД для ПЛК *ABB AC500-eCo*.

**Практична значимість.** Сучасний стан цифрової електроніки суттєво розширило область застосування шагових двигунів (ШД). Вони широко використовуються в пристроях з позиційними системами управління а також в сучасних напрямках техніки, таких як мехатроніка, робототехніка. Поява роботів з заміною позиційних систем без зворотних зв'язей з дешевими транзисторними перемикачами, сприяло більш широкому використанню ШД.

**Результати.** Для підготовки фахівців, які мають навички в питаннях побудови та налаштування позиційних систем з ШД в ГВУЗ «Криворізький національний університет» в навчальний процес вносяться лабораторні роботи по аналізу способів управління ШД - для чого створено декілька стендів. Перший стенд побудовано на трьохфазному уніполярному шаговому двигуні. Комутація обмоток фаз реалізована з використанням програмуваного логічного контролера (ПЛК). Другий стенд побудовано на двохфазному біполярному шаговому двигуні типу 28BYJ48, який завдяки низькій вартості має широкий спектр застосування. Третій стенд побудовано на двохфазному біполярному шаговому двигуні з використанням широко розповсюдженого драйвера MP8825 на базі контролера DRV8825. Згідно з вибраними способами управління розроблено алгоритми управління двигунами та створено відповідні програми. Розглянуті питання сприяють покращенню професійної підготовки студентів, і дозволяють їм отримати необхідні навички.

**Ключові слова:** шаговий двигун, контролер, апаратні засоби, стенди.

**Danileiko O.K., Kuzmenko A.S., Kolomits A.V., Kolomits A.K.** Development of software and hardware for steps motor control.

**Goal.** Development of software and hardware for the SM management. In order to achieve this goal, it is necessary to: consider the basic management principles for the selected SMs; Select a control algorithm for each SM; Analyze the capabilities of the programmable logic controller (PLC) to develop a control program for the corresponding SM for the PLC.

**Methods of research.** In solving the problem, general methods of computing, building local networks and programming were used.

**Scientific novelty.** The questions of construction of automation systems and control of technological mechanisms with SM are considered. An original program for controlling the SM for the ABB AC500-eCo PLC has been developed.

**Practical significance.** The current state of digital electronics has significantly expanded the scope of application of stepper motors (SM). They are widely used in devices with position control systems as well as in modern techniques such as mechatronics, robotics. The emergence of robots with the replacement of positioning systems without feedbacks with cheap transistor switches, contributed to the more widespread use of SM.

**Results.** To train specialists who have skills in the construction and adjustment of positioning systems from the SM in the Krivoy Rog National University, laboratory work is being introduced to analyze the ways of controlling the SM - for which several stands have been created. The first booth is built on a three-phase unipolar stepper motor. The phase winding is implemented using a programmable logic controller (PLC). The second stand is built on a two-phase bipolar stepper motor type 28BYJ48, which due to its low cost has a wide range of applications. The third booth is built on a two-phase bipolar stepper motor using the widely used MP8825 driver based on the DRV8825 controller. According to the chosen control methods, engine control algorithms have been developed and corresponding programs have been created. The issues discussed contribute to improving the professional training of students, and will enable them to acquire the necessary skills.

**Keywords:** step motor, controller, hardware, stands.

УДК 621.316.001.57

**Барановська М.Л., Кузьменко А.С.** Аналіз теорій рівнів перенапруг при замиканні фази на землю та їх дослідження на фізичній моделі

**Мета.** Метою даної роботи є виконання аналізу теорій і механізмів розвитку перенапруг при однофазних дугових замиканнях на землю (ОДЗ). Проаналізовано відомі теорії перенапруги Петерсена, Петерса і Слєпяна, Бєлякова. Однофазні замикання на землю (ОЗЗ), що виникають у розподільчих мережах 6-10 кВ з ізольованою нейтраллю, є переважним видом ушкоджень і складають більше 75% від загального числа ушкоджень. Перенапруги, що виникають при ОЗЗ, знижують електричну міцність ізоляції живильних кабелів, приводять до їхнього пробоя та руйнування, багатомісним ушкодженням, подвійним замиканням на землю, дво- і трифазним коротким замиканням. Це пов'язано з відмовами в роботі електрообладнання, тривалими простоями технологічного устаткування, додатковими витратами на його відновлення та, в кінцевому рахунку, до зменшення продуктивності підприємства.

**Методи.** При виконанні теоретичних досліджень прийнято метод математичного моделювання розподільчих мереж напругою 6-10 кВ з ізольованою нейтраллю при ОЗЗ. Розроблено і вдосконалено математичні моделі розподільчих мереж та обґрунтовано основні і малозначимі параметри, що впливають на перенапруги при замиканні фази на землю. При виконанні експериментальних досліджень прийнято метод замикання на землю однієї з штучно пошкоджених фаз зразка кар'єрного кабелю. Вимірювались навантажувальні параметри: рівні напруг в фазах, нейтралі і струм в пошкодженій фазі.

**Наукова новизна.** Докладно вивчено питання теорії дуги, зроблено висновок про те, що на розвиток перехідних процесів при ОЗЗ впливають умови виникнення дуги, середовище, в якому вона горить, швидкість зміни струму при переході через нуль, індуктивність фази мережі  $L$ , ємності фаз відносно землі  $C$  та величина опору кола замикання на землю. При ОЗЗ величина опору кола замикання на землю змінюється в широких межах.

**Практична значимість.** Розглянуто залежність рівнів перенапруг від величини опору кола замикання на землю. Виконано дослідження рівнів перенапруг, що виникають в розподільчих мережах 6-10 кВ з ізольованою нейтраллю, на фізичній моделі.

**Результати.** З результатів експеримента видно, що комплексне використання в розподільчій мережі струмообмежувального резистора в нейтралі і нелінійних обмежувачів перенапруг (ОПН) дозволило знизити перенапруги до нормованих значень в межах 1,7...1,8 від номінальної напруги.

**Ключові слова:** розподільча мережа, дуга, однофазні замикання на землю (ОЗЗ), опір кола замикання на землю, рівень перенапруг, нелінійний обмежувач перенапруг (ОПН).

**Барановская М.Л., Кузьменко А. С.** Анализ теорий уровней перенапряжения при замыкании фазы на землю и их исследования на физической модели

**Цель.** Целью данной работы является выполнение анализа теорий и механизмов развития перенапряжений при однофазных дуговых замыканиях на землю (ОДЗ). Проанализированы известные теории перенапряжений Петерсена, Петерса и Слепяна, Белякова. Однофазные замыкания на землю (ОЗЗ), возникающих в распределительных сетях 6-10 кВ с изолированной нейтралью, являются основным видом повреждений и составляют более 75% от общего числа повреждений. Перенапряжения, возникающие при ОЗЗ, снижают электрическую прочность изоляции питающих кабелей, приводят к их пробоем и разрушению, многоместным повреждениям, двойным замыканиям на землю, двух- и трехфазным коротким замыканиям. Это связано с отказами в работе электрооборудования, длительными простоями технологического оборудования, дополнительными затратами на его восстановление и, в конечном счете, к уменьшению производительности предприятия.

**Методы.** При выполнении теоретических исследований принят метод математического моделирования распределительных сетей напряжением 6-10 кВ с изолированной нейтралью при ОЗЗ. Разработаны и усовершенствованы математические модели распределительных сетей и обоснованы основные и малозначимые параметры, влияющие на перенапряжения при замыкании фазы на землю. При выполнении экспериментальных исследований принят метод замыкания на землю одной из искусственно поврежденных фаз образца кабельного кабеля. Измерялись нагрузочные параметры: уровни напряжений в фазах, нейтралі и ток в поврежденной фазе.

**Научная новизна.** Подробно изучен вопрос теории дуги, сделан вывод о том, что на развитие переходных процессов при ОЗЗ влияют условия возникновения дуги, среда, в которой она горит, скорость изменения тока при переходе через ноль, индуктивности фазы сети  $L$ , емкости фаз относительно земли  $C$  и величина сопротивления цепи замыкания на землю. При ОЗЗ величина сопротивления цепи замыкания на землю изменяется в широких пределах.

**Практическая значимость.** Рассмотрена зависимость уровней перенапряжений от величины сопротивления цепи замыкания на землю. Выполнены исследования уровней перенапряжений, возникающих в распределительных сетях 6-10 кВ с изолированной нейтралью, на физической модели.

**Результаты.** Из результатов эксперимента видно, что комплексное использование в распределительной сети токоограничивающего резистора в нейтралі и нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН) позволило снизить перенапряжения до нормативных значений в пределах 1,7-1,8 от номинального напряжения.

**Ключевые слова:** распределительная сеть, дуга, однофазные замыкания на землю (ОЗЗ), сопротивление цепи замыкания на землю, уровень перенапряжений, нелинейный ограничитель перенапряжений (ОПН).

Baranovskaya M.L., Kuzmenko A.S. Overlapped levels at the single phase to earth faults theory analysis and research on the physical model

**Goal.** The purpose of this work is to perform analysis of theories and mechanisms of the development of overvoltages in single-phase to earth faults (PEF). The well-known theories of overvoltages of Petersen, Peters and Slepian, Belyakova are analyzed. Single-phase earth faults (PEF) occurring in 6-10 kV distribution networks with isolated neutral are the main type of damage and account for more than 75% of the total number of damages. Overvoltages that occur at the PEF, reduce the electrical strength of the supply cables insulation, lead to their breakdown and destruction, multiple faults, double earth faults, two- and three-phase short circuits. This is due to failures in the electrical equipment, long downtime of technological equipment, additional costs for its restoration and to a decrease of enterprise productivity.

**Methods.** When theoretical studies execution, a method of mathematical modeling of 6-10 kV distribution networks with an isolated neutral at the PEF was adopted. The mathematical models of distribution networks have been developed and improved, and the main and minor parameters affecting the over-voltage at the PEF are substantiated. When executing experimental studies, a method for grounding one of the artificially damaged phases of a career cable sample was adopted. Load parameters are measured: voltage levels in phases, neutral and current in the damaged phase.

**Scientific novelty.** The problem of arc theory has been studied in detail. The conclusion is made that the development conditions of the transient processes at the PEF are influenced by the conditions for the appearance of the arc, the environment in which it burns, the rate of change of the current during the transition through zero, the inductance of the phase of the network  $L$ , the capacitance of phases relative to the earth  $C$ , and the value of the resistance of the ground fault circuit. At PEF the resistance value of the earth fault circuit varies widely.

**Practical significance.** The dependence of overvoltage levels on the resistance value of the ground fault circuit is considered. Surveys of overvoltage levels occurring in 6-10 kV distribution networks with an isolated neutral are performed on a physical model.

**Results.** From the results of the experiment it can be seen that the complex use of a current-limiting resistor in neutral and non-linear surge arresters in the distribution network made it possible to reduce overvoltages to normative values within 1,7-1,8 of the nominal voltage.

**Key words:** distribution network, arc, single-phase earth faults (PEF), earth-fault circuit resistance, overvoltage level, non-linear overvoltage suppressor.

УДК 656.61

**Корнієнко О.П., Кошара К.А.** Підвищення конкурентоспроможності морських портів України

**Мета.** Метою дослідження є розробка теоретичних і організаційно-методичних положень щодо трансформації управління підприємствами портової діяльності країни шляхом виявлення найбільш ефективної політики підвищен-

ня конкурентоспроможності морських портів України та створення диференційованого підходу до кожного порту зокрема.

**Методи дослідження.** Теоретичну основу дослідження складають сукупність методів, прийомів і принципів наукового дослідження, системний підхід та розгорнутий аналіз наукових робіт з вивченням нормативної бази.

**Наукова новизна** одержаних результатів роботи полягає в систематизації та уточненні відомих та обґрунтуванні нових положень, які становлять теоретичну і організаційно-методичну основу процесу підвищення конкурентоспроможності портів з використанням диференційованого підходу до кожного окремо взятого порту, на основі запровадження кластерної структури в приморських районах.

**Практична значимість** полягає в доведенні основних теоретичних розробок дослідження до рівня практичних рекомендацій, прийнятих до впровадження рядом підприємств портової галузі.

**Результати.** Ідея розвитку кластерної структури в приморських районах як можливість підвищення конкурентоспроможності та досконалого функціонування портів, яка дозволить максимізувати ефективність роботи порту.

**Ключові слова:** морські порти, стратегія розвитку, конкурентоспроможність, морські кластери.

**Корниенко О. П., Кошара Е.А.** Повышение конкурентоспособности морских портов Украины

**Цель.** Целью исследования является разработка теоретических и организационно-методических положений относительно трансформации управления предприятиями портовой деятельности страны путем выявления наиболее эффективной политики повышения конкурентоспособности морских портов Украины и создания дифференцированного подхода к каждому порту, в частности.

**Методы исследования.** Теоретическую основу исследования составляют совокупность методов, приемов и принципов научного исследования, системный подход и развернутый анализ научных работ с изучением нормативной базы.

**Научная новизна** полученных результатов работы заключается в систематизации и уточнении известных и обосновании новых положений, которые представляют теоретическую и организационно-методическую основу процесса повышения конкурентоспособности портов с использованием дифференцированного подхода к каждому отдельно взятому порту, на основе ввода кластерной структуры в приморских районах.

**Практическая значимость** заключается в доведении основных теоретических разработок исследования до уровня практических рекомендаций, принятых к внедрению рядом предприятий портовой отрасли.

**Результаты.** Идея развития кластерной структуры в приморских районах как возможность повышения конкурентоспособности и совершенного функционирования портов, которая позволит максимизировать эффективность работы порта.

**Ключевые слова:** морские порты, стратегия развития, конкурентоспособность, морские кластеры.

**Kornienko O.P., Koshara E.A.** Increase of competitiveness of marine ports of Ukraine

**Purpose.** A research purpose is development of theoretical and organizationally-methodical positions in relation to transformation of management the enterprises of port activity of country by the exposure of the most effective policy of increase of competitiveness of marine ports of Ukraine and creation of the differentiated going near every port, in particular.

**Research methods.** Theoretical basis of research is folded aggregate of methods, receptions and principles of scientific research, approach of the systems and unfolded analysis of the advanced studies with the study of normative base.

**The scientific novelty** of the got job performances consists in systematization and specified known and ground of new positions which present theoretical and organizationally-methodical basis of process of increase of competitiveness of ports with the use of the differentiated going near every separately taken port, on the basis of input of cluster structure in seashore districts.

**Practical** meaningfulness consists in taking of basic theoretical developments of research to the level of practical recommendations, accepted to introduction of enterprises of port industry a row.

**Results.** Idea of development of cluster structure in seashore districts as possibility of increase of competitiveness and perfect functioning of ports, which will allow максимізувати efficiency of work of port.

**Keywords:** marine ports, strategy of development, competitiveness, marine clusters.

УДК [33+608.5]-044.922:658.114.5-047

**Турило А. М., Корнух О.В.** Взаємозв'язок і вплив процесів економічної трансформації і трансформації інтелектуальної власності на рівень інноваційності, фінансово-економічної безпеки і конкурентоспроможності корпорації

**Мета.** Подальше дослідження сутності категорії «трансформація», взаємозв'язків та впливу процесів економічної трансформації й трансформації інтелектуальної власності на рівень інноваційності, фінансово-економічної безпеки і конкурентоспроможності корпорації.

**Методика.** У статті використано такі загальнонаукові принципи дослідження як: історичний й термінологічний підходи; функціональний та системний, зокрема структурно-функціональний та системно-діяльнісний.

**Результати.** Визначено важливі для корпорації види трансформації. Зазначено, що «сукупний інтелект власників корпорації» та «сукупний інтелект менеджменту корпорації» є основою формування та реалізації трансформаційних процесів в корпорації. Доведено, що на економіку корпорації й прогресивні процеси її економічної трансформації впливають рівень людського капіталу, інтелектуального капіталу та інтелектуальної власності корпорації. Усвідомлення власниками та вищим менеджментом циклічного характеру розвитку всіх економічних систем, зміни домінуючих бізнес моделей та ролі ключового фактора виробництва в забезпеченні інноваційності корпорації є основою «пускового механізму» процесів трансформації в ній. Зроблено наголос, що вимоги інноваційної економіки обумовлюють пошук нових джерел економічного зростання та розв'язання задач по її формуванню і забезпеченню на всіх рівнях господарювання. Підкреслено, що чим раніше будуть розпочаті трансформаційні процеси в корпорації, тим більші можливості будуть у неї щодо отримання певних конкурентних переваг і формування необхідного рівня фінансово-економічної безпеки.

**Наукова новизна.** Обґрунтовано взаємозв'язок і взаємообумовленість процесів трансформації в корпорації, показано роль «інтелекту корпорації» в сучасних конкурентних умовах господарювання. Визначено вплив процесів трансформації на конкурентні переваги, фінансово-економічну безпеку корпорації та додаткові умови її прогресивного розвитку. Запропоновано термін «важіль конкурентної переваги від трансформаційних процесів».

**Практична значимість.** Розглянуті в даному дослідженні теоретико-методологічні положення й практичні рекомендації дозволяють більш глибоко досліджувати взаємозв'язки і вплив процесів економічної трансформації, трансформації інтелектуальної власності на рівень інноваційності, фінансово-економічної безпеки і конкурентоспроможності корпорації і розробляти, на цій основі, організаційно-економічний механізм забезпечення трансформації інтелектуальної власності.

**Ключові слова:** трансформація, інтелект, інтелектуальна власність, інноваційність, фінансово-економічна безпека, конкурентоспроможність, трансформація інтелектуальної власності корпорації

**Турило А. М., Корнух О.В.** Взаимосвязь и влияние процессов экономической трансформации и трансформации интеллектуальной собственности на уровень инновационности, финансово-экономической безопасности и конкурентоспособности корпорации

**Цель.** Дальнейшее исследование сущности категории «трансформация», взаимосвязи и влияния процессов экономической трансформации и трансформации интеллектуальной собственности на уровень инновационности, финансово-экономической безопасности и конкурентоспособности компании.

**Методика.** В статье использованы такие общенаучные принципы исследования как: исторический и терминологический подходы; функциональный и системный, в частности структурно-функциональный и системно-деятельностный.

**Результаты.** Определены важные для корпорации виды трансформации. Указано, что «совокупный интеллект владельцев корпорации» и «совокупный интеллект менеджмента корпорации» является основой формирования и реализации трансформационных процессов в компании. Доказано, что на экономику корпорации и прогрессивные процессы ее экономической трансформации влияют уровень человеческого капитала, интеллектуального капитала и интеллектуальной собственности корпорации. Осознание собственниками и высшим менеджментом циклического характера развития всех экономических систем, изменения доминирующих бизнес моделей и роли ключевого фактора производства в обеспечении инновационности корпорации является основой «пускового механизма» процессов трансформации в ней. Сделан упор, что требования инновационной экономики обуславливают поиск новых источников экономического роста и решения задач по ее формированию и обеспечению на всех уровнях хозяйствования. Подчеркнуто, что чем раньше будут начаты трансформационные процессы в корпорации, тем больше возможностей будет у нее на получение определенных конкурентных преимуществ и формирования необходимого уровня финансово-экономической безопасности.

**Научная новизна.** Обосновано взаимосвязь и взаимообусловленность процессов трансформации в корпорации, показана роль «интеллекта корпорации» в современных конкурентных условиях хозяйствования. Определено влияние процессов трансформации на конкурентные преимущества, финансово-экономическую безопасность компании и дополнительные условия ее прогрессивного развития. Предложен термин «рычаг конкурентного преимущества от трансформационных процессов».

**Практическая значимость.** Рассмотренные в данном исследовании теоретико-методологические положения и практические рекомендации позволяют более глубоко исследовать взаимосвязи и влияние процессов экономической трансформации, трансформации интеллектуальной собственности на уровень инновационности, финансово-экономической безопасности и конкурентоспособности компании и разрабатывать на этой основе, организационно-экономический механизм обеспечения трансформации интеллектуальной собственности.

**Ключевые слова:** трансформация, интеллект, интеллектуальная собственность, финансово-экономическая безопасность, конкурентоспособность, трансформация интеллектуальной собственности корпорации

**Turylo A. M., Kornukh O.V.** Relation and impact of economic transformation processes and intellectual property transformation on innovation, financial, economic competitiveness and corporation security rate

**Objective.** The further study of the category "transformation" nature, relations and impact of economic transformation processes and intellectual property transformation on the level of innovation, financial, economic security and corporation competitiveness rate

**Methods.** General scientific research principles as historical and terminological; functional and system, including structural and functional and system-activity approaches are used in this article.

**Results.** Important corporation types of transformation are defined. "Total corporation owners intelligence" and "total corporation management intelligence" are defined as the basis for the formation and implementation of corporation transformation processes. It is proved that level of human capital, intellectual capital and corporation intellectual property affect on the economy of the corporation and its progressive economic transformation processes. Awareness of the owners and top management of the cyclical nature of the development of all economic systems, change of dominant business models and role of key production factor in ensuring of innovativeness of corporation is the basis of "trigger mechanism" of the transformation processes in it. It focuses on the fact that requirements of innovative economy determine the search for new sources of economic growth and solving problems of its formation and provision at all levels of management. It is emphasized that the earlier the transformation processes begin in corporation, the more opportunities it will have to obtain certain competitive advantages and generate the necessary level of financial and economic security.

**Scientific novelty.** Interconnection and interdependence of corporation transformation is grounded, the role of "corporate intelligence" in today's competitive economic conditions is shown. The impact of transformation processes on competitive advantages, corporation financial and economic security and additional conditions for its progressive development is determined. The term "leverage of competitive advantage from transformation processes" is represented.

**The practical significance.** Considered in the article theoretical and methodological statements and practical recommendations allow to study relations and impact of economic transformation, intellectual property transformation more deeply and to develop on its basis organizational and economic mechanism for intellectual property transformation effect.

**Key words:** transformation, intelligence, intellectual property, financial and economic security, competitiveness, corporation intellectual property transformation

УДК 622.271.33

**Болотников А.В., Романенко А.А.** Анализ и систематизация методов оценки устойчивости бортов карьеров

**Цель.** Целью данной работы является анализ литературных источников на предмет имеющихся мировых практик оценки устойчивости бортов карьеров и естественных откосов. Рассмотрение теории предельного равновесия сыпучей среды и вариантов ее применения при определении предельной или за предельной степени устойчивости массива горных пород. Понятие коэффициента запаса устойчивости и коэффициента надежности откоса.

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач применен комплексный метод исследований, который включал: анализ научной литературы по рассматриваемым вопросам, систематизацию и классификацию исходной информации. Факторный анализ расчетных методов, оценка учета факторов при определении коэффициента запаса устойчивости, коэффициента надежности массива горных пород. Методы математического анализа, Методы механики грунтов и твердого деформируемого тела для аналитического описания процессов разрушения горных пород.

**Научная новизна.** Решение поставленной задачи позволяет на основании систематизации и классификации математических и графоаналитических методов оценки устойчивости бортов карьеров в виде коэффициента запаса устойчивости или коэффициента надежности, выявить факторы имеющие достаточную степень влияния (вес) на устойчивость откосов, однако слабо учитываемые в используемых в настоящий момент методах.

**Практическое значение.** Железородная и металлургическая отрасли являются одними из ведущих в промышленности Украины. В связи с этим развитие открытой добычи полезных ископаемых карьерами с одновременным обеспечением безопасных и экономически эффективных, обеспечивающих оптимальный режим горных работ, углов наклона бортов является одной из наиболее важных научно-практических задач в области открытой разработки полезных ископаемых. Особенно актуальны данные вопросы в регионе Криворожского железорудного бассейна.

**Результаты.** В настоящий момент разработано более 100 методов расчета запаса устойчивости породных откосов, обзор и анализ наиболее известных из них показывает, что большинство методов базируется на теории Кулона-Мора и в качестве исходных данных при расчетах используют прочностные характеристики горных пород такие как сцепление и угол внутреннего трения.

Существующие методы определения прочностных свойств горных пород не позволяют учесть при расчетах устойчивости комплекс природных и техногенных факторов, влияющих на устойчивость бортов карьеров, таких как трещиноватость массива, подработка подземными горными работами, воздействие массовых взрывов и кривизна бортов в плане. Наиболее целесообразно для повышения надежности оценки устойчивости бортов карьеров использовать теорию районирования для учета природных и техногенных факторов.

**Ключевые слова.** Устойчивость бортов карьера. Коэффициент запаса устойчивости. Борт карьера. Коэффициент надежности. Метод алгебраического сложения сил. Метод Феллениус/Петтерсона, Метод Спенсера.

**Болотников А.В., Романенко А.А.** Аналіз і систематизація методів оцінки стійкості бортів кар'єрів

**Мета.** Метою даної роботи є аналіз літературних джерел на предмет наявних світових практик оцінки стійкості бортів кар'єрів і природних укосів. Розгляд теорії граничної рівноваги сипучого середовища і варіантів її застосування при визначенні граничної або за граничної ступеня стійкості масиву гірських порід. Поняття коефіцієнта запаса стійкості і коефіцієнта надійності укосу.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених завдань застосовано комплексний метод досліджень, який включав: аналіз наукової літератури з питань, що розглядаються, систематизацію та класифікацію вихідної інформації. Аналіз розрахункових методів, оцінка обліку чинників при визначенні коефіцієнта запаса стійкості, коефіцієнта надійності масиву гірських порід. Методи математичного аналізу, методи механіки ґрунтів і твердого тіла, що деформується для аналітичного опису процесів руйнування гірських порід.

Наукова новизна. Рішення поставленого завдання дозволяє на підставі систематизації та класифікації математичних і графоаналітичних методів оцінки стійкості бортів кар'єрів у вигляді коефіцієнта запаса стійкості або коефіцієнта надійності, виявити фактори мають достатній ступінь впливу (вага) на стійкість укосів, проте слабо враховуються в використовуються в даний момент методах.

**Практичне значення.** Залізородна і металургійна галузі є одними з провідних у промисловості України. У зв'язку з цим розвиток відкритого видобутку корисних копалин кар'єрами з одночасним забезпеченням безпечних і економічно ефективних, що забезпечують оптимальний режим гірничих робіт, кутів нахилу бортів є однією з найбільш важливих науково-практичних задач в області відкритої розробки корисних копалин. Особливо актуальні ці питання в регіоні Криворізького залізородного басейну.

**Результати.** На даний момент розроблено більше 100 методів розрахунку запаса стійкості породних укосів, огляд і аналіз найбільш відомих з них показує, що більшість методів базується на теорії Кулона-Мора і в якості вихідних даних при розрахунках використовують міцності гірських порід такі як зчеплення і кут внутрішнього тертя.

Існуючі методи визначення характеристик міцності властивостей гірських порід не дозволяють врахувати при розрахунках стійкості комплекс природних і техногенних факторів, що впливають на стійкість бортів кар'єрів, таких як тріщинуватість масиву, підробіток підземними гірничими роботами, вплив масових вибухів і кривизна бортів в плані. Найбільш доцільно для підвищення надійності оцінки стійкості бортів кар'єрів використовувати теорію районування для обліку природних і техногенних факторів.

**Ключові слова:** стійкість бортів кар'єра. Коефіцієнт запаса стійкості. Борт кар'єру. Коефіцієнт надійності. Метод алгебраїчного додавання сил. Метод Феллениус / Петтерсона, метод Спенсера.

**Bolotnikov A.V., Romanenko A.A.** Analysis and systematization of evaluation methods of slope stability

**Goal.** The aim of this work is the analysis of the literature available on the subject of global sustainability practices evaluation boards pit of repose. Consideration limit equilibrium theory loose environment and options for its use in determining the boundary or limiting the degree of stability of the rock mass. The concept of safety factor of stability and safety factor of the slope.

**Research methods.** To achieve the objectives used complex method of research, which included: analysis of scientific literature on the issues under consideration, systematization and classification of the initial information. Analysis of calculation methods, the assessment calculation factors in determining the safety factor of stability, reliability coefficient of rock mass. Mathematical analysis methods of soil mechanics and solid deformable for analytical description of processes of rock.

**Scientific novelty.** The decision allows the task based on the systematization and classification of mathematical and graph-analytic methods to assess the stability of the sides of pits in a safety factor of stability or reliability factor, identify factors are sufficient degree of influence (weight) on the stability of slopes, but poorly captured in currently used methods .

**Practical meaning.** Iron and steel industry is one of the leading industries in Ukraine. In this regard, the development of the open mining pits while ensuring safe and cost effective, providing the optimal mode of mining, angles sides is one of the most important scientific problems in opencast mining. Particularly relevant issue in this region Kryvbas.

**Results.** We have developed more than 100 methods for calculating safety factor of rock slopes, review and analysis of the most famous of them shows that most methods based on the theory of Coulomb-Mohr and as a source of data in the calculation using the strength of rocks such as grip and angle of internal friction.

**Existing methods for determining** the strength characteristics of rock properties do not allow to take into account when calculating the stability of complex natural and anthropogenic factors affect the stability of sides of quarries, such as fractures panel, part-underground mining operations, the impact of massive explosions and the curvature of the sides in the plan. The most appropriate to improve the reliability assessment of stability quarries sides use zoning theory to account for natural and anthropogenic factors.

**Keywords.** Resistance sides career. Factor stability. Tail career. Reliability factor. Method algebraic addition of forces. Method Fellenius / Petterson method of Spencer.

**Збірник наукових праць**

*В і с н и к*

*Криворізького національного університету*

***Випуск 44***

Редактор, коректор  
Комп'ютерний набір, верстка

Наумова Н.В., Письменна Т.Г.  
Самойлюк О.Г.

Здано в набір 03.05.17. Підписано до друку 22.05.17 за рекомендацією Вченої Ради  
ДВНЗ «Криворізький національний університет», протокол № 1 від 25.04.2017 року

Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 31,0. Тираж 100 прим.  
Замовл. № 4. Укр., рос.

Надруковано:

ФОП Бурова Оксана Анатоліївна  
Свідоцтво ДП № 159-р від 26.03.13.  
мкр. Ювілейний, 10/104, м. Кривий Ріг, 50084  
Тел. (056) 401 04 29

*Адреса видавництва:*

*вул. В. Матусевича, 11, Кривий Ріг, 50027*

*ДВНЗ «Криворізький національний університет»  
2017. Вип. 44, С. 3-248.*