

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Криворізький національний університет

ГІРНИЧИЙ ВІСНИК

Науково-технічний збірник

Заснований у 1966 році

Випуск 109

Кривий Ріг, 2021

Редакційна колегія: **Ступнік М.І.**, д-р техн. наук, проф. (головний редактор); **Моркун В.С.**, д-р техн. наук, проф. (заступник головного редактора); **Азарян А.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Андрєєв Б.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Бережний М.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Березовський А.А.**, д-р геол. наук, проф.; **Блізнюков В.Г.**, д-р техн. наук, проф.; **Бровко Д.В.**, канд.тех.наук., доц.; **Вілкул Ю.Г.**, д-р техн. наук, проф.; **Голік В.І.**, 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.; **Зубов Д.А.**, д-р техн. наук, проф., Охрид, Македонія; **Ільяс Ніколає**, доктор-інженер, проф., Петрошани, Румунія; **Калініченко В.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Ковальчук В.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Коробко В.М.**, д-р техн. наук, проф.; Массачусетс, США; **Комашенко В.І.**, д-р техн. наук, проф., Владикавказ, Росія; **Лапшин О.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Моркун Н.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Олійник Т.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Перегудов В.В.**, д-р техн. 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.; **Стороженко Л.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Титюк В.К.**, канд.техн. наук, доц.; **Толмачов С.Т.**, д-р техн. наук, проф.; **Федоренко П.Й.**, 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 наук. Розглянуто шляхи підвищення ефективності промислових виробництв, автоматизації, контролю та керування технологічними процесами. Важливе місце займають питання енергозбереження, надійності охорони праці, техніки безпеки, захисту довкілля.

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

Випуск № 109 рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет Вченою радою Криворізького національного університету (протокол № 9 від 27.04.2021 року).

Адреса редакції: Криворізький національний університет
вул. Пушкіна, 44, Кривий Ріг, 50002,
Тел. (056) 409 61 29
e-mail: naukaknu@ukr.net
web-сайт: iomining.in.ua/ua/homeua

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Криворізький національний університет

Гірничий вісник

Науково-технічний збірник

Заснований у 1966 р.

Кривий Ріг

Випуск 109, 2021

З м і с т

Андрєєв Б.М., Бровко Д.В., Хворост В.В., Кононенко В.В., Романенко О.В. Розробка Першотравневого родовища в борту діючого кар'єру з використанням комплексів шахти	3
Федоренко П.Й., Переметчик А.В., Подойніцина Т.О., Настін П.В. Гірничо-геометричний моніторинг та моделювання надр	7
Швагер Н.Ю., Комісаренко Т.А., Орлов М.С. Забезпечення безпеки працівників шахт у випадку виникнення надзвичайних ситуацій	14
Куліковська О. Є., Суганяка О. І., Атаманенко Ю. Ю. ГІС-технології для моніторингу і прогнозування розвитку територій Кривбасу із урахуванням зонування за ступенем зсувної небезпеки	19
Чеберячко С.І., Чеберячко Ю.І., Дерюгін О.В., Книш І.М., Пищикова О.В. Удосконалення клапанних систем фільтрувальних респіраторів	25
Пижик М.М., Піжик А.М., Пащикова І.О. Оптимізація режиму гірничих робіт, продуктивності та границь кар'єру з урахуванням їх взаємозв'язку	30
Єфіменко Л.І., Тиханський М.П., Тиханська А.М. Нечітке керування процесом підготовки агломераційної шихти з використанням нечіткого регулятора	33
Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Барон Т.А. Влаштування основ і фундаментів на просідаючих ґрунтах	41
Антонов А.Ю. Особливості впливу активних середовищ на механізм дезінтеграції гірських порід вибухом	46
Лапшин О. Є., Лапшин О. О., Худик М. В. Підвищення безпеки при проведенні підняттяєвих виробок в шахтах	51
Чубенко В.А., Ярош Т.П., Хіноцька А.А., Дослідження витрат енергії при холодному прокатуванні тонких листів	56
Письменний С.В. Удосконалення технології розробки залізрудних родовищ системами підповерхового обвалення руди та вміщуючих порід	61
Грамм О.О., Романов С.О., Савицький О.І. Визначення основних факторів впливу на споживання електричної енергії для системи автоматичного прогнозування споживання підприємства гірничо-металургійного комплексу	67
Олійник Т.А., Вільгельм М.Н. Передумови підвищення селективності розділення рудної та нерудної складової пінного продукту флотації	73
Наливайко В.Г., Лосєв К.В. Вплив травмонебезпечності основних видів ремонтних робіт на теплогенеруючих підприємствах у холодний період року	79
Тімченко Р. О., Крішко Д. А., Бронів Д. Г. Фактори геотехнічної і геомеханічної безпеки висотних будівель	85
Кондратенко М.М., Савельєв С.Г. Оцінка ефективності застосування ультразвуку в процесах підготовки металургійної сировини до переділу	91
Рожненко Ж.Г., Данилейко О.К., Коломіц Г.В., Ятчук А.В. Використання мікропроцесорів на базі ARM Cortex в електромеханіці	98
Кривенко А.Ю., Олійник Т.А., Кривенко Т.А. Теоретичне дослідження масопереносу при знешламленні залізрудної суспензії	106
Shvets D.V. Theoretical-probability approach to analyse the iron ore grinding proces	111
Кіянєвський М.В., Кіянєвська Н.М. Вибір та обґрунтування перехідних функцій діагностичних моделей ідентифікації технічних станів об'єктів експлуатації	117
Домнічев М. В., Нестеренко О. В., Близнюкова О. Ю., Маленко Я. В. Елементи оперативного управління якістю освіти	124
Кляцький В.І., Бугай Л.А. Вплив магнітно-абразивного полірування на структуру поверхонь деталей зі складним профілем	130
Котов І.А. Моделі диспетчерських компетенцій в інтелектуальних системах автоматизації протипаварійного керування енергосистемою	133
Шаповал В.Г., Шащенко Д.О., Пономаренко І.О. Методика розрахунку конструктивних параметрів дискретних утримуючих споруд	141
АНОТАЦІЇ ..	
<i>А н о т а ц і ї</i>	146

Б.М. АНДРЕЄВ, д-р техн. наук, проф., Д.В. БРОВКО, д-р техн. наук, доц.,
В.В. ХВОРОСТ, В.В. КОНОНЕНКО, кандидати техн. наук, доценти
Криворізький національний університет
О.В. РОМАНЕНКО, д-р техн. наук, проф.
ПАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат»

РОЗРОБКА ПЕРШОТРАВНЕВОГО РОДОВИЩА В БОРТУ ДІЮЧОГО КАР'ЄРУ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСІВ ШАХТИ

Мета. Обґрунтування технології підземної розробки Першотравневого родовища в борту діючого кар'єру та оптимальних конструктивних рішень з урахуванням конкретних умов експлуатації. Аналіз досвіду роботи зарубіжних гірничорудних підприємств з відкритим способом розробки, який свідчить про наявність у світовій практиці стійкої тенденції до доопрацювання ділянок родовищ, що характеризуються сприятливими для відкритих гірничих робіт умовами. Обґрунтування обумовленого переходу рудників до ведення гірських робіт по більш складним технологічним схемам, які передбачають застосування поряд з відкритими гірничими роботами підземного способу видобутку.

Методи дослідження. При вирішенні задач застосовується метод кінцевих елементів, що активно використовується в сучасних програмних комплексах для моделювання розвитку запроєктованих рішень, з урахуванням взаємодій та явищ. Вони відрізняються способами завдання вихідних параметрів та мають свої певні інструменти для їх зміни, коригування та аналізу отриманих результатів.

Наукова новизна. Актуальність даної роботи пов'язана із розв'язанням поставленої задачі. Її результатом є встановлення доцільності вести розробку Першотравневого родовища в структурі системи "кар'єр-шахта".

Практична значимість. Дослідження дають змогу оцінити роботу застосування камерних систем за схемою "камера-цілик", систем розробки з обваленням руди, технології з єдиним відкрито-підземним простором. Математичне моделювання дозволяє всебічно проаналізувати результати та врахувати недоліки системи при подальших дослідженнях.

Результати. Рекомендована принципова технологічна схема комбінованого відкрито-підземного відпрацювання запасів з підземним транспортним комплексом системи "кар'єр-шахта" для умов Першотравневого родовища з урахуванням фактичної геотехнологічної ситуації та аналізу світового досвіду. Дана технологічна схема передбачає застосування камерних систем за схемою "камера-цілик", систем розробки з обваленням руди, технології з єдиним відкрито-підземним простором, високо-продуктивних варіантів випуску руди і концентраційних горизонтів з електровозною відкаткою.

Ключові слова: кар'єр-шахта, відкрито-підземна технологія, рудник, контактна взаємодія, родовище, моделювання.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-3-7

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Враховуючи, що об'єктом розробки шахти "Першотравнева" та Першотравневого кар'єру є одне родовище (зокрема, поклад "Південний"), обидві видобувні одиниці є структурними підрозділами одного підприємства, знаходяться в безпосередній близькості один від одного і мають спільномірні позначки робочих горизонтів, на Першотравневому родовищі сформувалися всі необхідні умови для створення єдиної геотехнологічної системи "кар'єр-шахта".

Розробку родовища в рамках зазначеної геотехнологічної системи слід вести з дотриманням принципів взаємоузгодження основних технологічних операцій і гірничо-транспортного потоків підземних і відкритих гірничих робіт, що дозволить підвищити інтенсивність розробки родовища, підтримати її на стабільному рівні у міру поглиблення кар'єра, а також забезпечити поступовий перехід до розробки запасів за межами кордонів ВГР.

Аналіз досліджень і публікацій. Значний внесок у становлення і розвиток комбінованої геотехнології внесли вчені - гірники: М.І. Агошков, В.В. Ржевський, К.М. Трубецької, Д.Р. Каплунов, П.І. Городецький, Б.П. Юматов, В.А. Щелканов, Б.М. Андрєєв, А.Д. Черних [1-6].

Комбінована відкрито-підземна технологія дозволяє протягом тривалого часу підтримувати виробничі потужності гірничодобувних підприємств. Відсунення в часі початку її впровадження призводить до інтенсивного погіршення геотехнологічної обстановки при подальшому підземному доопрацюванні запасів родовищ [7-9].

Разом з тим, впровадження у виробництво наукових рекомендацій та технологічних рішень відпрацювання запасів за схемою "кар'єр-шахта" дозволило ряду зарубіжних рудників тра-

диційно застосовувати відкритий спосіб розробки, залучити до інтенсивної експлуатації ділянки родовищ, які колись вважалися безперспективними [10].

Послідовність застосування відкритого і підземного способів розробки визначаються з урахуванням необхідної продуктивності підприємства і специфіки родовища. При цьому найбільш характерні два випадки суміщення відкритих і підземних гірничих робіт у часі для доопрацювання запасів родовища після припинення відкритих гірничих робіт і для одночасної з відкритими роботами інтенсивної виїмки запасів всього родовища. Залежно від розміщення в межах родовища шахтного і кар'єрного полів можуть бути виділені три характерні схеми - з суміщенням робіт в одній вертикальній площині (ППР ведуться під кар'єром); з суміщенням робіт в горизонтальній площині (ППР - в борту кар'єра) і схема з частковим суміщенням як у вертикальній, так і горизонтальній площинах [11].

Характерною рисою систем "кар'єр-шахта" є спорудження для розкриття ділянок ППР вертикальних стволів, що видають руду, оснащених швидкохідними автоматизованими підйомними установками, в поєднанні з комплексами похилих і горизонтальних виробок - штолень і спіральних з'їздів, які забезпечують ефективне функціонування самохідної техніки. Досвід показує, що в більшості випадків найбільш ефективно з технічної та організаційної точок зору проходку таких виробок здійснювати з кар'єрного простору.

Постановка завдання. Метою дослідження є обґрунтування технології підземної розробки Першотравневого родовища в борту діючого кар'єру.

Викладення матеріалу та результати. Для наявних умов підземного і комбінованого відкрито-підземного відпрацювання запасів Першотравневого родовища можуть бути розглянуті кілька технологічних схем, що відрізняються способами транспортування і видачі гірської маси на денну поверхню.

Найбільшого поширення у світовій практиці отримали традиційні технологічні рішення з використанням вертикальних рудопідймальних стволів з відповідними поверхневими комплексами, транспортними і інженерними комунікаціями. Як правило, їх застосування при переході від відкритої до відкрито-підземної розробки економічно і організаційно доцільно лише при наявності поблизу кар'єру діючих комплексів шахт [12-14].

Виходячи з фактичного стану підземного і поверхневого комплексів шахти «Першотравнева», які не експлуатувалися протягом тривалого часу, успішне вирішення проблеми розробки Першотравневого родовища можливо за рахунок використання маловитратних технологічних схем в структурі геотехнологічної системи "кар'єр-шахта". Вони передбачають поєднання в різних комбінаціях наступних елементів технології підземного видобутку:

- на стадії відпрацювання запасів - використання високопродуктивних систем розробки з обваленням руди і налягаючих порід та технології з єдиним відкрито-підземним простором для доопрацювання запасів під бортами і дном глибоких горизонтів кар'єра;

- на стадії доставки і навантаження руди - використання високопродуктивних і безпечних (за рахунок виключення операцій з ліквідації зависань) варіантів випуску з екскаваторним навантаженням руди безпосередньо в транспортні засоби (підземні автосамоскиди) або із застосуванням вантажно-постачальних машин в ланці технологічного ланцюжка випускний отвір - акумулює рудоспуск;

- на стадії транспортування руди і видачі її на поверхню - використання концентраційних горизонтів з високопродуктивною електровозною відкаткою від вантажних пунктів під акумулюючий рудоспуск і вертикальний підйом, або самохідної автотранспортної техніки з видачою руди по штольнях відкрито-підземного транспортного комплексу на перевантажувальні склади в кар'єрі.

Під час навантаження рудної маси в підземні автосамоскиди також можливе використання спарених віброустановок. При цьому, як і у варіанті з екскаваторним навантаженням, руда видається по штольні в кар'єр, з перевантажувального складу завантажується кар'єрним екскаватором в великовантажні автосамоскиди або думпкери і далі транспортується по технологічному ланцюжку кар'єра [15, 16].

Створення відкрито-підземного транспортного комплексу в системі "кар'єр-шахта", що включає підземні та поверхневі перевантажувальні (дробильно-перевантажувальні) вузли і, власне, горизонтальні або похилі транспортні виробки дає можливість кар'єру і шахті працювати в режимі єдиної технологічної системи, що дозволяє транспортування гірської маси в пря-

мому і реверсивному режимах, здійснювати доступ самохідного обладнання від поверхневих заправних пунктів і ремонтних баз до ділянок ППР, поліпшити умови провітрювання, підвищити безпеку підземних робіт [17, 18].

Для умов Першотравневого родовища з урахуванням фактичної геотехнологічної ситуації, аналізу світового досвіду та викладених вище принципів рекомендується принципова технологічна схема комбінованого відкрито-підземного відпрацювання запасів з підземним транспортним комплексом системи "кар'єр-шахта", що представлена на рис. 1.

Родовище 1 відпрацьовують спільно з кар'єром 2 і шахтою 3. Кар'єрний простір і ствол шахти об'єднуються виробками підземного транспортного комплексу на концентраційному горизонті 4. Кордон охоронного цілика борта кар'єра 5 відбудовують під кутом 80%.

Запаси руди в межах охоронного цілика 6 відпрацьовують камерними системами 7 з підтримкою очисного простору ціликами 8. Видобуток руди за межами охоронного цілика борта кар'єра ведуть системами з обваленням руди і налягаючих порід 9. Руду з підземних очисних блоків транспортують по концентраційному горизонті 4 і видають через вертикальний ствол.

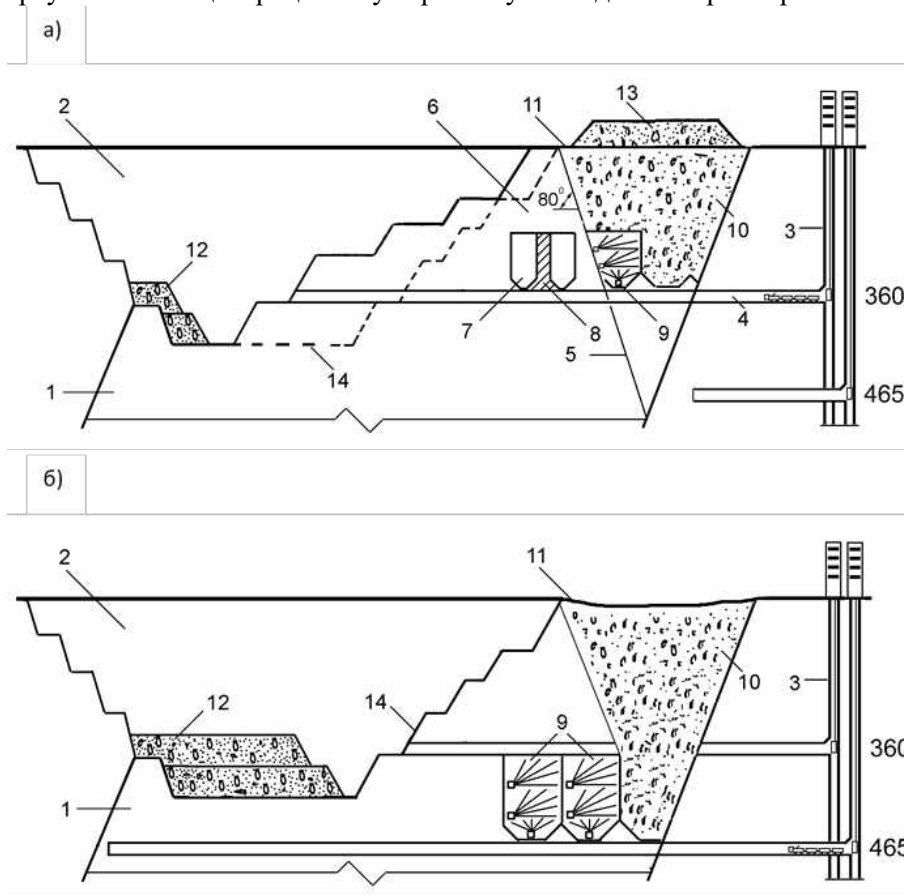


Рис. 1. Принципова технологічна схема комбінованого відкрито-підземного відпрацювання запасів Першотравневого родовища з підземним транспортним комплексом: *а* - стадія видачі руди з ділянок ППР з довантаженням шахтних підйомів розкривними породами кар'єру; *б* - стадія видачі руди з ділянок ППР і відкрито-підземного ярусу (умовні позначення представлені в тексті)

У налягаючих породах за межами охоронного цілика борта кар'єра формується зона обвалення 10, яка має вихід на денну поверхню 11. Розкривні породи кар'єра розподіляють на два вантажопотоки. Один з них спрямований для складування у внутрішній відвал 12 у відпрацьованій частині кар'єру.

Інший вантажопотік розкривних порід прямує через штольню 4 і ствол 3, довантажуючи підйомні можливості шахти, у зовнішній відвал 13, який утворюють безпосередньо над місцем виходу зони обвалення на денну поверхню.

Заскладовані у зовнішній відвал розкривні породи під дією власної ваги заповнюють зону обвалення і вироблений простір системи розробки з обваленням і тим самим запобігають виникненню небезпечних зрушень в охоронному цілику борта кар'єра.

Після досягнення кар'єром граничного контуру 14, запаси родовища під його дном і бортами відпрацьовують системами з обваленням руди з продуктивністю, що дорівнює підйомним можливостям шахти. При цьому на початковій стадії доопрацювання запасів під дном кар'єра на незайнятих внутрішнім відвалом ділянках формується відкрито-підземний ярус. Запаси під внутрішнім відвалом відпрацьовуються з підземного простору з застосуванням спеціальних заходів щодо зниження засмічення руди налягаючими породами.

Межа охоронного цілика борта кар'єра з боку зони обвалення визначена під кутом 80% на підставі аналітичних досліджень стійкості породного масиву, прилеглого до заповненої скельними розкривними породами зони обвалення, лабораторних досліджень за процесами зрушення гірських порід на моделях з еквівалентних матеріалів і спостережень в натурних умовах [8, 9].

Встановлено, що на відміну від випадків, коли зона обвалення не заповнюється з поверхні скельними породами і має кут 60%, як це регламентується інструктивними документами [12], за умови заповнення зони обвалення скельними породами, зона обвалення набуває стовпоподібну форму з кутами зрушення 80- 85%. При цьому область активних деформацій в оточуючій зоні обвалення породах має локальний характер, її розмір не перевищує 20-30 м [19].

Висновки та напрямки подальших досліджень. Виходячи зі світового досвіду, розробку Першотравневого родовища доцільно вести з використанням маловитратних технологічних схем в структурі системи "кар'єр-шахта", що передбачає застосування камерних систем за схемою "камера-цілик", систем розробки з обваленням руди, технології з єдиним відкрито-підземним простором, високо-продуктивних варіантів випуску руди і концентраційних горизонтів з електровозною відкаткою. В подальшому необхідно розглянути можливості збільшення частки запасів, які відпрацьовуються системами з обваленням при збереженні стаціонарних транспортних комунікацій кар'єра з застосуванням спеціального режиму формування зони обвалення, що передбачає її заповнення з поверхні скельними розкривними породами.

Список літератури

1. Агошков М.И., Борисов С.С., Боярский В.А. Разработка рудных и россыпных месторождений. - Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу, Москва, 1962 г., 680 стр.
2. Трубецкой К.М. О совместном вскрытии карьерного и шахтного полей при комбинированной разработке месторождений. ФТПРПИ, 1968, №4, 58-63 с.
3. Юматов Б.П. Технологии открытых горных работ при комбинированной разработке рудных месторождений. М., Недра, 1966.
4. Каплунов Д.Р. О принципах проектирования комбинированной разработки месторождений при комплексном освоении недр. // Актуальные проблемы освоения месторождений и использования минерального сырья.- М.: МГГУ, 1993. -с.133-147.
5. Щелканов В.А., Сторчак С.А. Комбинированная разработка месторождений. – Кривой Рог: КТУ, 1996. – 293 с.
6. Комплексная разработка рудных месторождений / А.Д. Черных, В.А. Колосов, О.С. Брюховецкий, Л.С. Галецкий, П.Ф. Гожик, В.А. Щелканов, И.Б. Ошмянский, Ю.В. Демидов, Б.Н. Андреев, В.А. Сазонов, А.Г. Секисов, В.Л. Сахновский; Под ред. А.Д. Черных. – К.: Техніка. 2005. – 376 с.
7. Сторчак С.А., Щелканов В.А., Андреев Б.Н. Влияние технологии подземных работ на использование минеральных ресурсов при открыто-подземной разработке месторождений // Комплексное изучение и эксплуатация месторождений полезных ископаемых. – Новочеркасск: НГТУ, 1995. – С. 32 – 37.
8. Сторчак С.О., Щелканов В.О., Андреев Б.М. Безпечна технологія розробки запасів під бортом кар'єру системами з масовим обваленням // Охорона праці. – 1995. – № 2. – С. 6 – 8.
9. Сторчак С.А. Подземные работы в зоне влияния открытых. – Кривой Рог: АГН Украины-КТУ, 1997. – 256 с.
10. <http://www.infomine.com/minesite/>
11. <http://www.mining-technology.com/projects/>
12. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных работ в Криворожском железорудном бассейне. – Л.:ВНИИ, 1975.
13. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий черной металлургии с подземным способом разработки ВНТП 13-2-85. – Л.:Гипроруда, 1986. – 130 с.
14. Сторчак С. А. Подземные работы в зоне влияния открытых. – Кривой Рог: Минерал, 1997. – 236 с.
15. Определение и контроль допустимых размеров конструктивных элементов систем разработки на рудниках Кривбасса. Цариковский В.В., Сакович В.В. и др. – Кривой рог: НИГРИ, 1987. – 76 с.
16. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом. - М.:Недра, 1986.-225с.
17. ДНАОП 12.11–1.01–94 Правила безпеки при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом. – К.: Норматив, 1994. – 184 с.
18. Единые правила безопасности при взрывных работах. – К.: Норматив, 1992. – 171 с.
19. Ильин А. М., Антипов В. М. Безопасность труда на открытых горных работах. – М.: Недра, 1995. – 265 с

П.Й. ФЕДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф., А.В. ПЕРЕМЕТЧИК, канд. техн. наук, доц.,
Т.О. ПОДОЙНІЦИНА, ст. викл., П.В. НАСТІН, студент
Криворізький національний університет

ГІРНИЧО-ГЕОМЕТРИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТА МОДЕЛЮВАННЯ НАДР

Мета. Метою роботи є геолого-промислова оцінка покладу корисних копалин, яка передбачає правильне визначення кількості і якості розвіданих запасів, вимагає збору і обробки такого матеріалу, який був би достатнім для складання технічно правильного і економічно обґрунтованого проекту освоєння родовища. Ці вимоги ставлять перед геолого-маркшейдерським забезпеченням гірничих підприємств все більш складні завдання. Забезпечення правильного освоєння родовища є пріоритетною виробничою задачею, що базується на науково обґрунтованій оцінці гірничо-геометричних характеристик покладу корисних копалин та чіткого уявлення про характер та кількість запасів родовища.

Методи дослідження. Методика дослідження полягає у гірничо-геометричному моделюванні та моніторингу надр на основі прогресивних та класичних способів і методик геометризації масиву корисних копалин та вміщуючих порід. Це включає в себе комплекс заходів, направлених на збір та оцінку вихідної інформації, її оцінку точності, математичне опрацювання та визначення оптимальних та найефективніших методів вирішення задачі геометризації родовища.

Наукова новизна. Застосовано комплекс методів оцінки мережі опробування та оцінки мінливості вмісту корисного компоненту. Ці методи базуються як на статистичних розрахунках, так і на програмних методах, що реалізуються у геоінформаційних системах.

Практичне значення. Застосовані методи дають змогу практично розв'язувати задачі гірничого виробництва, пов'язані з оцінкою запасів родовища корисних копалин, їх генезису, характеру залягання, якості, можливості сортування, прогнозування та промислового освоєння.

Результати. Отримано результати, які дають максимально повне уявлення про характер запасів родовища корисних копалин, можливість промислового освоєння та його послідовність. Показано переваги комплексу методів, що базуються на статистичній оцінці покладу корисних копалин, а також застосування новітніх геоінформаційних систем, що забезпечують можливість якісного і точного підрахунку та оцінки запасів родовища корисних копалин.

Ключові слова: геометризація, гірничо-геометричне моделювання, розвідувальна мережа, методи статистичної оцінки, крайгінг, мінливість геологічних показників, геоінформаційні системи.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-7-14

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Для рудних родовищ особливе значення має геометризація якості і фізико-хімічних властивостей гірських порід і мінеральної сировини, що є одним із найважливіших завдань оцінки гірничого підприємства. Графоаналітичним шляхом вдається встановити просторовий розподіл змісту і створити своєрідну модель, визначити взаємозв'язок між компонентами. Освоєння родовища потребує значних затрат, і їх ефективність напряму залежить від повноти та якості інформації про поклади родовища, їх склад, наявність корисних компонентів та, безпосередньо, запасів корисних копалин. Ці задачі можливо вирішити на основі комплексу досліджень, направлених на геометризацію, статистичну оцінку родовища, та моделювання і моніторинг його форми, властивостей і об'ємів.

Аналіз досліджень і публікацій. Геометризація та моделювання надр базується на інформації про геологічні, геохімічні, геомеханічні та інші поля, що характеризують різні ознаки і показники (будова, властивості, стан) гірського масиву і джерел георесурсів, які моделюються геометрично, в тому числі за допомогою поверхонь топографічного порядку і різних видів проекцій. Геометризація є методичною основою геометрії надр. Комплекс методик геометризації полягає у збиранні та і комплектуванні вихідної інформації, одержуваної при розвідці, маркшейдерських зйомках, випробуванні, геофізичних та спеціальних дослідженнях; систематизації, попередньої обробки та оцінки точності інформації з використанням варіаційної статистики, теорії випадкових функцій, кінцевих різниць; математичному та геометричному моделюванні та оцінці точності моделі; використанні моделі для вирішення задач розвідки і промислового освоєння, а також визначення геолого-генетичного складу родовища.

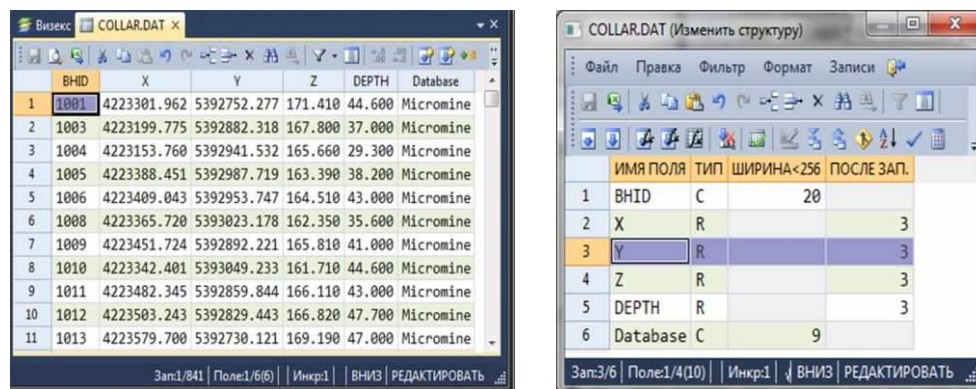
Постановка задачі. Завданням геометризації родовища корисних копалин є отримання інформації про поклади та її систематизація з метою її подальшого практичного застосування і вирішення задач гірничого виробництва. Одним із застосувань геометризації є оцінка запасів

корисних копалин. Це зумовлює необхідність створення комплексу методів, що дадуть змогу виконати з максимальної ефективністю підрахунок запасів гірничого підприємства.

Викладення матеріалу та результати. Як приклад геометризації родовища візьмемо результати підрахунку балансових запасів ільменіту Бирзулівського родовища в програмі MicroMine.

Підрахунок запасів ільменіту Бирзулівського родовища виконувався за допомогою системи MicroMine методом блокового моделювання, який є одним з найбільш сучасних та об'єктивних методів оцінки ресурсів і запасів корисних копалин, що використовується у всьому світі.

Для підрахунку запасів в середовищі MicroMine створено проект, основою якого є база даних Бирзулівського родовища. Вона складається з двох файлів: Collar.dat (містить інформацію по свердловинах – рис. 1, 2) і Assay подсчет.dat (містить інформацію по пробах – рис. 3), що мають наступну структуру.



BHID	X	Y	Z	DEPTH	Database
1001	4223301.962	5392752.277	171.410	44.600	Micromine
1003	4223199.775	5392882.318	167.800	37.000	Micromine
1004	4223153.760	5392941.532	165.660	29.300	Micromine
1005	4223388.451	5392987.719	163.390	38.200	Micromine
1006	4223409.043	5392953.747	164.510	43.000	Micromine
1008	4223365.720	5393023.178	162.350	35.600	Micromine
1009	4223451.724	5392892.221	165.810	41.000	Micromine
1010	4223342.401	5393049.233	161.710	44.600	Micromine
1011	4223482.345	5392859.844	166.110	43.000	Micromine
1012	4223503.243	5392829.443	166.820	47.700	Micromine
1013	4223579.700	5392730.121	169.190	47.000	Micromine

Рис. 1. Структура файлу Collar.dat бази даних Бирзулівського родовища

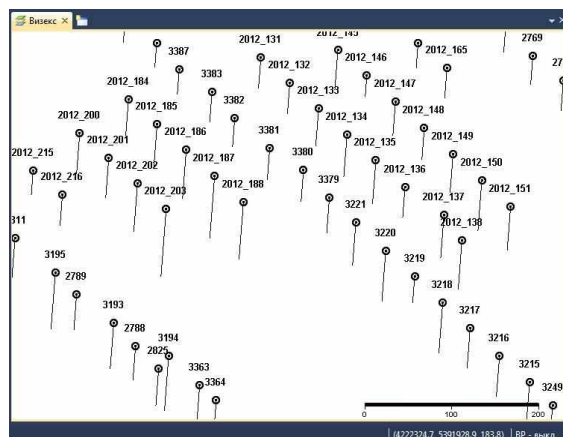
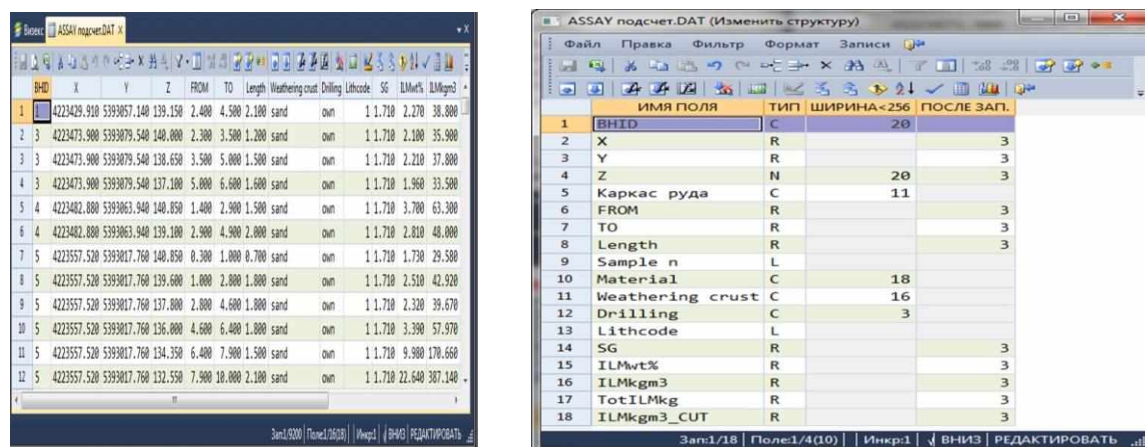


Рис. 2. 3D-візуалізація свердловин, пробурених на Бирзулівському родовищі, за інформацією з файлу Collar.dat

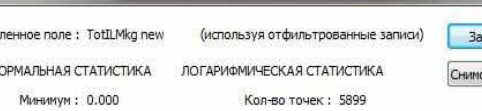
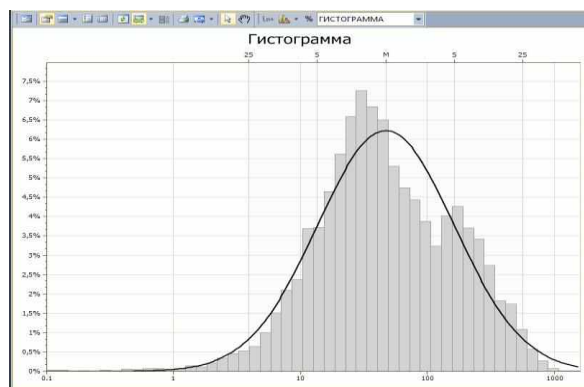


BHID	X	Y	Z	FROM	TO	Length	Weathering crust	Drilling	Lithcode	SG	ILMwt%	ILMkgm3
1	4223429.910	5393057.140	139.150	2.400	4.500	2.100	sand	own	1.1.710	2.270	38.000	
2	4223473.900	5393079.540	140.000	2.300	3.500	1.200	sand	own	1.1.710	2.100	35.900	
3	4223473.900	5393079.540	138.650	3.500	5.000	1.500	sand	own	1.1.710	2.210	37.800	
4	4223473.900	5393079.540	137.100	5.000	6.600	1.600	sand	own	1.1.710	1.960	33.500	
5	4223482.800	5393063.940	140.050	1.400	2.900	1.500	sand	own	1.1.710	3.700	63.300	
6	4223482.800	5393063.940	139.100	2.900	4.900	2.000	sand	own	1.1.710	2.010	40.000	
7	4223557.520	5393017.760	140.050	0.300	1.000	0.700	sand	own	1.1.710	1.730	29.580	
8	4223557.520	5393017.760	139.600	1.000	2.800	1.800	sand	own	1.1.710	2.510	42.920	
9	4223557.520	5393017.760	137.800	2.800	4.600	1.800	sand	own	1.1.710	2.320	39.670	
10	4223557.520	5393017.760	136.000	4.600	6.400	1.800	sand	own	1.1.710	3.390	57.970	
11	4223557.520	5393017.760	134.350	6.400	7.900	1.500	sand	own	1.1.710	9.900	170.660	
12	4223557.520	5393017.760	132.550	7.900	10.000	2.100	sand	own	1.1.710	22.640	307.140	

Рис. 3. Структура файлу Assay подсчет.dat бази даних Бирзулівського родовища

The screenshot displays the Boretec software interface, showing a geological cross-section. The cross-section is marked with three vertical lines labeled 3207, 3211, and 3212. The cross-section shows various geological layers in different colors (purple, red, yellow, green, blue) and is overlaid with a grid. A scale bar at the bottom right indicates a distance of 200 units. The software logo 'Boretec' is visible in the top left corner.

Згідно результатів стандартних вбудованих функцій MicroMine, статистичні параметри для вихідної вибірки проб становлять (рис. 7).



Описательная статистика

Выделенное поле: Tot1Mkg new (используя отфильтрованные записи)

НОРМАЛЬНАЯ СТАТИСТИКА

ЛОГАРИФИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА

Минимум : 0.000 Кол-во точек : 5899

Максимум : 1575.200 Ln среднего : 4.018

Кол-во точек : 5901 Геометр среднее : 55.566

Сумма : 687995.227 Ln дисперсии : 1.761

Среднее : 116.590 Ln std отклонение : 1.327

Медиана : 55.900

Дисперсия : 20495.786 V Сншеля : 1.761

Стд откл : 143.163 Гамма Сншеля : 2.412

Отн std откл : 1.228 t Сншеля : 134.006

Закрыть

Снимок экрана

$$\text{Exp}(4,018+3*1,327)=\text{Exp}(7,999)=2977,98.$$

Таким чином, можна зробити висновок про те, що серед значень вихідної вибірки по Бирзулівському родовищу немає таких, що не підкорюються законам визначеного розподілу – ураганих значень. На основі виконаних обрахунків було вирішено не виключати максимальні значення вмістів ільменіту при підрахунку запасів.

Далі, на основі результатів опробування (ASSAY подсчет.dat) було створено композити (об'єднані інтервали) за вмістом ільменіту в окремих пробах за економічно обґрунтованими кондиціями. Крім того, використовувалося поняття метропроценту (добуток вмісту корисного компоненту і потужності рудної товщі), який складав $20 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{м}$. Метропроцент використовується для включення інтервалів (рудоперетинів) з відносно низьким вмістом при великій потужності, або навпаки – при малій потужності з дуже високим вмістом.

З використанням композитів по кожному з розрізів оконтурено покрівлю та підшову корисної копалини (рис. 8, 9).

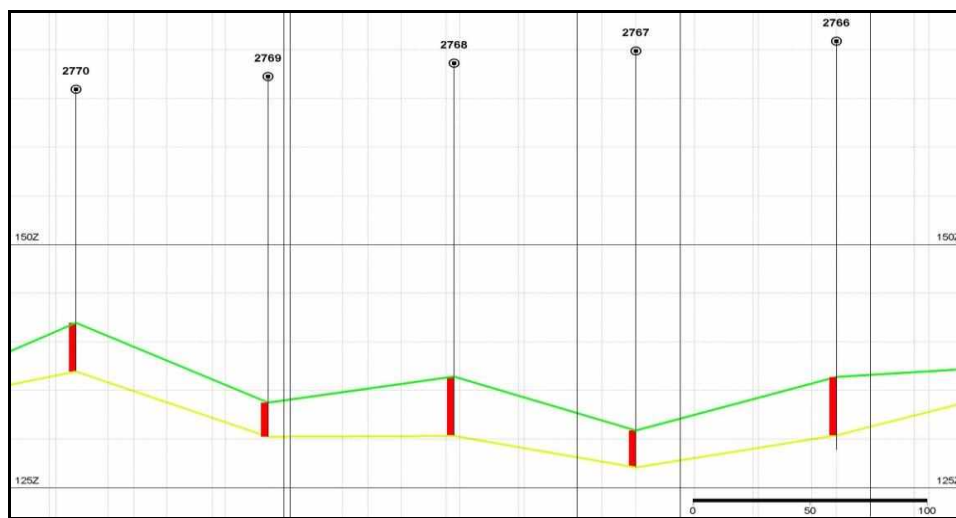


Рис. 8. Покрівля та підшова корисної копалини, оконтурені у розрізі з використанням композитів (об'єднаних інтервалів)

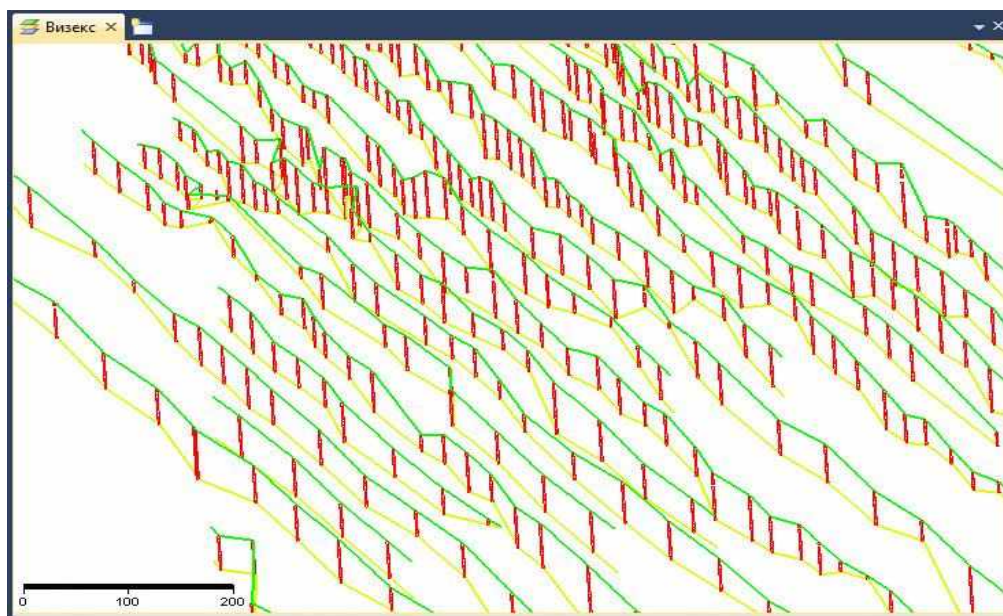


Рис. 9. Покрівля та підшова корисної копалини, оконтурені по розрізах з використанням композитів (об'єднаних інтервалів)

За допомогою функції для створення цифрових моделей поверхонь, контури покрівлі та підшови по розрізах поєднано в дві поверхні: поверхня покрівлі і поверхня підшови. В подальшому вони перетворюються на каркас, що обмежує корисну копалину з усіх боків (рис. 10).

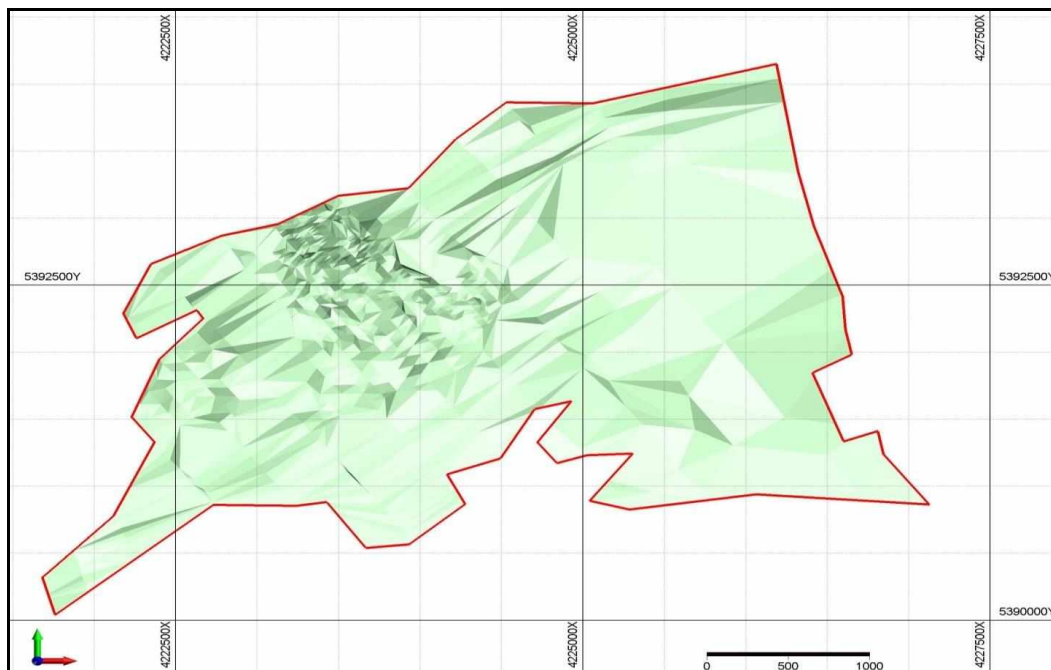


Рис. 10. Каркас, що обмежує рудну товщу Бирзулівського родовища

Каркас не включає площу позабалансових запасів (обмежується межею «баланс-позабаланс» за допомогою функції обрізки каркасу полілінією).

В межах отриманого каркасу створено порожню блочну модель. Форма елементарного (одиночного) блоку блочної моделі визначається формою розсипу (рудної товщі). Для Бирзулівського родовища характерним є невелика потужність у порівнянні з площею розповсюдження. За наявними матеріалами не спостерігається явної витягнутої форми в плані у якомусь з напрямків. Тому найбільш оптимальною уявляється форма зі співвідношеннями довжини, ширини і потужності $\sim 10 \times 10 \times 1$.

Розмір елементарного (одиночного) блоку (субблоку) блочної моделі визначається з урахуванням двох основних факторів. По-перше, не має необхідності робити одиничний блок менше, ніж забезпечує селективний видобуток корисної копалини обрана технологія розробки. По-друге, одиничний блок повинен бути настільки малим, щоб досить точно описати конфігурацію поверхонь рудної товщі. Для блочної моделі Бирзулівського родовища було обрано розмір одиничних блоків $10 \text{ м} \times 10 \text{ м} \times 1 \text{ м}$, субблоків – $2 \text{ м} \times 2 \text{ м} \times 0,2 \text{ м}$ (рис. 11).

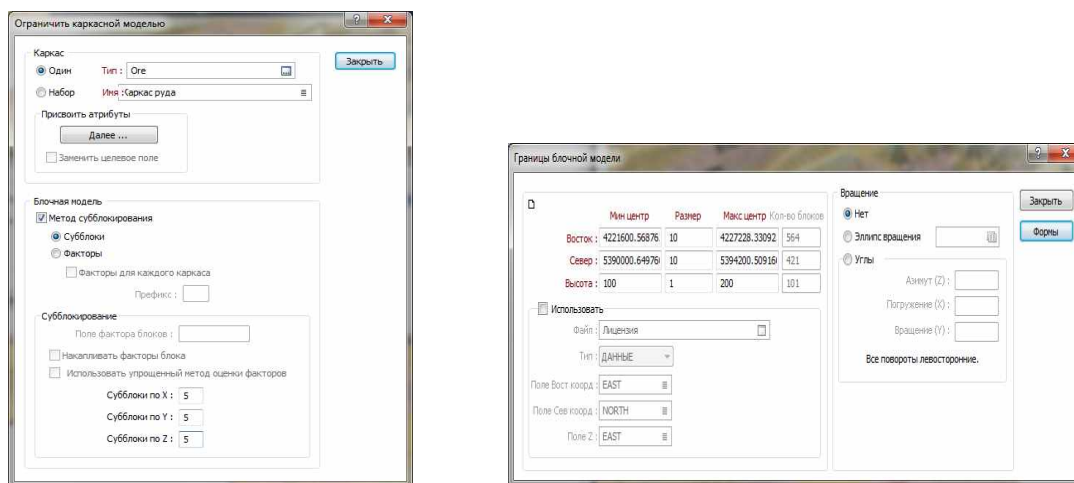


Рис. 11. Параметры, что задавались при створенні блочної моделі Бирзулівського родовища

Створену модель «заповнено» проінтерпольованими значеннями вмісту ільменіту методом зворотних відстаней за допомогою функції 3D-оцінка блоків (рис. 12). При цьому інтерполяція

відбувається в кілька етапів, кожен з яких відповідає певній категорії запасів (B, C1, C2). Одним з важливих параметрів інтерполяції є розміри еліпсу «пошуку», вони збільшуються від вищої категорії запасів до нижчої і базуються на параметрах обґрунтованої бурової мережі (100 м×40 м, 200 м×60 м, 400 м×80 м відповідно).

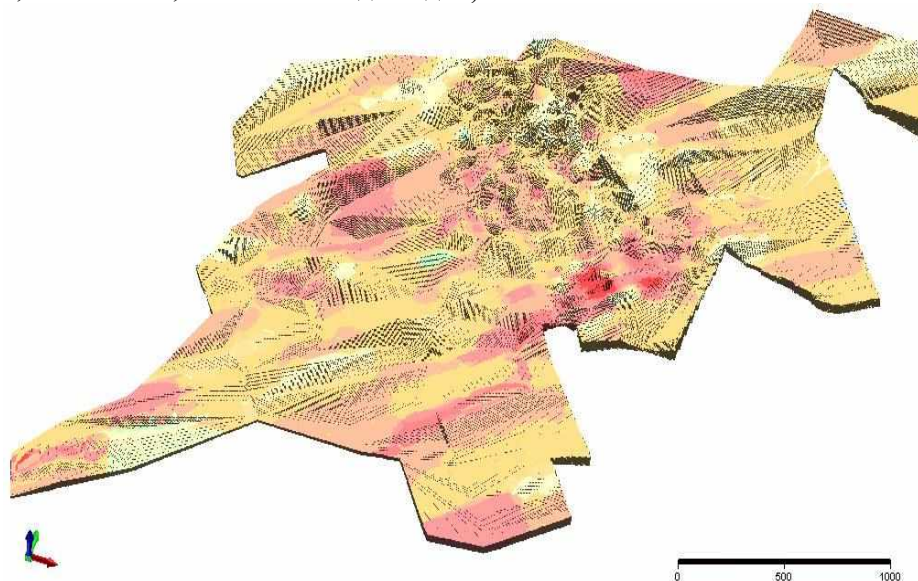


Рис. 12. Блочна модель Бирзулівського родовища (кольором показано вміст ільменіту, який збільшується від зеленого до червоного)

В результаті отримано блочну модель родовища, яка відображає розподіл ільменіту. Необхідно відмітити, що модель дає змогу не лише з більш високою точністю оцінювати запаси та інші параметри родовища, але і оперативно приймати рішення про напрямок видобувних робіт в залежності від кон'юнктури ринку ільменітового концентрату або інших факторів. Підрахунок запасів ільменіту виконувався по трьох класах (категоріях), які мають такі параметри (табл. 1).

Таблиця 1

Параметри бурової мережі для класів та категорій запасів Бирзулівського родовища

Код класу	Категорія запасів	Ступінь геологічного вивчення	Параметри бурової мережі
111	B	Розвідані (доведені) запаси	100 м×40 м
121	C1	Розвідані (доведені) запаси	200 м×60 м
122	C2	Попередньо розвідані (ймовірні) запаси	400 м×80 м

Для розмежування запасів різних класів та категорій було створено замкнуті контури, які обмежують площі різного ступеня вивченості (рис. 13).

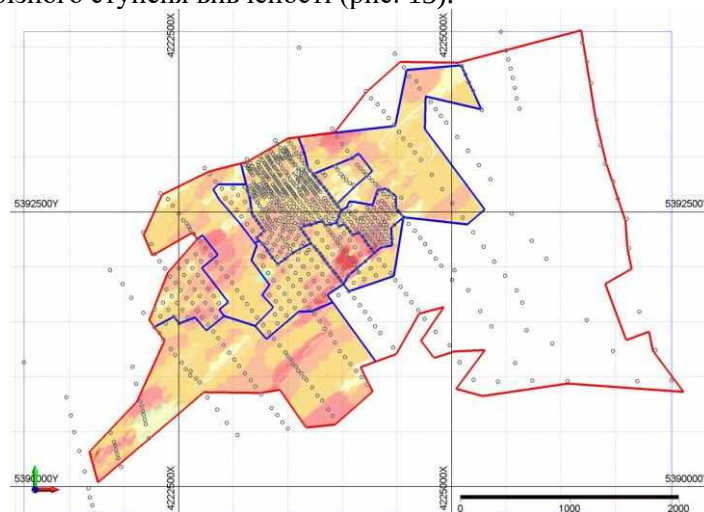


Рис. 13. Розподіл площі Бирзулівського родовища за класами (категоріями) запасів

За допомогою присвоєння індексів контурів категорій кожному з блоків, всі запаси блочної моделі було поділено на відповідні класи (категорії). В результаті створення звіту по блочній моделі було отримано розподіл запасів ільменіту Бирзулівського родовища по категоріях без урахування видобування (рис. 14).

	ОБЪЕМ	ТОННЫ	ПЛОТНОСТЬ	TotLMkg new (кг/м3)	M_TotLMkg new (т)	КАТЕГОРИЯ наш
1	13085007.23	22375362.36	1.7100	157.78267	2064587.34214	B
2	2915760.81	4985950.98	1.7100	130.85125	381530.94832	C1
3	17677204.86	30228020.31	1.7100	117.64955	2079715.23466	C2

Рис. 14. Звіт по блочній моделі Бирзулівського родовища з розподілом запасів по категоріях

В результаті загальна кількість балансових запасів (B+C1+C2) ільменіту Бирзулівського родовища (без урахування видобутку) склала 4526 тис.т. Похибка підрахунку запасів склала 8,3%.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Показано вирішення актуальної науково-технічної задачі геометризації запасів гірничого підприємства, спрямованої на забезпечення процесу гірничого виробництва. Комплекс розглянутих методів є практично застосовуваним, а дослідження, направлені на його вдосконалення є вельми перспективними.

Список літератури

1. Букринский В.А. Геометрия недр: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985.
2. Гудков В.М. Сравнение распределения пространственных переменных. // Маркшейдерский вестник, 1997. – № 1. – С. 8-11.
3. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд. – Л.: Недра, 1980.
4. Де Гроот М. Оптимальные статистические решения. – М.: – 1974. – 481 с.
5. Девис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии. Книга 1. – М.: Недра. – 1990. – 246 с.
6. Класифікація запасів та ресурсів корисних копалин Державного фонду. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України №432 від 5.05.1997 р. – Київ: Державний комітет України при Міністерстві екології та природних ресурсів. – 1997.
7. Калинин В.М. Многомерная геометрия форм и качественных свойств месторождений // Маркшейдерское дело и геодезия. Межвузовский сборник. – 1979. – вып. 6. – с. 99-105.
8. Крамбейн У., Грейбилл Ф. Статистические модели в геологии. – М.: Мир. – 1969. – 400 с.
9. Крамбейн У., Кауфман М., Мак-Кеммон Р. Модели геологических процессов – М.: Мир. – 1973. – 150 с.
10. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. – М.: Мир, 1982.
11. Методичний посібник з оцінки перспективних та прогнозних ресурсів твердих корисних копалин. – К.: УкрДГРІ. – 2010. – 25с.
12. Миллер Р.Л., Кан Дж. С. Статистический анализ в геологических науках. – М.: Мир. – 1965. – 482 с.
13. Низгурецкий З.Д. К приложению теории нестационарных случайных функций для оценки результатов геометризации месторождений. – Л.: изд. ВНИМИ. – 1974. – Сб. № 93. – С. 99-113.
14. Низгурецкий З.Д. Использование элементов теории случайных функций для оценки точности определения содержания полезного компонента и мощности залежи при геометризации. – Тр. ВНИМИ. – Т. 40. – 1963. – С. 292-311.
15. Переметчик А.В. Разработка эвристического алгоритма прогнозирования геологических показателей месторождений полезных ископаемых // Разработка рудных месторождений: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Кривой Рог: КТУ. – 2004. – Вып. 85 – С. 194 – 200.
16. Положення про порядок розробки та обґрунтування умов мінеральної сировини для розрахунку запасів твердих корисних копалин у надрах, затверджене наказом Державного комітету з мінеральних ресурсів від 07.12.2005 № 300.
17. Krige D.G. A review of development of geostatistics in South Africa // In: Advanced Geostatistics in the Mining Industry. Reidel, Dordrecht, Netherlands. 1976. P. 279-294.
18. Marechal A., Serra J. Random kriging // In: D.F. Merriam (Editor), Geostatistics. A Colloquium. Plenum Press, New York. 1970. P. 91-112.
19. Matheron G. Kriging or polynomial interpolation procedures. – CIMM Trans., 70. 1967. P. 240-244.
20. Matheron G. The intrinsic random functions and their applications. – Adv. Appl. Prob., 5. 1973. P. 439-468.

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІВНИКІВ ШАХТ У ВИПАДКУ ВИНИКНЕННЯ
НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

Мета статті полягає у визначенні ефективності роботи системи позиціонування персоналу, транспорту і моніторингу гірничо-шахтного устаткування виробництва компанії ТОВ «СПБЕК-Майнінг». Шахти повинні бути обладнані системами позиціонування і пошуку працівників, що дозволяють контролювати їх місцезнаходження та здійснювати пошук у діючих гірничих виробках, через завали гірських порід, в тому числі при відсутності електроенергії.

Методи дослідження. У роботі використано статистичний метод дослідження даних технічної документації систем позиціонування, який спрямовано на збір первинного статистичного матеріалу та інтерпретацію даних.

Наукова новизна. Проблема, що піднімається в роботі, обґрунтована невідповідністю систем позиціонування, що використовуються на підприємствах країни, які не відповідають вимогам стандарту, оскільки позиціонування виконується тільки «з точністю до дільниці гірничих виробок», з інтервалами, що не відповідають режиму реального часу.

Практична значимість. Практична реалізація запропонованої системи має переваги перед аналогічними, так як при відповідному покритті гірничих виробок зчитувачами системи становище персоналу і транспорту визначається безперервно з точністю ± 10 м. Система дозволяє створювати автономні пристрої з довгим часом роботи від одного джерела живлення (до 2-3 років) за рахунок малого енергоспоживання пристроїв.

Результати. Система може забезпечувати можливість передачі невеликих обсягів даних в радіоканалі між пристроями і далі, по дротовим і оптичним інтерфейсам, на верхній рівень системи. Система СППТМГШО побудована на базі технології ZigBee і стандарті IEEE 802.15.4. Приймачі даного стандарту дозволяють проводити вимірювання відстані при встановленні зв'язку один з одним методом TWR (two-way ranging). Система СППТМГШО має сертифікат відповідності Серія RU №03033013 про безпеку обладнання "О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах" (ТР ТС 012/2011. Таким чином, більш точні дані про місцезнаходження персоналу дозволять прийняти найбільш оптимальні рішення з надання допомоги постраждалим під час пожежі і при ліквідації аварійних ситуацій.

Ключові слова: система позиціонування, позиціонування, мітка, зчитувач, надзвичайна ситуація, пожежа, гірничавиробка, гірниче устаткування.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-14-19

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Серед основних причин надзвичайних ситуацій, що виникають в шахтах є обвалення порід покрівлі, падіння гірників у виробки, нагромадження шляхів породою чи іншими предметами, незадовільний стан підземного транспорту, падіння механізмів чи інструменту, вибух вугільного пилу та пожежі. Пожежі, як відомо, бувають ендегенні та екзогенні. Ендегенні виникають внаслідок самозапалення підземних порід та горючих матеріалів.

Якщо пожежа виникає внаслідок займання горючих матеріалів (кріплення, конвеєрні стрічки) внаслідок впливу зовнішнього джерела тепла (несправне обладнання, робота без захисних пристосувань або неправильна організація виробничого процесу).

На гірничорудних шахтах корисні копалини, що розробляються, не схильні до самозаймання. Тому в основному виникають екзогенні пожежі.

Основними причинами пожеж є: застосування відкритого вогню, порушення протипожежних правил при проведенні зварювальних робіт, загоряння вибухових речовин, коротке замкнення в шахтних електричних мережах, теплове випромінювання від тертя конвеєрної стрічки по роликам, тощо.

В гірничорудних шахтах до горючих матеріалів відноситься дерев'яне кріплення, забутовка, стрічка конвеєрів, оболонка кабелю, елементи технологічного обладнання.

В результаті пожежі виникають токсичні та газоподібні продукти горіння, що потрапляють в гірничі виробки. Це все спричиняє потенційно небезпечні та аварійні ситуації, що загрожують здоров'ю працівників.

Виявлення працівників при пожежі чи аварії в шахті може бути ускладнене через те, що розвиток пожежі, наприклад, ендегенного походження, відбувається в недоступних для людей місцях (у виробленому просторі).

У випадку обвалення покрівлі гірничої виробки виникає аварійна ситуація, коли за завалом залишилися працівники. При порушенні роботи водовідливних засобів чи при прориві води із затоплених виробок виникають затоплення гірничих виробок. Вони призводять до нещасних випадків через раптовий приплив великої кількості води. Проникання води у гірничі виробки приводять до порушення кріплення і обвалення виробок та пошкодження здоров'я працівників. Вони не мають можливості покинути місце аварії, тому виникає необхідність встановлення місця положення працівників при надзвичайній ситуації [1].

Аналіз досліджень і публікацій. У Солікамську (Росія) 22 грудня 2018 року відбулася пожежа при прохідницьких роботах в стовбурі на шахті СКРУ-3 [2]. Дев'ятеро людей загинуло під землею через задимлення шахти на глибині 362 м. Ростехнагляд завершив технічне розслідування пожежі на руднику СКРУ-3 ПАТ «Уралкалій», в результаті якого причинами аварії були визначені порушення порядку організації і ведення вогневих робіт в стовбурі №4 СКРУ-3, застосування обладнання для газополум'яного різання з використанням пропану і ручної зварки.

Відомство вважає, що аварія могла статися через застосування в якості матеріалу при кріпленні ствола двохкомпонентної поліуретанової смоли "Блокпур В", яка, згідно з експертними висновками, є легкозаймистою і високотоксичною. Займання сталося від попадання розпечених часток металу на спінений і затверділий матеріал податливого шару кріплення стовбура "Блокпур В" при проведенні несанкціонованих вогневих робіт. Вогонь підтримувався за рахунок горючого матеріалу опалубки (дошки, брус), що не були оброблені протипожежними речовинами відповідно до вимог.

Рятувальна операція ускладнювалася тим, що на місці НП була сильна задимленість і групи рятувальників не могли спуститися на глибину, де знаходилися люди. При цьому не було чіткого розуміння, в якому місці знаходяться прохідники, щоб забезпечити їх вихід на поверхню.

Специфіка проходки стовбурів в порівнянні з роботами по експлуатації родовища полягає в тому, що роботи ведуться в обмеженому обсязі простору. Для порятунку працівників в нештатній або аварійній ситуації необхідно встановлення точного місця розташування кожної людини на конкретному поверсі прохідницького полку, тобто більш точне позиціонування.

В роботі [3] М. О. Жукова, А. Е. Иванова, А. В. Мацко, И. В. Меркулова, Б. В. Наримського наведені виробники обладнання для позиціонування шахтарів. Більшість систем для контролю стану персоналу заснована на застосуванні RFID міток. При цьому використовується "Метод найближчого осередку" і фіксується тільки подія появи персоналу в зоні зчитувача на відстані до 30 м. Для більш точного визначення положення персоналу в шахті використовуються технології WiFi ("Гранч"), NanoLOC ("Інгортех"). Точність позиціонування в таких системах досягає 5-20 м.

Всі ці системи відносяться до систем локального позиціонування реального часу (RTLS - Real Time Location System). Такі системи інтенсивно розвиваються як для підвищення безпеки у вугільних шахтах, так і для підприємств інших галузей [4-6].

Тому використання системи позиціонування є актуальним завданням, запропонована система дозволяє забезпечити точне визначення місця розташування персоналу в шахті в on-line режимі, що підвищує безпеку працівників і допоможе при проведенні евакуації співробітників в разі виникнення позаштатних ситуацій.

Постановка задачі. Метою даної статті є визначення ефективності роботи системи позиціонування персоналу, транспорту і моніторингу гірничо-шахтного устаткування виробництва компанії ТОВ «СПБЕК-Майнінг». Шахти повинні бути обладнані системами позиціонування і пошуку працівників, що дозволяють контролювати їх місцезнаходження та здійснювати пошук у діючих гірничих виробках, через завали гірських порід, в тому числі при відсутності електроенергії.

Викладення матеріалу та результати. Система позиціонування і пошуку працівників повинна забезпечувати виявлення місцезнаходження людини у всіх гірничих виробках з передачею інформації диспетчеру і на командний пункт об'єкта в режимі реального часу. Інформація про місцезнаходження людей в гірничих виробках повинна зберігатися на шахті не менше одного місяця з дати її отримання. Відповідальність за справність системи позиціонування і збереження отриманої інформації покладається на керівника об'єкта.

Відповідно до нормативної документації, гірничі виробки шахт, надшахтні будівлі і споруди повинні бути обладнані комплексом систем і засобів, які забезпечують організацію і здійснення безпеки ведення гірничих робіт, контроль і управління технологічними та виробничими процесами в нормальних і аварійних умовах.

При аварійних ситуаціях життєво необхідна точна система позиціонування, яка дозволить визначити, де знаходиться людина. Встановлена в законодавчих нормативах похибка систем позиціонування на сьогоднішній день становить 20 м, тому розробка та впровадження систем більш точного і зонального позиціонування, яка може бути інтегрована з системами відео спостереження для підвищення рівня контролю, є актуальним завданням.

Завдання, які вирішуються:

- контроль рівнів доступу гірників;
- контроль місця розташування гірників у виробках шахти;
- контроль робочого часу і рівнів доступу персоналу;
- аварійне оповіщення гірників;
- евакуація і виявлення гірників, що захоплені аварією.

Склад такої системи визначається проектною документацією. В неї повинні входити системи, що відповідають за зв'язок, оповіщення та визначення місця розташування персоналу.

Відповідно до загальних вимог, що пред'являються до систем позиціонування [7-11]:

система позиціонування персоналу повинна безперервно в режимі реального часу відображати на мнемосхемі шахти місцезнаходження кожного працівника, що спустився в шахту, з дозволом ± 20 м;

система загальношахтного аварійного оповіщення в гірничих виробках.

Аналіз поширених в даний час на шахтах країни систем позиціонування показує (табл. 1), що вони не відповідають вимогам стандарту, оскільки:

позиціонування виконується тільки «з точністю до ділянки гірничих виробок», що істотно поступається параметру: «з дозволом ± 20 м»;

дані про місцезнаходження персоналу надаються в диспетчерську шахти дискретно - при попаданні індивідуальної мітки в зону дії зчитувачів, розставлених в шахті на значній, як правило, відстані один від одного;

з інтервалами, що не відповідають режиму реального часу.

Подібне становище спостерігається і в системах оповіщення. Автори А.В. Новиков, К.В. Паневник, І.В. Писарев [7] на основі досвіду використання систем позиціонування в умовах ТОВ НВФ «ГРАНЧ», проводять аналіз систем оповіщення. У табл. 1 представлений аналіз систем СПГТ-41 і СППТМГШО.

Таблиця 1

Характеристика систем визначення місця розташування персоналу на основі зчитувачів

Характеристика системи	Найменування системи	
	Система СПГТ-41	Система СППТМГШО
Принцип дії	Зональне (обмежене зчитувачами) позиціонування персоналу та техніки	Безперервне позиціонування персоналу та техніки в режимі реального часу
Швидкість передачі даних – кабель / радіо	Двосторонній радіозв'язок (полудуплекс): швидкість передачі – 1024 кБод. Двосторонній дротяний зв'язок (полудуплекс): швидкість передачі – 9,6 кБод	Двосторонній радіозв'язок (полудуплекс): швидкість передачі – одна тисяча двадцять чотири кБод. Двосторонній дротяний зв'язок контролер-зчитувач (полудуплекс): швидкість передачі – 38,4 кБод Двостороння зв'язок контролер-сервер: Ethernet 100Base-FX або 1000Base-LX
Точність координат місця розташування об'єкту	Координати об'єкта визначаються за місцем знаходження зчитувачів, в зонах дії яких знаходиться об'єкт – протяжність зон становить від десятків метрів до декількох кілометрів	± 5 метрів і вище
Період оновлення даних на АРМ оператора	не більше 5 с	5 с
Швидкість пересування об'єкта	Максимально допустима – 12 м/с	Максимально допустима – 15 м/с
Гарантована дальність зчитування міток	25 м	25-100 м – для пари зчитувач - мітка для персоналу; 100-300 м – для пари зчитувач - мітка для транспортних засобів

Підвищення точності позиціонування забезпечує безпеку працівників шахти. Воно потрібно не тільки для фіксації місця знаходження людини на момент початку аварії але і для відгородження зони надзвичайної ситуації, в якій можуть знаходитися працівники. Крім того, для попередження персоналу про транспорт, що рухається в певному напрямку, попередження водія про наявність перешкод на шляху транспортного засобу тощо.

У даній роботі наводиться аналіз роботи системи позиціонування персоналу, транспорту і моніторингу гірничо-шахтного устаткування (скор. СППТМГШО) виробництва компанії ТОВ «СПБЕК-Майнінг», яка має такі переваги перед аналогічними:

- при відповідному покритті гірничих виробок зчитувачами системи становище персоналу і транспорту визначається безперервно з точністю ± 10 м;

- мале енергоспоживання пристроїв, що дозволяє створювати автономні пристрої з довгим часом роботи від одного джерела живлення (до 2-3 років);

- можливість передачі невеликих обсягів даних в радіоканалі між пристроями і далі, по дровим і оптичним інтерфейсам, на верхній рівень системи.

Вже згадана система позиціонування дозволяє вирішувати наступні завдання:

- безперервно визначати місце розташування приймачів системи в гірничих виробках з точністю ± 5 м. І відображати їх позицію на плані гірничих робіт в 3D-форматі, з можливістю масштабування;

- грунтуючись на даних точного позиціонування, створювати системи управління рухом підземного транспорту (колісна техніка, електровозний транспорт);

- вбудовувати приймачі системи в інші пристрої і передавати з них різні дані (стан устаткування, результати вимірювань різних параметрів та ін.)

Вже згадана СППТМГШО [13] відноситься до класу RTLS-систем (від англ. Real-time Locating Systems - система позиціонування в режимі реального часу). Як правило, принцип дії всіх RTLS заснований на вимірюванні відстані між рухомим приймачем системи (міткою) і нерухомими «базовими станціями» (зчитувачами) із заздалегідь відомими координатами. При цьому, для точного визначення положення приймача в n -вимірному просторі щодо базових станцій необхідно, щоб була інформація про відстані до $n + 1$ базових станцій. Маючи цю інформацію, можна обчислити координати рухомого передавача.

Як відомо, більшість гірничих виробок є протяжними об'єктами з великим відношенням довжини до ширини і висоти (як правило від 10 до 1000), і в загальному випадку їх можна вважати одновимірними об'єктами. Відповідно, для правильного визначення положення приймача у виробці, досить, щоб він знаходився в зоні видимості 2-х зчитувачів системи. При одночасній видимості міткою більшої кількості зчитувачів, точність вимірювання координат підвищується.

На поточний момент існуючі на ринку RTLS використовують як різні технології радіозв'язку (WiFi, UWB, ZigBee, NanoLOC і ін.), так і різні способи вимірювання відстані між приймачем і базовою станцією (ToA, TDoA, ToF, TWR, RSSI та ін.).

Система СППТМГШО має сертифікат відповідності Серія RU №03033013 про безпеку обладнання "О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах" (ТР ТС 012/2011. Виготовляє обладнання товариство з обмеженою відповідальністю "СПБЭК-Майнинг".

Логічна структура побудови мережі базових станцій для СППТМГШО показана на рис.1.

Система СППТМГШО побудована на базі технології ZigBee і стандарті IEEE 802.15.4. Приймачі даного стандарту дозволяють проводити вимірювання відстані при встановленні зв'язку один з одним методом TWR (two-way ranging). Метод TWR полягає в наступному: БС фіксує час відправлення сигналу ($T1$), мобільний пристрій фіксує час отримання сигналу ($t1$), а також час відправлення сигналу назад на БС ($t2$). У сигналі від мобільного вузла до базової станції передаються часи $t1$ і $t2$. БС отримує сигнал з мобільного пристрою і фіксує час його отримання. Відстань обчислюється за формулою $S=((T2-T1)-(t2-t1))\cdot c/2$. Ініціатором вимірювання може бути мобільний пристрій за аналогічним алгоритмом.

Недоліком даного методу є великий розкид результатів вимірювань на малих відстанях (до 20 м), що пов'язано зі збільшенням відносини $(t2-t1)/(T2-T1)$ і превалюванням часу обробки сигналу в другому приймачі над часом поширення радіосигналу.

Для збільшення точності вимірювання на малих відстанях на додаток до методу TWR часто застосовується метод RSSI (received signal strength indicator) - це індикатор рівня потуж-

ності сигналу. Даний метод дозволяє визначити місце розташування пристрою, ґрунтуючись на рівні інтенсивності сигналу, отриманого БС або навпаки.

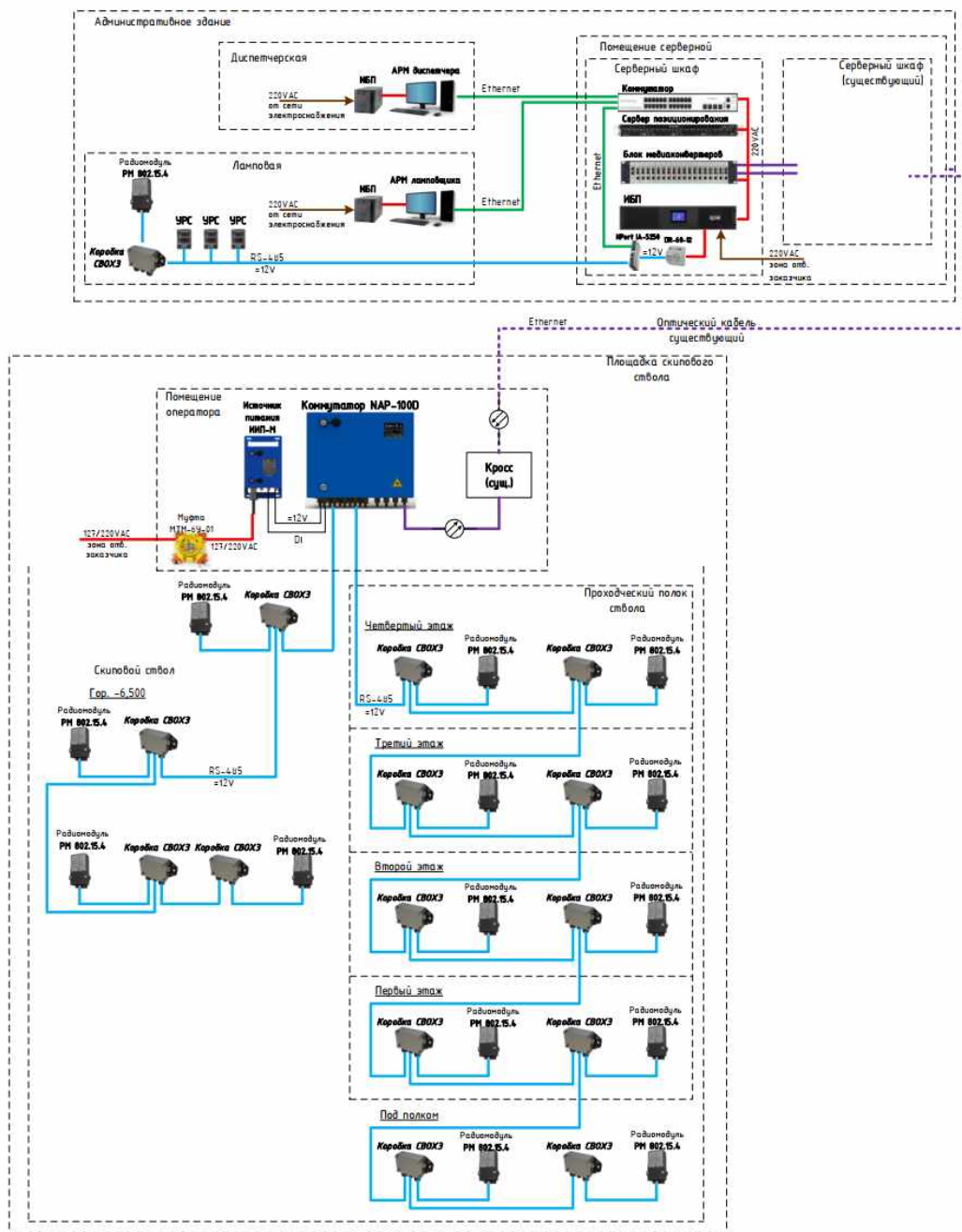


Рис. 1. Структура побудови мережі базових станцій для СППТМГШО

Метод RSSI зручно використовувати саме на найближчих відстанях, так як на цих відстанях відбувається найбільш швидке відносно загасання сигналу і пристрою, які практично завжди знаходяться в прямій видимості, тобто немає конструкцій, які ослаблюють сигнал, і, відповідно, вносять помилку в результат вимірювань.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Головна практична відмінність запропонованої системи СППТМГШО від існуючих систем полягає в збільшенні точності позиціонування, що дозволяє з необхідною достовірністю визначати місце розташування працівників не тільки в горизонтальних виробках, а й при виконанні специфічних робіт, наприклад, на поверхах прохідницького або армуючого полку при будівництві вертикальних стволів.

Таким чином, більш точні дані про місцезнаходження персоналу дозволять прийняти найбільш оптимальні рішення з надання допомоги постраждалим під час пожежі і при ліквідації аварійних ситуацій.

Список літератури

1. Євстратенко І.А., Ошмянський, Євстратенко Л.І. Гірничорятувальна справа на гірничорудних підприємствах – Кривий Ріг, Видавничий центр, 2012 - 275с.
2. Ростехнадзор завершил расследование пожара на шахте в Соликамске / газета "Коммерсантъ". Прикамье. Пермь. - 09.05.2019. <https://www.kommersant.ru/doc/3966272>
3. М. О. Жуков, А. Е. Иванов, А. В. Мацко, И. В. Меркулов, Б. В. Нарымский Система наблюдения и оповещения персонала угольных шахт. Состояние и перспективы развития / Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН, Новосибирск, Россия Том 18, Специальный выпуск, 2013
4. Благодарный А.И., Гусев О.З., Журавлев С.С и др. Автоматизированная система наблюдения, оповещения и поиска персонала при авариях в шахтах // Горная промышленность. 2009. № 1. С. 34–38.
5. Технологии позиционирования в реальном времени. <http://www.rtlsnet.ru/technology/view/4>
6. CSS (ISO 24730-5) Измерение расстояний без рулетки и проводов. <http://habrahabr.ru/post/153237/>
7. Технологии позиционирования в реальном времени [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.rtlsnet.ru/technology/view/4>
8. Овчинников С. Технологии локального позиционирования / Сергей Овчинников. // Технологии и средства связи. – 2014. – №3. – С. 26–30.
9. Технологии локального позиционирования. Часть I [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/company/rtlservice/blog/281837>
10. Технологии локального позиционирования. Часть II [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/company/rtlservice/blog/282357>
11. Методы локального позиционирования [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/company/rtl-service/blog/301706/>
12. А.В. Новиков, К.В. Паневник, І.В. Писарев. Багатофункціональна система безпеки вугільних шахт - практика застосування систем визначення місця розташування та оповіщення персоналу / «Гірська Промисловість» №2 (138) / 2018. <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2018-2-138-xx-xx>
13. Сертификат соответствия. Система позиционирования СПИТМГШО - 2018. - Режим доступу до ресурсу: <https://spbec-mining.ru/upload/iblock/1cd/1cd48fbe1cb67bb8de014710ba1c96e7.pdf>.

УДК 528.4

О. Є. КУЛКОВСЬКА, д-р техн. наук, проф., О. І. СУГАНЯКА, магістр

Криворізький національний університет

Ю. Ю. АТАМАНЕНКО, наук. співроб., Донецький юридичний інститут МВС України

ГІС-ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ І ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІЙ КРИВБАСУ ІЗ УРАХУВАННЯМ ЗОНУВАННЯ ЗА СТУПЕНЕМ ЗСУВНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

Мета. Дослідження використання геоінформаційних технологій для моніторингу і прогнозування розвитку територій Кривбасу із урахуванням зонування за ступенем зсувної небезпеки.

Методи дослідження. Поставлена мета та завдання дослідження зумовили використання загальнонаукових підходів, логічних законів побудови висновків, спеціальних методів пізнання. В якості методологічної основи дослідження вжито сполучення «нейромережевий аналіз». При виконанні завдань дослідження спиралося на світовий досвід застосування геоінформаційних технологій для картування та дослідження зсувів. Інформаційною базою дослідження слугували монографії, збірники наукових праць, періодичні фахові видання, Інтернет-ресурси.

Наукова новизна. Сформульовано критерії вибору ефективного геодезичного методу збору просторових даних, який забезпечує оперативне автоматизоване отримання картографічної інформації з заданою точністю і необхідним обсягом інформації для виявлення зсувонебезпечних територій на підставі нейромережевого аналізу.

Практична значимість. Визначається цільовим спрямуванням даного дослідження для потреб фахівців гірничопромислового комплексу Криворізького регіону. Розроблена карта зонування території за ступенем зсувної небезпеки стане допоміжним матеріалом для початку дослідницької роботи з вивчення просторово-часової зміни структури гірничопромислових ландшафтів Кривбасу та, відповідно, передумовою районування гірничопромислових ландшафтів на локальному та регіональному рівнях.

Результати. Встановлено, що не існує стандартів, що регламентують якість застосовуваних вихідних матеріалів для цілей регіонального зонування зсувних явищ. Більше уваги приділяється локальним методам кількісної

оцінки зсувних схилів. Доведено, що з розвитком комп'ютерних технологій автоматизація процесу картування і отримання коректних результатів за допомогою нейронних мереж можлива за рахунок підвищення якості вхідних даних. Рекомендовано для створення цифрової моделі рельєфу використовувати сучасні високоточні геодезичні методи, такі як повітряне лазерне сканування, технології гіперспектральних зйомок; для отримання геологічних даних слід користуватися картами крупнішого масштабу або отримувати дані на інженерно-геологічних свердловинах.

Ключові слова. Зонування території, цифрова модель рельєфу, нейромережевий аналіз, нейронні мережі, гірничопромислові ландшафти, ступінь зсувної небезпеки, гірничопромисловий комплекс.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-19-25

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Серед найбільш небезпечних геологічних процесів і явищ одне з важливих місць займають зсуви. Утворення зсувів являє собою складний процес, на який впливає цілий ряд взаємопов'язаних факторів: геологічні умови, рельєф, кліматичні та антропогенні чинники [1]. Для активізації зсувних процесів в більшості випадків необхідно особливе поєднання природних факторів. Окремі ж передумови і чинники не завжди справляють істотний вплив на процес розвитку зсувів. Тому для великомасштабного аналізу зсувної небезпеки доцільно комплексне вивчення цих факторів. Відповідно, основним завданням є збір якомога більшої кількості даних, по яким згодом будуться карти імовірності утворення обвалів на території дослідження.

Аналіз досліджень і публікацій. Створенню інформаційних систем, які направлено на запровадження оперативного використання цифрових карт та вдосконалення геоінформаційних систем (ГІС) приділено дуже багато уваги як вітчизняними, так і зарубіжними вченими. Підставою для виконання дослідження слугували роботи Ананьєва С. М., Альошина Ю.Г., Бойко Є. С., Савчина І. Р., Третьяка К. Р. та ін. Зокрема, методу застосування нейронних мереж, визначенню параметрів вихідних даних для зонування і структури нейронної мережі присвячено роботи Кузина А. О.

Постановка задачі. Світовий досвід використання геоінформаційних технологій для картування та дослідження зсувів вказує на значну поширеність методик просторового аналізу та статистичного інструментарію ГІС. За останні роки було розроблено різні методи комплексного аналізу геологічного середовища з метою прогнозування зсувів різного генезису. Загальноприйняті методики базуються на створенні тривимірних моделей досліджуваних територій, об'ємної деталізації зсувонебезпечних схилів за допомогою фотограмметричної обробки даних дистанційного зондування, наземної або повітряної лазерної зйомки, GNNS- картування [2–7].

Виклад матеріалу і результати. В Криворізькому регіоні зосереджено: 45 працюючих і непрацюючих шахт з видобутку залізної руди; 41 кар'єр, з яких 11 є працюючими; 104 відвали розкритих гірських порід; 26 провальних зон і зон зрушення в полях шахт; 15 шламосховищ гірничо-збагачувальних комбінатів і рудників; 28 спелеологічних об'єктів (розкриті стволи закинутих шахт, розкриті старі штольні штреки шахт, провальні колодязі тощо) [8, 9]. На сьогоднішній день загальна площа гірничопромислових ландшафтів (ГПЛ) Кривбасу становить 17,1 тис. га. З них площа структура ГПЛ виглядає наступним чином: площа кар'єрів становить понад 4,2 тис. га; площа відвалів – 7,0 тис. га; площа екстрактивних ландшафтів (шламосховищ) – 5,5 тис. га; площа шахтних провалів і зон зрушення – 3,4 тис. га. Після кар'єрів і відвалів, провальні ландшафти являють третю групу гірничопромислових антропогенних ландшафтів. За морфогенетичними рисами організації рельєф рудників Кривбасу може бути поділений на 2 групи: провальний рельєф та рельєф зони зрушення [10].

Власне провальний рельєф представлений такими формами рельєфу, як провальні лійки (поодинокі, ланцюгові), провальні колодязі (вертикальні в днищах лійок) провальні котловини (найбільші – довжиною до 400 – 500 м), провальні каньйони (самі грандіозні провалля). Рельєф зони зрушення розвинутий по периферії провальних зон. В цій зоні гірські породи та земна поверхня опускаються плавно або блоками з утворенням тріщин. Так формуються форми рельєфу – тріщини відсідання та тераси відсідання, з характерною для терас будовою [9, 11]. Місцезалячення найбільших провалів та зон зрушення м. Кривого Рогу зображено на рис. 1. Коротка інформація про них міститься на рис. 2.

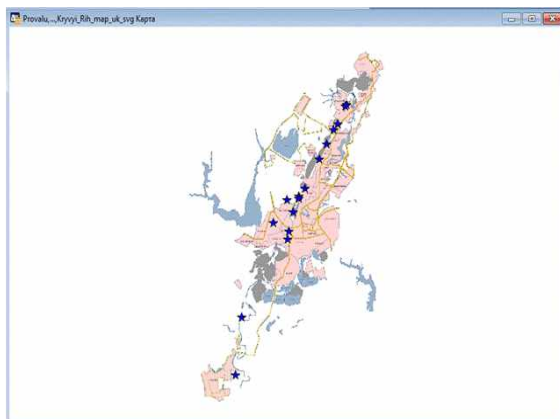


Рис. 1. Зображення положення провалів та зон зрушення на карті міста

Number	Name	Longitude	Latitude	Type
1	Колісний РУ ім. Леніна (зароз - шахта ім. Леніна БАТ Криворізькозалізничного та ім. Орджонікідзе В	48.0961	33.4999	зона зрушення
2	Колісний РУ ім. Леніна (зароз - шахта ім. Леніна БАТ Криворізькозалізничного та ім. Орджонікідзе В	48.0939	33.4965	провальна зона
3	Колісний РУ ім. Р. Ленінського (зароз - шахта Гвардійської БАТ Криворізькозалізничного	48.0668	33.477	зона зрушення
4	Колісний РУ ім. Р. Ленінського (зароз - шахта Гвардійської БАТ Криворізькозалізничного	48.0584	33.467	провальна зона
5	БАТ РУ Суша Балка (зароз - шахта Ювілейної)	48.0368	33.4494	зона зрушення
6	Колісний РУ ім. Фрунзе (зароз - шахта ім. Фрунзе БАТ РУ Суша Балка)	48.013	33.4313	зона зрушення
7	Колісний РУ ім. К. Лібенхейта (зароз - шахта Батьківщини БАТ Криворізькозалізничного	47.9692	33.3957	зона зрушення
8	Колісний РУ ім. Кірова (зароз - шахта Артем-1 шахтоуправління БАТ АрселорМіттал Кривий Ріг	47.9561	33.3804	зона зрушення
9	Колісний РУ ім. Кірова (зароз - шахта Артем-1 шахтоуправління БАТ АрселорМіттал Кривий Ріг	47.9528	33.3803	провальна зона
10	р-н кладовища «Західне» (результат гірничих робіт шахти «Родина» БАТ «Криворізький залізнич	47.9494	33.351	зона зрушення
11	Колісний РУ ім. Дзержинського (зароз - рудник БАТ ММК ім. Ілліча)	47.9322	33.3661	зона зрушення
12	Колісний РУ ім. МОДРУ (зароз - шахта №1 ім. Айдарів)	47.9142	33.3165	зона зрушення
13	Колісний шахта ім. ЗОТ колісничого РУ ім. Ілліча	47.9038	33.3549	провальна зона
14	Колісний шахта ім. Валеріо-Піддєнна колісничого РУ ім. Ілліча	47.8922	33.3516	зона зрушення
15	Колісний бурозалізничний РУ Польовий	47.7725	33.2361	провальна зона

Рис. 2. Коротка характеристика провалів та зон зрушення Кривбасу

В нашому випадку, зонування міста за ступенем зсувонебезпеки будемо, використовуючи програмне забезпечення (ПЗ) Surfer. Зручність інтерфейсу, насиченість функціональними можливостями є значною перевагою Surfer. Особливо її актуальність виражається у випадках аналізу великих об'ємів інформації, а не лише під час формування результатів у вигляді презентаційної графіки.

Для зонування території, спочатку необхідно проаналізувати фактори, які можуть спричинити зсув на даній території. Для цього скористаємося програмним забезпеченням AutoCAD. Спочатку загрузаємо карту міста, і виділяємо на ній усі зсувоутворюючі фактори. В нашому випадку, це, в першу чергу, наявні ділянки із зсувами, гірничі об'єкти, а також тектонічні розломи даної території (рис. 3).

Ознайомившись із усіма зсувоутворюючими факторами, будемо умовну сітку координат, сторони квадрату якої рівні 5 км. Для початку проаналізуємо можливість виникнення зсувонебезпеки на території міста за наявними тектонічними розломами: визначаємо координати центру квадрату, рахуємо кількість тектонічних розломів, що входять в кожний квадрат сітки.

В нашому випадку, кількість розломів в квадраті відповідає величині класу небезпеки. Побудована карта ймовірності зсувоутворення на території м. Кривого Рогу з врахуванням тектонічних розломів (рис. 4) свідчить, що найбільша кількість тектонічних розломів зосереджена під інфраструктурою міста, що значно збільшує вірогідність утворення зсувів на даній території. Відповідно, територія, яка знаходиться в межах 4 – 6 класу, має критичний ступінь ризику виникнення надзвичайної ситуації (НС), викликаною тектонічними розломами (ТР).

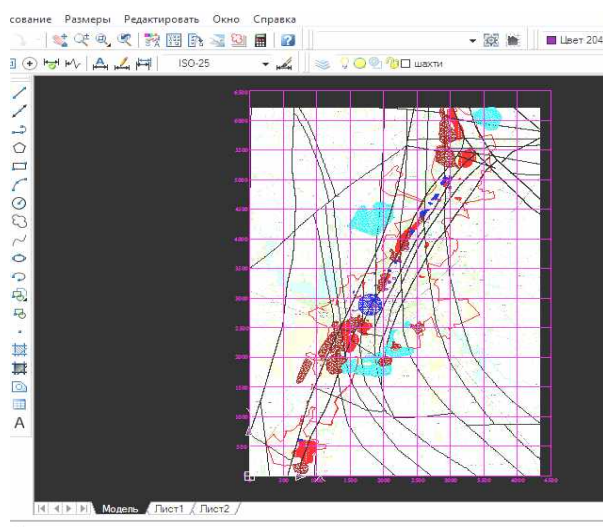


Рис. 3. Вивчення зсувоутворюючих факторів міста в AutoCAD

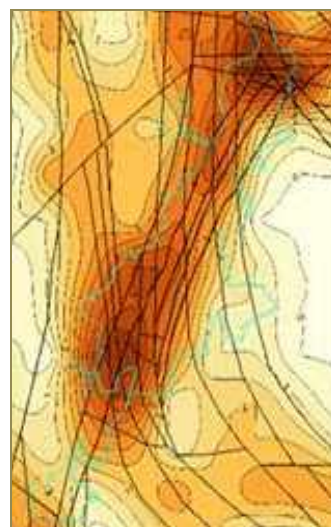


Рис. 4. Співставлення карти зонування території за ступенем виникнення зсувної небезпеки з межею міста і тектонічними розломами

Проаналізуємо можливість виникнення зсувонебезпеки на території міста по наявним гірничим об'єктам (робочі та неробочі кар'єри і шахти, відвали, відстійники, хвостосховища). Використовуємо ту саму методику, тільки замість тектонічних розломів рахуємо кількість об'єктів, що потрапляють в кожен квадрат сітки. Відповідно, клас небезпеки зсувоутворення відповідає кількості небезпечних об'єктів.

На найбільш небезпечну територію міста припадають Центральні-міський та Саксаганський райони. Територія, яка знаходиться в межах 4 – 5 класу, має критичний ступінь ризику виникнення НС внаслідок антропогенної діяльності. Відповідно, територія, що припадає на 0 – 2 має незначну ймовірність для розвитку зсувної небезпеки, а територія в межах 2 – 4 класу – ймовірний ступінь виникнення. Проаналізувавши можливість виникнення НС на території міста за наявними тектонічними розломами та антропогенними ландшафтами, узагальнено отриманий результат, створивши карту зонування території за ступенем зсувної небезпеки, враховуючи обидві зсувоутворюючі причини (рис. 5, 6).

Наукові дослідження, робота з архівними і проектними матеріалами дозволила у підсумку зобразити положення ТР та гірничопромислових ландшафтів (ГПЛ) на карті міста. Розроблена база є допоміжним матеріалом для початку дослідницької роботи з вивчення просторово-часової зміни структури ГРЛ Кривбасу, передумовою їх районування на локальному та регіональному рівнях та для врахування структури ГПЛ (особливо історичних) в розробці генплану міста. Співставлення зон небезпеки із інфраструктурою показано на рис. 7.

З метою виявлення зсувонебезпечних територій нашого міста на основі нейронних мереж, можемо врахувати такі дев'ять факторів: геологічна будова схилу; крутизна схилу; експозиція схилу; сумарний стік і відстань до річок і озер; висота місцевості; наявність доріг; наявність населених пунктів [12]. Для моделювання зсувної небезпеки слід створити базу даних цифрових матеріалів за допомогою функціональних можливостей ГІС ArcGIS. Дані збираються, готуються і вводяться в геоінформаційне середовище зі створенням баз даних [1, 13].

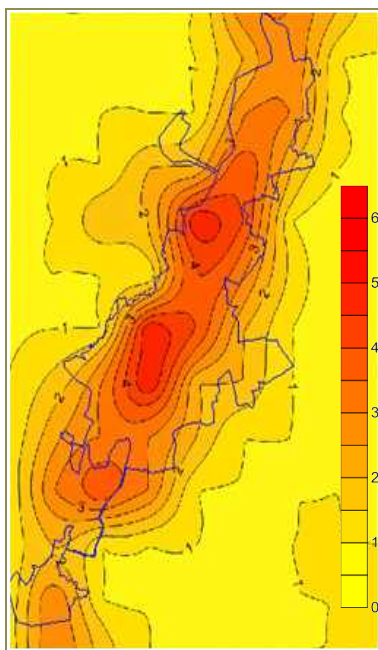


Рис. 5. Зонування території за ступенем виникнення зсувної небезпеки міста за двома факторами

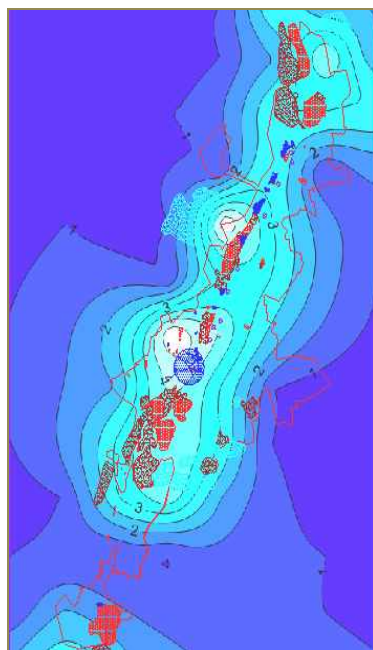


Рис. 6. Співставлення карти зонування території за ступенем виникнення зсувної небезпеки з межею міста і гірничими об'єктами

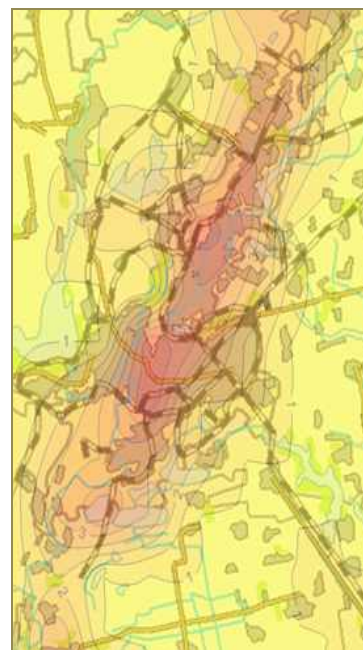


Рис. 7. Співставлення інфраструктури міста із зонуванням території за ступенем ризику виникнення НС

Матеріали, що повинні бути опрацьовані і завантажені в базу даних (БД) включають: глобальну цифрову модель рельєфу (може бути отримана за допомогою супутникового радіометра теплового випромінювання та відображення); геологічну карту масштабу 1:200 000 та топографічну карту масштабу 1:50 000. На наступному етапі формування БД слід виконати роботу із: відеоцифрування, створення топологічних покриттів і атрибутивних таблиць для елементів моделювання (геологічної будови, населених пунктів, доріг, річок і зсувів); розрахунку морфо-

метричних показників рельєфу – крутизни та експозиції схилу, сумарного стоку; розрахунку відстаней до вододілів, доріг і шосе, населених пунктів, до межі лісу.

Після формування БД всі тематичні шари перетворюються в GRID-растри в напівтоновому кольорованому режимі (Grayscale) з розміром осередку 5 x 5 км для застосування в нейронній мережі [14]. Процес підготовки даних полягає в присвоєнні числових значень всім вище перерахованим параметрам і нормалізації отриманих даних. Вихідні значення ознак (кількісні показники факторів) змінюються в дуже великому діапазоні, і робота нейронних мереж з такими даними може виявитися некоректною. Так, в одному вхідному параметрі можуть міститися значення, що відрізняються один від одного на кілька порядків (наприклад, кут нахилу поверхні і відстань до забудованої території мають різні одиниці і різні інтервали значень). Такий дисбаланс між значеннями ознак може викликати нестійкість роботи моделі, погіршити результати навчання і уповільнити його. Після нормалізації всі значення вхідних ознак будуть приведені до вузького діапазону $[0...1]$, що дозволить моделям працювати з ними більш коректно. В якості інструменту аналізу можна обрати метод зворотного поширення помилки навчання в програмному пакеті Stuttgart Neural Network Simulator (SNNS).

Застосовуючи штучні нейронні мережі для виявлення зсувонебезпечних ділянок, дані зазвичай розподіляють на дві підмножини: навчальні (тренувальні) і тестові. Тренувальні дані повинні містити відомі вихідні значення, в нашому випадку такими є растровий шар зсувів.

Досліджувану територію поділяють на два класи: клас території з існуючими зсувами і клас території без зсувів. За допомогою тренувальних даних проводять навчання нейронної мережі по схемі, зображеній на рис. 8. Кількість прихованих шарів і кількість вузлів в прихованому шарі, необхідні для вирішення завдання класифікації, підбираються досвідченим шляхом. Найкраща класифікація може бути досягнута при тришаровій структурі нейронної мережі, тобто – 8 вхідних, 7 прихованих і 1 вихідний шар.

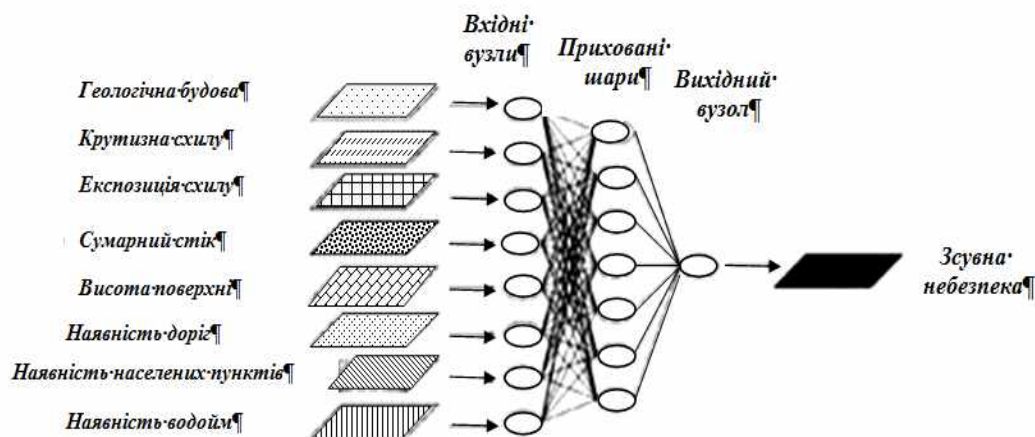


Рис. 8. Структура тренувальної мережі для виявлення зсувонебезпечних територій в програмному пакеті SNNS

Вхідний набір даних, на якому мережа повинна бути навчена, подається на вхідний шар мережі, і мережа функціонуватиме в нормальному режимі (тобто обчислюватиме вихідні дані). Отримані дані порівнюються з відомими вихідними даними (растровий шар зсувів) для розглянутого вхідного набору. Різниця між отриманими і відомими (досвідченими) даними є вектор-помилками. Вектор помилки використовується для модифікування вагових коефіцієнтів вихідного шару з тим, щоб при повторній подачі того ж набору вхідних даних вектор помилки зменшувався. Потім таким же чином модифікуються вагові коефіцієнти прихованого шару, на цей раз порівнюються вихідні сигнали нейронів прихованого шару і вхідні сигнали нейронів вихідного шару. Метою даного порівняння є формування вектора помилки для прихованого шару [14]. Вектор помилки коригується за допомогою коефіцієнта швидкості навчання – параметра нейронної мережі, який дозволяє корегувати вагу на кожній ітерації. В алгоритмі зворотного розповсюдження помилки коефіцієнт швидкості навчання вводиться в діапазоні від 0 до 1. При значенні коефіцієнта, що дорівнює нулю, корегування ваг проводиться не буде. Вибір параметра суперечливий. Великі значення (0,7 – 1) будуть відповідати великому значенню кроку корекції. При цьому алгоритм буде працювати швидше (для пошуку мінімуму функції помилки

потребується менше кроків), однак може знизитися точність налаштування на мінімум, що потенційно збільшить помилку навчання. Малі значення коефіцієнта (0,1 – 0,3) відповідають меншому кроку корекції ваги. Мережа навчається шляхом пред'явлення кожного вхідного набору даних і наступного поширення помилки. Цей цикл повторюється багато разів. На кожному циклі алгоритму зворотного поширення вагові коефіцієнти нейронної мережі модифікуються так, щоб поліпшити рішення одного прикладу. Таким чином, в процесі навчання циклічно вирішуються однокритеріальні завдання оптимізації.

Висновки та напрямки подальших досліджень. При огляді нормативної документації і науково-технічної літератури з вивчення зсувів виявлено, що не існує стандартів, що регламентують якість застосовуваних вихідних матеріалів для цілей регіонального зонування. Більше уваги приділяється локальним методам кількісної оцінки зсувних схилів. З розвитком комп'ютерних технологій робляться спроби з автоматизації виявлення зсувонебезпечних ділянок. Геодезичне забезпечення регіонального зонування територій за ступенем небезпеки проявів зсувних процесів передбачає створення цифрової моделі рельєфу (ЦМР). Обробка ЦМР дозволяє отримати основні морфометричні показники, необхідні для виявлення зсувонебезпечних територій. Оскільки регіональне зонування виконується на великих територіях, важливим у створенні ЦМР є вибір ефективного геодезичного методу збору просторових даних, який забезпечує оперативне автоматизоване отримання картографічної інформації з заданою точністю і необхідним обсягом інформації. Покращити результати, одержані за допомогою нейронних мереж, можливо за рахунок підвищення якості вхідних даних: цифрова модель рельєфу повинна бути створена більш високоточними геодезичними методами, наприклад за результатами повітряного лазерного сканування; для отримання геологічних даних слід використовувати карти крупнішого масштабу або отримувати дані на інженерно-геологічних свердловинах.

Розроблена карта зонування території за ступенем зсувної небезпеки стане допоміжним матеріалом для початку дослідницької роботи з вивчення просторово-часової зміни структури гірничопромислових ландшафтів Кривбасу та, відповідно, передумовою районування ГПЛ на локальному та регіональному рівнях.

Список літератури

1. Кузин А. А. Выделение оползнеопасных территорий на основе методов нейронных сетей [Текст] / А. А. Кузин // Записки Горного института. – 2013. – Т. 204. – С. 46-52.
2. Алешин Ю. Г. Прогнозные оценки в зонах оползневое поражения [Текст] / Ю. Г. Алешин, И. А. Торговев, К. А. Абиров // Сергеевские чтения. – 2010. – № 12. – С. 85-90.
3. Ананьев С. М. Цифрові моделі рельєфу як засоби опису структури земної поверхні [Текст] / С. М. Ананьев, О. О. Мойсєєнко // Геоінформатика. – 2002. – № 2. – С. 44-48.
4. Беспалова Е. Н. Влияние атмосферных осадков на развитие оползневое процесса в Среднем Приднестровье [Текст] / Е. Н. Беспалова // Геол. журнал. – 2003. – № 2. – С. 103-106.
5. Бойко Е. С. Современные методы исследования поверхности земли в инженерно-топографических изысканиях. Тенденции и проблемы развития [Текст] / Е. С. Бойко // Инженерные изыскания. – 2009. – №3. – С. 58-61.
6. Бондарик Г. К. Инженерная геодинамика [Текст] / Г. К. Бондарик, В. В. Пендин, Л. А. Ярг. – М.: КДУ, 2007. – 327 с.
7. Вплив гірничого виробництва на природний ландшафт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://um.co.ua/3/3-7/3-75155.html/>. – 04.02.2021. – Назва з екрану.
8. На шляху до повного вивчення гірничопромислових ландшафтів Кривбасу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://kdpu.edu.ua/pryroda-kryvorizhzhia/fizykoheohrafichnakharakterystyka /landshafty/1345-na-shliakhu-do-povnoho-vyvchennia-hirnychopromyslovyykh-landshaftiv-kryvbasu.html/](http://www/ url: https://kdpu.edu.ua/pryroda-kryvorizhzhia/fizykoheohrafichnakharakterystyka /landshafty/1345-na-shliakhu-do-povnoho-vyvchennia-hirnychopromyslovyykh-landshaftiv-kryvbasu.html/). – 04.02.2021. – Назва з екрану.
9. Пустоты Кривого Рогу. Знову обвал [Електронний ресурс]. – Режим доступу WWW/ URL: <http://kri.com.ua/5683-pustoty-krivogo-roga-snova-obval fotore portazh. html/>. – 04.02.2021. – Назва з екрану.
10. Куликовская О. Е. Совершенствование автоматизированной обработки и интерпретация маркшейдерско-геодезических данных для Криворожского региона / О. Е. Куликовская, В. Д. Сидоренко // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог, 2002. – Вып. 80. – С. 77-82.
11. Куликовская О. Е. Оценка влияния экзогенных процессов на результаты измерений смещений земной поверхности / О. Е. Куликовская, В. Д. Сидоренко, М. П. Сергеева // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог, 2002. – Вып. 81. – С. 70-75.
12. Янчук О. Є. Геодезичний моніторинг техногенно-навантажених територій [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.24.01 / О. Є. Янчук. – Львів: Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2011. – 18 с.
13. Третяк К. Р. Розроблення методики до розрахунку надійності активних моніторингових геодезичних мереж [Текст] / К. Р. Третяк, І. Р. Савчин // Вісник геодезії та картографії. – 2013. – № 1. – С. 5-10.
14. Кузин А. А. Геодезическое обеспечение зонирования территории по степени опасности проявлений оползневых процессов на основе применения ГИС-технологий [Текст] / А. А. Кузин // Записки Горного института. – 2012. – Т. 199. – С. 141-144.

С.І. ЧЕБЕРЯЧКО, д-р техн. наук, проф., Ю.І. ЧЕБЕРЯЧКО,
О.В. ДЕРЮГІН, кандидати техн. наук, доценти, І.М. КНИШ, асп.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
О.В. ПИЩИКОВА, канд. техн. наук, доц.,
Криворізький національний університет

УДОСКОНАЛЕННЯ КЛАПАННИХ СИСТЕМ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ РЕСПІРАТОРІВ

Мета. Удосконалення конструкції клапанних вузлів для фільтрувальних респіраторів з високим ступенем герметичності.

Методи дослідження. У роботі використано метод традиційного принципу 3D моделювання клапану видихання, а для перевірки герметичності було застосовано удосконалений метод випробувань у відповідності до стандарту ДСТУ EN 149:2017 "Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтрувальні півмаски для захисту від аерозолів. Вимоги, випробування, маркування (EN 149:2001+A1:2009, IDT)".

Наукова новизна. Встановлено, що на час спрацювання клапану видихання при зміні перепаду тиску впливає не тільки еластичність та товщина матеріалу з якого виготовлений клапан, але і конструкція його сідловини, за рахунок збільшення площі прилягання клапану до поверхні сідловини.

Практична значимість полягає у розробці удосконалених моделей клапанних вузлів фільтрувальних респіраторів, які характеризуються незначним часом спрацювання при зміні перепаду тиску та коефіцієнтом підсмоктування, запропонована нова конструкція сідловини з додатковим кільцем для підвищення їх герметичності.

Результати. Проведений аналіз сучасних конструкцій клапанних вузлів фільтрувальних респіраторів, дозволив визначити їх основний недолік, який стосується погіршення герметичності при потраплянні бруду на поверхню сідловини, що призводить до збільшення часу спрацювання клапану при зміні перепаду тиску у процесі дихання. Розроблена удосконалена конструкція клапанного вузла фільтрувального респілятора, яка забезпечує високу герметичність навіть при потраплянні бруду на поверхню сідловини, за рахунок збільшення площі прилягання через введення додаткового кільця та виконання країв сідловини клапану скошеними для зменшення накопичення на їх верхні пилових частинок. На підставі даних лабораторних випробувань дослідних зразків встановлено, що перепад тиску таких клапанів не збільшився у порівнянні з існуючими конструкціями, а коефіцієнт підсмоктування складає не більше 0,03 %, що дозволяє забезпечити досить високий коефіцієнт захисту фільтрувальних респіраторів.

Ключові слова: клапанний вузол, респіратор, коефіцієнт підсмоктування, коефіцієнт захисту, герметичність.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-25-30

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Сучасні фільтрувальні засоби індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) складаються з лицевої частини, фільтрувальних коробок з фільтрами, елементів кріплення (наголів'я) та клапанів вдихання і видихання. Один з важливих показників фільтрувальних ЗІЗОД - опір повітряного потоку, який проходить через клапан вдиху/видиху. Від його рівня залежить ефективність захисної дії фільтрувального ЗІЗОД та працездатність користувача, що є визначальним, як для вибору ЗІЗОД для відповідних умов експлуатації, так і оцінки їх захисної ефективності.

Кількість останніх та місце їх розташування задається конструкцією фільтрувального ЗІЗОД з метою забезпечення найкращих захисних та ергономічних показників для користувачів. Однак вказані властивості через недосконалості конструкції клапанних вузлів, які пов'язані з використанням неякісних матеріалів, або незабезпечення герметичності контактуючих елементів клапану можуть призвести до погіршення як ергономічних так і захисних властивостей ЗІЗОД. Тому виготовлення досконалих конструкцій клапанних систем – є досить актуальною задачею, яка дозволить покращити якість захисних властивостей фільтрувальних ЗІЗОД.

Аналіз досліджень і публікацій. Найбільш поширена конструкція клапану вдихання – диск (рис. 1) певної товщини і діаметру, який розміщено у спеціальній сідловині (рис. 2) на спеціальному циліндричному виступі [3]. При чому фіксація клапана відбувається, за рахунок насадження на цей виступ спеціальної насадки, яка одночасно виконує захисну функцію. Основні розміри клапанів кожний виробник ЗІЗОД визначає за своїми стандартами. Однак здебільшого їх товщина коливається у діапазоні від 0,6 мм до 1 мм, а діаметр (D) – від 27 мм до 32 мм [4].

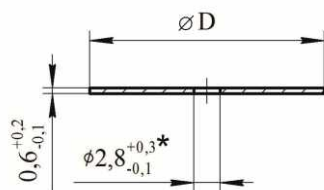


Рис. 1. Конструкція клапану вдихання [4]

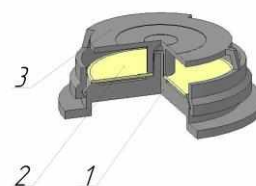


Рис. 2. Сідловина клапану: 1 – сідловина; 2 – клапан вдихання; 3 – захисний екран

Така конструкція КВ за певних обставин (довжини кріпильного виступу, збільшення кріпильного отвору через зношення, деформації диска) може сприяти низькій герметичності самої конструкції, через появу інерційності спрацювання клапану під час процесу вдихання/видихання та утворення додаткових каналів підсмоктування нефільтрованого повітря [5]. Тому одні виробники ЗІЗОД у пошуку вирішення даної задачі для зменшення деформації та інерційності збільшили кількість кріпильних елементів клапану (рис. 3). Інші – дещо змінили конструкцію, виготовляючи клапан у формі «грибка» з однією (рис. 4) або з різною товщиною й площею клапана, що відображається у формі «сходів» (рис. 5) та зберігає еластичність матеріалу і одночасно підвищує жорсткість для зменшення деформації й інерційності спрацювання. Причому, дехто додає по контуру сідловин спеціальний виступ який покращує герметичність [6].



Рис. 3. КВ видиху: 1 – корпус КВ видиху; 2 – сідловина; 3 – клапан [7]

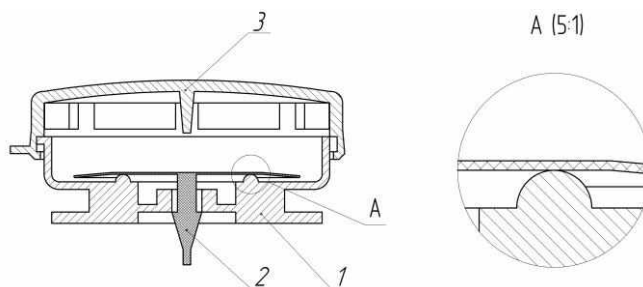


Рис. 4. КВ видиху фільтрувального респіратора "Dräger X-Plore 2100": 1 – сідловина; 2 – клапан; 3 – захисний екран

Деякі виробники фільтрувальних респіраторів зовсім відмовились від дискової форми: змінили на прямокутну. При цьому утримання клапану в монтажному отворі з одного боку домоглись ультразвуковим зварюванням [8] (рис. 6).

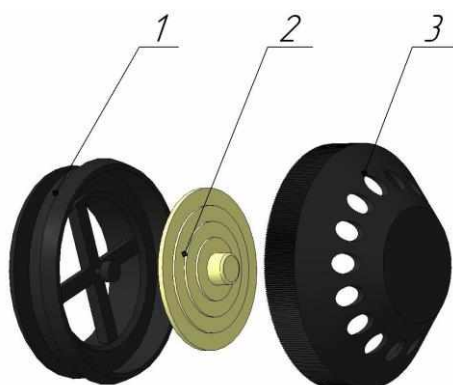


Рис. 5. КВ видиху респіратора "Shieng Bao AN2004B": 1 - сідловина; 2 - клапан; 3 - захисний екран

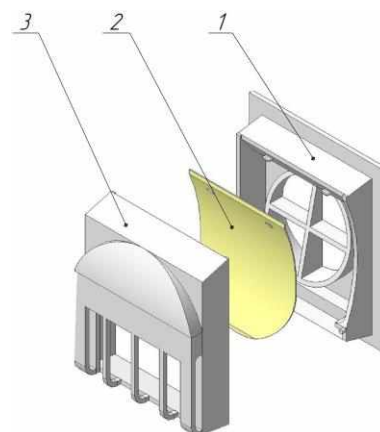


Рис. 6. КВ респіратора 3М 9312 FFP1 "Преміум": 1 – корпус; 2 – клапан видиху; 3 – захисний екран [9]

Постановка задачі – удосконалення конструкції КВ для фільтрувальних респіраторів з високим ступнем герметичності.

Викладення матеріалу та результати. Для розробки конструкції клапану видихання були використане традиційний принцип 3D моделювання, який полягав у творчій розробці ескізу (Sketch modeling), поверхневому проектуванні контурів клапану (Surface modeling) та розробці

кінцевого проекту клапану (Solid modeling). Перевірку герметичності запропонованих конструкцій клапанів проводили за удосконаленим методом випробувань у відповідності до стандарту ДСТУ EN 149:2017 "Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтрувальні півмаски для захисту від аерозолів. Вимоги, випробування, маркування" (EN 149:2001+A1:2009, IDT) [10], який дозволяє визначити коефіцієнт підсмоктування під час їх спрацювання. Схема установки надана на рис. 7 [11]. Основними її елементами є камера з аерозолем NaCl, дихальна машина, аспіратор, фільтр респіратора та вимірювальні пристрої: перепад тиску визначається за електронним мікроманометром "Testo 512", а коефіцієнт підсмоктування - за спектрофотометром "Selmi C-115E".

Для моделювання роботи клапану у відповідності до динамічної перевірки, насадка клапану встановлюється у випробувальній камері та приєднується до циліндричної алюмінієвої труби, що імітує підмаскову порожнину. Остання, в свою чергу, з'єднується з дихальною машиною та з фільтром респіратора. Всмоктування чистого повітря відбувається крізь фільтр, а його викидання – відбувається через клапан у камеру з аерозолем. Саме під час його закривання, коли дихальна машина робить зворотній хід, аерозоль може потрапити до алюмінієвої трубки. Проби аерозолію з камери та алюмінієвої трубки відбираються аспіратором та подаються до спектрофотометра. Значення коефіцієнта підсмоктування аерозолію розраховується за формулою [10]

$$K = \frac{I_2 - I_0}{I_1 - I_0}, \quad (1)$$

де I_2 – показник фотометра після фільтрування; I_1 – показник фотометра до фільтрування; I_0 – фонові показники фотометра.

Концентрацію тест-аерозолію (хлорид натрію) у камері і підмасковому просторі фільтрувального респіратора визначали за допомогою спектрофотометру "Selmi C-115E". У випробувальній камері вона складала 8...10 мг/м³. Розподіл частинок знаходився у межах від 0,02 до 2 мкм при середньомасовому діаметрі близько 0,6 мкм.

Обробку результатів вимірів проводили із застосуванням стандартного пакету програм Microsoft Office Excel 2010. Отримані дані мали нормальний закон розподілу ймовірностей і для їх аналізу використовували, параметричні критерії Стюдента і Фішера. Кількість спостережень за одним показником складала від 15 до 20 значень. Для порівняння середніх величин кількісних показників при нормальному розподіленні признаку використовували t-критерій Стюдента. Достовірним вважали рівень значущості $p < 0,05$ з надійністю 95%.

Враховуючи переваги і недоліки наведених конструкцій КВ була запропонована нова оригінальна конструкція, яка складається із сідловини, захисного екрану та дискового клапану, краї якого виконанні у вигляді усіченого конуса, що покращує захищеність від потрапляння на сідловину під клапан різного бруду, який погіршує герметичність КВ. Клапан фіксується центровим отвором на виступі патрубку та притискується захисним екраном, який забезпечує щільне притискання середини у монтажному отворі (рис. 8). Це дозволить покращити спрацювання клапану у випадку потрапляння бруду, який буде поступово видалятися скочуючись по похилій поверхні.

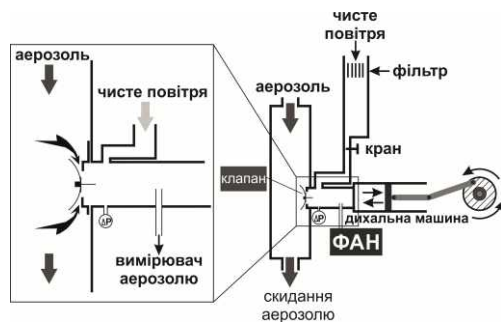


Рис. 7. Схема експериментальної установки для визначення коефіцієнта підсмоктування крізь клапан видиху

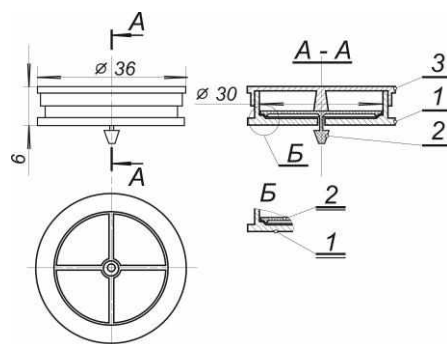


Рис. 8. КВ вдиху: 1 – сідловина; 2 – клапан; 3 – захисний екран

Для більш жорстких умов експлуатації (агресивне середовище, значне навантаження, збільшена вентиляція) пропонується дисковий клапан вдиху складної форми із загнутим краєм під кутом 20° (рис. 9), що покращить герметичність, за рахунок збільшення пружності конструкції і дозволить зменшити час спрацювання під час зміни напрямку руху. КВ включає сідловину, захисний екран, клапан, який фіксується центровим отвором на виступі патрубку та притискується захисним екраном. З'єднання КВ у єдину конструкцію забезпечується за допомогою завальцювання. Крім того, передбачене додаткове кільце на сідловині клапанної системи для зменшення часу спрацювання клапану з одного боку, а з іншого покращити герметичність навіть при забрудненні його сідловини.

Для виготовлення КВ було використано спеціальний матеріал - полівінілхлорид (ПВХ). Він являє собою синтетичний термопластичний полярний полімер Основні фізико-хімічні властивості якого представлені в табл. 1 [12].

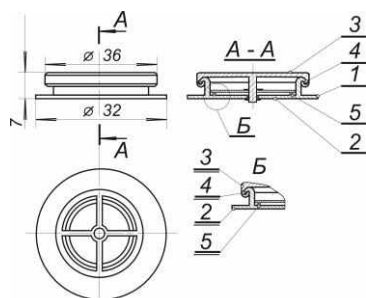


Рис. 9. КВ вдиху: 1 – сідловина; 2 – пелюсток вдиху;
3 – захисний екран; 4 - ущільнювальне кільце;
5 - ущільнювальне кільце

Таблиця 1

Основні фізико-хімічні властивості ПВХ [12]

Молекулярна маса, а.о.м.	40000-145000
Температура спалаху, $^{\circ}\text{C}$	624
Температура розкладання, $^{\circ}\text{C}$	100-140
Температура скловання, $^{\circ}\text{C}$	70-80
Щільність, г/см^3	1,34-1,34
Насипна щільність, г/см^3	0,4-0,7

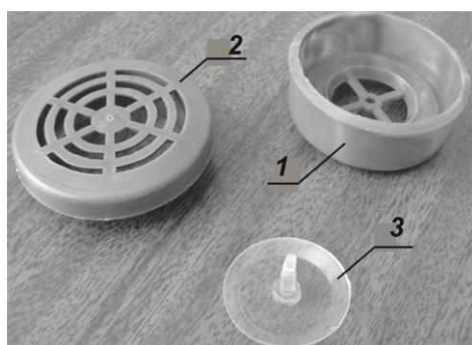


Рис. 10. КВ до респіраторів

Вигляд виготовлених клапанів наведено на рис. 10.

Результати випробувань клапану видихання стосовно зміни перепаду тиску при витраті повітря $30 \text{ дм}^3/\text{хв.}$ під час імітації процесу вдихання – видихання наведено на рис. 11. На рис. 12 показано зміну коефіцієнта підсмоктування тест-аерозолі під час спрацювання клапану під час зміни перепаду тиску у підмасковому просторі фільтрувального респіратора.

Результати дослідження показали, що найбільше значення підсмоктування нефільтрованого повітря фіксувалось саме тоді, коли клапан закривався, під дією розрідження, яке створюється зворотнім ходом дихальної машини. Зрозуміло, що швидше клапан реагує на

зміну перепаду тиску, тим менше потрапляє аерозолі в підклапаний простір. Проведенні дослідження показують, що на швидкість спрацювання клапану впливає як товщина клапану (рис. 13), так і конструкція сідловини. Так герметичність клапану з додатковим кільцем на сідловині (рис. 9), значно краща у порівнянні з іншою конструкцією (рис. 14).

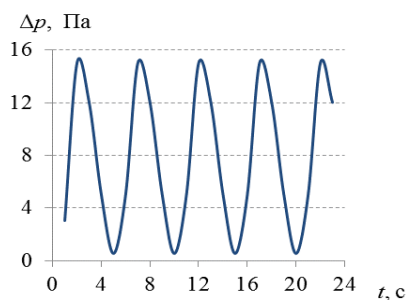


Рис. 11. Зміна в часі (t) перепаду тиску (Δp) на клапані видиху

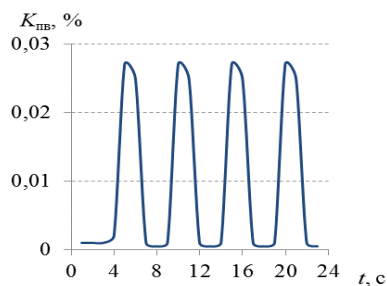


Рис. 12. Зміна в часі (t) коефіцієнта підсмоктування ($K_{пв}$) на клапані вдиху

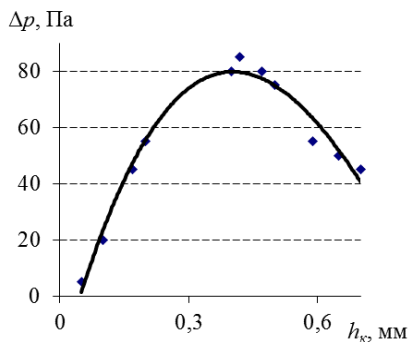


Рис. 13. Залежність вакуум-метричного тиску (Δp) під дисковим клапаном від його товщини (h_k)

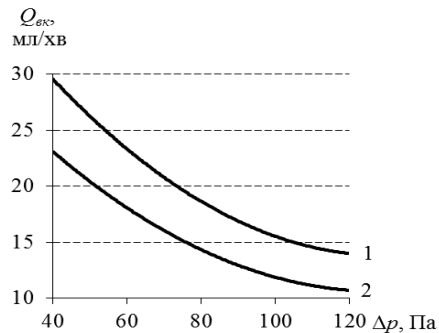


Рис. 14. Залежність величини підсмоктування повітря (Q_{vk}) через клапан видиху від вакууметричного тиску (Δp): 1 - тип 1; 2 - тип 2

На підставі аналізу даних наведених у обзорі існуючих конструкцій клапанних систем до фільтрувального респірація, показано, що вузли КВ вдиху і видиху є найважливішими конструктивними елементами ЗІЗОД, від якості яких залежать їх експлуатаційні властивості - захисна ефективність та показники ергономічності і надійності фільтрувальних респіраторів. Саме від часу спрацювання клапану видихання залежить коефіцієнт підсмоктування півмаски і коефіцієнт захисту фільтрувального респірація в цілому. Як видно з проведених досліджень на основний параметр КВ – герметичність впливає не тільки їх товщина, еластичність, жорсткість самого матеріалу, що доведено різними проведеними дослідженнями [13-15], а й безпосередньо конструкція сідловини. В даному випадку поява додаткового ущільнювального кільця дозволило зменшити підсмоктування повітря через клапан, через збільшення площі прилягання клапану. Це дозволяє говорити про досить значну практичність даної конструкції КВ, особливо при роботі у значному запиленні, коли під клапан може потрапляти різний бруд, чим погіршити герметичність прилягання контактуючих елементів. Втім, проведені дослідження не розкривають низку питань стосовно впливу розміру самого КВ, особливостей його закріплення на сідловині, що планується розглянути у подальших дослідженнях.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Проведений аналіз сучасних конструкцій КВ, дозволив визначити їх основний недолік, який стосується погіршення герметичності при потраплянні бруду на сідловині, що призводить до збільшення і часу спрацювання клапану при зміні перепаду тиску у процесі дихання працівника. Розроблена удосконалена конструкція КВ, яка забезпечує високу герметичність навіть при потраплянні бруду на сідловину, за рахунок збільшення площі прилягання через введення додаткового кільця та виконання країв сідловини клапану скошеними для зменшення накопичення на них пилових частинок.

На підставі даних лабораторних випробувань дослідних зразків КВ встановлено, що перепад тиску таких клапанів не збільшився у порівнянні з існуючими системами, а коефіцієнт підсмоктування складає не більше 0,03 %, що дозволяє забезпечити досить високий коефіцієнт захисту фільтрувальних респіраторів.

Практична цінність роботи полягає в тому, що запропоновано ефективна конструкція КВ фільтрувальних респіраторів, які характеризується незначним часом спрацювання при зміні перепаду тиску та коефіцієнтом підсмоктування.

Перспективою подальших розробок є створення нових ефективних конструкцій ЗІЗОД, які спрямовані на захист фізіологічного стану здоров'я працівників під час виконання виробничої діяльності.

Список літератури

1. Путовой, Н.В., Федосеева, Г.Б. Руководство по пульмонологии. Л.: Медицина, 1984. 456 с.
2. Басманов, П.И., Каминский, С.Л., Коробейник, А.В., Трубицына, М.Е. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. СПб, ГИИП Искусство России, 2002. 400 с.
3. Каминский, С.Л. Методика оценки вредного пространства противопылевых респираторов. Сб. науч. работ ин-тов охр. труда ВЦСПС. М.: Профиздат, 1965. №1(33). С. 69-73.
4. Патент 2171124 РФ, МПК А62В23/02, А62В19/02. Фильтрующий портативный самоспасатель. / Афанасьева Т.С.; Волосевич Б.А.; Дворецкий Г.В.; Димкович Н.Т.; Каменер Е.А.; Кравченко А.З.; Мартынов О.П.; Рабатуев

- Г.А.; Чебыкин В.В; заявитель ГУП "Электростальское научно-производственное объединение "Неорганика"" – № 2000117608/12; заявл. 03.07.2000; опубл. 27.07.2001; Бюл. № 19.
5. Yu-Mei, K., Chane-Yu, L., Chih-Chieh, C., Bo-Hong, L., Sheng-Hsiu, H., Chun-Wan, C. Evaluation of exhalation valves. The Annals of occupational hygiene, 2005, 49(7), 563-568.
6. Burton, D.A., Stokes, K., M Hall, G. Physiological effects of exercise. Continuing Education in Anaesthesia, Critical Care & Pain, 2004, 4(6), 185-188.
7. Chen, F.-L., Horng, T.-L., Shih, T.-C. Simulation analysis of airflow alteration in the trachea following the vascular ring surgery based on CT images using the computational fluid dynamics method. Journal of X-Ray Science and Technology, 2014, 22(2), 213-225.
8. Mellor, D.J., Beausoleil, N.J. Equine Welfare during Exercise: An Evaluation of Breathing, Breathlessness and Bridles. Animals, 2017, 7(6), 41.
9. Патент 2515535 РФ, МПК а62b9/02, Однонаправленные клапаны и фильтрующие лицевые маски, содержащие однонаправленные клапаны. / Ксюэ Т.Дж. (US), Домроезе М.К. (US), Мартин Ф.Г. (US), Абел Н.А. (US); заявитель ЗМ ИННОВЕЙТИВ ПРОПЕРТИЗ КОМПАНИ (US) – № 2012117971/12; заявл. 06.12.2010; опубл. 27.01.2014; Бюл. №3
10. ДСТУ EN 149:2017 Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтрувальні півмаски для захисту від аерозолів. Вимоги, випробування, маркування (EN 149:2001+A1:2009, IDT). Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=75012.
11. US OSHA Standard 29 CFR 1910.134 "Respiratory Protection", Режим доступу: <https://www.osha.gov/laws-regs/standardinterpretations/1994-05-25>.
12. Клинов, И.Я., Левин, А.Н. Пластмассы в химическом машиностроении. М.: ГНТИМашлит, 1963. С. 104-113.
13. Каминский, С.Л. Спироэргометические исследования влияния на человека внешнего сопротивления дыханию. Сб. науч. работ ин-тов охр. труда ВЦСПС. М.: Профиздат. 1974. №92. С. 44-48.
14. Brosseau, L.M. Aerosol penetration behavior of respirator valves. American Industrial Hygiene Association journal, 1998, 59, 173-180.
15. Campbell, D.L., Alender, J.R., Myers, W.R. Respirator performance as a function of inhalation valve efficacy. Journal of the International Society for Respiratory Protection, 1990, 8(1), 26-32

УДК 622:271

М.М. ПИЖИК, А.М. ПИЖИК, кандидати техн.наук, доценти,
І.О. ПАШКОВА, асист., Криворізький національний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ГІРНИЧИХ РОБІТ, ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ГРАНИЦЬ КАР'ЄРУ З УРАХУВАННЯМ ЇХ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ

Мета. Метою даної роботи є дослідження та розробка нового критерію з обґрунтування та вибору оптимального варіанту режиму гірничих робіт в умовах залізрудних кар'єрів при експлуатації та комплексній розробці родовищ корисних копалин, удосконалення методики оптимізації головних параметрів кар'єрів, їх граничних контурів, режиму гірничих робіт та виробничої потужності з корисних копалин та розкривних порід.

Методи дослідження. В роботі використані наступні методи досліджень: аналіз літературних джерел з проектування головних параметрів кар'єрів, графо-аналітичні методи з визначення варіантів розробки та методи лінійного програмування (метод гілок та меж).

Наукова новизна. Розроблено новий критерій оцінки режиму гірничих робіт, який дозволяє при оптимізації головних параметрів кар'єрів враховувати їх взаємозв'язок. Останнє суттєво змінює алгоритм визначення головних параметрів кар'єрів: відповідно контурів черги розробки за об'ємами промислових запасів та попиту на корисну копалину визначається продуктивність кар'єру за економічними умовами, після чого обирається режим гірничих робіт, який у максимальному ступені забезпечує динаміку відповідних сортів руд та розкривних порід.

Практична значимість. Отримані наукові результати обумовлені удосконаленням методики проектування режиму гірничих робіт та продуктивності кар'єрів при їх оптимізації. Запропонований новий критерій оптимізації границь кар'єру, режиму гірничих робіт та його виробничої потужності з технологічних сортів корисної копалини та розкривних порід може бути рекомендованим до включення проектними організаціями до нормативно-правових документів з проектування гірничо-видобувних підприємств з відкритим способом розробки.

Результати. На підставі виконаного аналізу сучасних розрахункових принципів та методів визначення головних параметрів кар'єру розроблено новий критерій оцінки варіантів розробки та змінено порядок визначення головних параметрів кар'єрів при їх проектуванні. Висока якість проектування головних параметрів кар'єрів за умов використання запропонованої методики їх визначення та високої культури ведення гірничих робіт дозволить суттєво підвищити збіжність результатів, що позитивним чином вплине на техніко-економічні показники гірничого виробництва.

Ключові слова: відкриті гірничі роботи, режим гірничих робіт, границі кар'єру, продуктивність, собівартість, витрати.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-30-33

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Робота сучасних гірничо-видобувних підприємств в умовах жорсткої конкуренції потребує удосконалення існуючих та розробки нових критеріїв оцінки та методів визначення головних параметрів кар'єрів: режиму гірничих робіт, виробничої потужності з технологічних сортів руд та розкривних порід та границь кар'єрів при спеціалізованій та комплексній розробці залізородних родовищ.

Аналіз досліджень і публікацій. Як показав аналіз досліджених публікацій з визначення головних параметрів кар'єрів наукових шкіл акад. Ржевського В.В., професорів Хохрякова В.С., Блізнюкова В.Г. та ін., існуючі методи оптимізації гірничих робіт, продуктивності кар'єрів недосконалі та не відображають в повній мірі взаємозв'язок між режимом гірничих робіт та продуктивністю кар'єру.

Постановка задачі. Основною задачею даних досліджень є обґрунтування та розробка нового критерію оцінки варіантів режимів гірничих робіт в умовах залізородних кар'єрів при експлуатації та комплексній розробці родовищ корисних копалин, удосконалення методики оптимізації головних параметрів кар'єрів, їх граничних контурів, режиму гірничих робіт та виробничої потужності з корисних копалин та розкривних порід.

Викладення матеріалу та результати. В теорії та практиці проектування головних параметрів кар'єрів алгоритм визначення кожного з них прийнятий наступний: за методом варіантів намічається орієнтовна глибина кар'єру, для якої встановлюються його контури та величина промислових запасів корисної копалини. У встановлених контурах визначається варіант режиму гірничих робіт, при якому досягається оптимальна динаміка співвідношення обсягів виймання розкривних порід та корисної копалини під час поглиблення дна кар'єру. Надалі за результатами графо-аналітичних показників режиму гірничих робіт визначається продуктивність кар'єру з корисної копалини за гірничо-технологічними умовами (максимальною інтенсивністю гірничих робіт та транспортними умовами).

Наступний крок - перевірка того, що в заданих границях кар'єру впродовж всього періоду його експлуатації відкритий спосіб розробки буде економічно доцільним. В основу цього твердження покладений розрахунковий принцип проф. О.І. Арсентьєва $n_{zp} \geq n_0 + n_{kk}^{max}$, згідно з яким сума початкового та максимального з усіх періодів усереднення експлуатаційного коефіцієнтів розкриття буде меншою або дорівнювати значенню граничного коефіцієнту розкриття.

Даний розрахунковий принцип дозволяє враховувати взаємозв'язок лише двох головних параметрів кар'єру при оптимізації границь та режиму відкритих гірничих робіт. Перший кількісно визначається значенням граничного коефіцієнта розкриття, другий – значенням початкового та експлуатаційного коефіцієнта розкриття.

Що стосується виробничої потужності кар'єру з видобування корисної копалини в даному розрахунковому принципі кількісна оцінка відсутня. Оптимізація режиму гірничих робіт здійснюється за критерієм мінімального поточного співвідношення розкривних порід та корисної копалини. Такий підхід до планування гірничих робіт дозволяє обрати режим видобування розкривних порід, що за економічними умовами є доцільним. Разом з тим, якою буде динаміка виймання корисної копалини відносно рівня проектної продуктивності переробних підприємств чи річних обсягів споживання невідомо. Рівень продуктивності кар'єру з корисної копалини в даному разі буде визначатися як постфактум за показниками обраного раніше режиму гірничих робіт.

Пропонується з метою кількісної оцінки взаємозв'язку всіх трьох головних параметрів кар'єру при їх оптимізації змінити підхід до порядку їх визначення та розробити новий критерій оцінки режиму гірничих робіт, в якому була б можливість врахувати заданий за економічними умовами рівень продуктивності кар'єру та її вплив на режим гірничих робіт та границі кар'єру.

Алгоритм визначення продуктивності та режиму гірничих робіт кар'єру пропонується такий:

визначення раціональної продуктивності кар'єру з технологічних сортів руд та розкривних порід за економічними умовами;

відповідно до рівня встановленої продуктивності з корисної копалини планувати режим гірничих робіт за принципом мінімального поточного відхилення фактичних приведених витрат на розробку від їх планових показників.

Відповідно до цього розрахункового принципу був розроблений критерій оцінки режиму гірничих робіт, який має наступний вигляд

$$\Delta Z_t = \sum_{i=1}^n (Z_{\phi_{it}} - Z_{n_{lit}}) + \sum_{k=t+1}^T \sum_{i=1}^n (Z_{\phi_{ik}} - Z_{n_{lik}}) \rightarrow \min ,$$

де $Z_{\phi_{it}}$, $Z_{n_{lit}}$ – відповідно фактичні та планові приведені витрати на виробництво товарної продукції i -го виду на t -му кроці планування, грн.; $Z_{\phi_{ik}}$, $Z_{n_{lik}}$ – відповідно фактичні та планові приведені витрати на виробництво товарної продукції i -го виду за всіма наступними k -ми кроками планування, грн; T – тривалість періоду планування, роки; n – кількість технологічних сортів корисної копалини та розкривних порід.

При цьому за планові приймаються витрати, які відповідають режиму гірничих робіт з поточними об'ємами видобування технологічних сортів корисної копалини (P_i) в обсягах, рівних їх раціональних обсягам споживання (P_{cn_i}). Планові витрати визначаються за формулою, грн

$$Z_{n_{li}} = P_i \cdot C_{B_i} + P_{cn_i} \cdot (C_{nep_i} + \gamma_i \cdot C_{T_i} \cdot l_{T_i}),$$

де C_{B_i} – собівартість видобування корисної копалини i -го виду, грн.; P_{cn_i} – обсяги споживання корисної копалини i -го виду; C_{nep_i} – собівартість переробки корисної копалини i -го виду, грн.; γ_i – вихід товарної продукції i -го виду, частка одиниць; C_{T_i} , l_{T_i} – відповідно собівартість та відстань транспортування товарної продукції i -го виду до її споживача, грн./т, км.

Відносно планових, фактичні витрати будуть складати:

при $P_i \leq P_{cn_i}$, грн

$$Z_{\phi} = P_{cn_i} \cdot (C_{B_i} + C_{nep_i} + \gamma_i \cdot C_{T_i} \cdot l_{T_i}) + (P_i - P_{cn_i}) \cdot (C_{B_i} - B),$$

де B – собівартість виробництва розкривних робіт, грн.;

при $P_i > P_{cn_i}$, грн

$$Z_{\phi} = P_{cn_i} \cdot C_{B_i} + \Delta P_{oi} \cdot C_{p_i} + (P_i + \Delta P_{oi}) \cdot (C_{nep_i} + \gamma_i \cdot C_{T_i} \cdot l_{T_i}),$$

де $\Delta P_{oi} = P_{cn_i} - P_i$ – компенсація недостатніх до планових обсягів корисної копалини i -го виду з технологічного складу, т; C_{p_i} – собівартість видобування корисної копалини i -го виду з технологічного складу, грн./т;

при $P_i + \Delta P_{oi} > P_{cn_i}$, грн

$$Z_{\phi} = P_{cn_i} \cdot C_{B_i} + (P_i + \Delta P_{oi}) \cdot (C_{nep_i} + \gamma_i \cdot C_{T_i} \cdot l_{T_i}) + \Delta P_{oi} \cdot C_{p_i} + \Delta P'_{oi} \cdot (C'_i + C'_{nep_i} + \gamma'_i \cdot C'_{T_i} \cdot l'_{T_i}),$$

де $\Delta P'_{oi} = P_{cn.m} - (P_i + \Delta P_{oi})$ – компенсація недостатніх обсягів корисної копалини i -го виду з спеціалізованих кар'єрів, т;

при $P_i + \Delta P_{oi} = 0$, грн

$$Z_{\phi} = \Delta P'_{oi} \cdot (C'_{B_i} + C'_{nep_i} + \gamma'_i \cdot C'_{T_i} \cdot l'_{T_i}).$$

Висновки та напрямок подальших досліджень. Проведені дослідження дозволяють сформулювати основний алгоритм з визначення оптимальних параметрів кар'єрів з урахуванням їх взаємозв'язку:

за вихідною геологічною інформацією намічається орієнтовне положення дна кар'єру, відносно якого відбудовується його контури;

за об'ємами промислових запасів корисних копалин та розкривних порід визначається продуктивність кар'єру за економічними умовами;

обирається за пропонованим критерієм режим гірничих робіт, який в максимальній мірі буде наближений до продуктивності кар'єру з кожного з видів корисних копалин, визначених за економічними умовами;

відповідно до динаміки коливань об'ємів технологічних сортів руд та розкривних порід визначається рівень максимально можливої стійкої продуктивності кар'єру з кожного виду корисної копалини;

за методом О.І. Арсентьєва визначається доцільність відкритого способу розробки. При позитивному результаті перевірки умов розрахункового принципу намічається контур кар'єру другого етапу, для умов якого всі графо-аналітичні роботи повторюються.

Список літератури

1. **Пижик М. М.** Сучасні підходи до визначення оптимальних проектних рішень при комплексному освоєнні родовищ корисних копалин із застосуванням критерію максимуму прибутку в умовах ринкової економіки / М. М. Пижик, В. В. Терещенко, Ю. І. Григор'єв // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2014. – Вип. 37. – С. 273–276.
2. **Норми технологічного проектування** гірничовидобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. - К.: Мінпромполітики, 2007.
3. Открытые горные работы. Справочник. - М.: Горное бюро, 1994.
4. **Ю.И. Анистратов.** Технологические процессы открытых горных работ - М.: Недра, 1995.
5. **Ю.И. Анистратов.** Проектирование карьеров - М.: МГИ, 1983.
6. **А.И. Арсентьев.** Определение производительности и границ карьеров. - М.: Госгортехиздат, 1961.
7. **А.И. Арсентьев, Г.А. Холодников.** Проектирование горных работ при открытой разработке месторождений. - М.: Недра, 1994.
8. **Астахов А.С.** Динамические методы оценки эффективности горного производства. - М. Недра, 1973.
9. Теория и практика открытых разработок. Под ред. Н.В Мельникова. - М.: Недра, 1973.
10. **Хохряков В.С.** Автоматизированное проектирование карьеров. - М.: Недра, 1985.

УДК 004.451.25:[622.788:621.867]

Л.І. ЄФІМЕНКО, М.П. ТИХАНСЬКИЙ, кандидати техн. наук, доценти,
А.М. ТИХАНСЬКА, асист., Криворізький національний університет

НЕЧІТКЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПІДГОТОВКИ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ШИХТИ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА

Мета. Головною метою цієї роботи є вирішення актуального завдання підвищення ефективності процесу шихтування і покращення якості продуктів збагачення за рахунок автоматизації процесу шихтування шляхом побудови автоматизованої системи керування з використанням засобів нечіткої логіки.

Методи дослідження. Для вирішення цього завдання використані методи математичного моделювання для аналізу якості перехідних процесів і швидкодії розробленої системи управління процесом підготовки агломераційної шихти з моделями нечіткої логіки, теорії ідентифікації систем для вибору і обґрунтування структури математичної моделі об'єкта керування. А також методи розроблені в теорії автоматичного керування, механіці, методи обробки випадкових процесів і математичної статистики, а також, аналіз літературних і патентних джерел, наукове узагальнення раніше виконаних досліджень.

Наукова новизна. Пропонується автоматичне керування підготовкою агломераційної шихти за рахунок зміни швидкості руху конвеєрних живильників та за рахунок врахування параметрів які постійно змінюються, що проявляється у вигляді контрольованих і неконтрольованих збурень і перешкод різного походження, а саме хімічного складу матеріалів, вологості, крупності тощо.

При цьому керування відбувається за рахунок використання нечіткого регулятора, налаштування сучасних мікропроцесорних приладів, які автоматично розраховують коефіцієнти настройки регуляторів в залежності від збурюючих факторів. Таким чином, з'явилася можливість раціонального управління режимом підготовки агломераційної шихти з використанням нечіткого регулятора.

Практична значимість. Керування підготовкою агломераційної шихти за рахунок зміни швидкості стрічкового конвеєра з урахуванням параметрів, які постійно змінюються, що проявляється у вигляді контрольованих і неконтрольованих збурень і перешкод різного походження, а саме якості складових компонентів агломераційної шихти.

Авторами запропонована автоматизована система з використанням нечіткого регулятора, що покращує якість перебігу процесу підготовки шихти до спікання.

Результати. Автоматичне управління конвеєрними установками для підготовки агломераційної шихти до спікання з використанням засобів нечіткої логіки дозволяє враховувати збурюючі впливи зумовлені вимірюваними та невимірюваними збуреннями та підтримувати показники якості управління в заданих межах.

Ключові слова: автоматизація, керування, агломерація, агломераційна шихта, стрічковий конвеєр, нечітка логіка, нечіткий регулятор.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-33-41

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Широке впровадження систем автоматизації у агломераційному виробництві пов'язано зі зростанням виробництва агломерату, та підвищенням вимог до його якості. Важливе значення мають такі операції, як підготовка, дозування та завантаження шихти у приймальні бункери агломашин, а також дозування окремих компонентів, змішування, зволоження і огрудкування. Рівномірне заповнення приймальних бункерів спікального відділення шихтою забезпечує підтримку висоти шару шихти на аглострічці кожної агломашини.

Виконання заданих вимог до якості агломерату можливо тільки при автоматизації керування параметрами технологічного процесу всього агломераційного комплексу, а також залежить від якості агломераційної шихти. Огляд та аналіз існуючих засобів автоматизації показав, що існуючі системи враховують не усі збурюючі фактори, які важливі для конкретного підприємства. Тому в роботі розглянуто впровадження засобів нечіткої логіки при розробці систем керування, що при формуванні керуючої дії враховує перешкоди, які заважають процесу керування.

Таким чином якісна підготовка шихти є одним з найважливіших етапів виробничого процесу.

В стратегії покращення ефективності агломераційного виробництва важливе місце займає стабільність хімічного складу шихти, що забезпечується впровадженням автоматичних систем підготовки, дозування та завантаження шихти у приймальні бункери з використанням засобів нечіткої логіки, тому питання модернізації процесу підготовки шихти є актуальним.

Аналіз досліджень та публікацій. Питаннями автоматизації процесів агломерації займається цілий ряд вітчизняних та закордонних вчених [1-6]. Вони розглядають окремі підсистеми загальної системи керування, стандартне обладнання автоматизації та модернізують існуючі системи. Розглянемо ряд відомих досліджень з питань автоматизації огрудкування агломераційної шихти, сучасних методів аналізу для визначення елементного складу аглошихти та вдосконалення конструкції системи завантаження шихти.

В роботі [7] розроблено автоматизовану систему управління огрудкуванням агломераційної шихти, а також досліджено ефективність запропонованої системи за допомогою моделювання процесів у середовищі Matlab/Simulink.

Принцип роботи запропонованої АСУ (автоматизована система управління), базується на алгоритмі формування структури шихти, що завантажувється на агломераційну стрічку, який розроблено на основі запропонованих моделей [8].

Згідно розроблених в роботі моделей, виконується прогноз фрикційного складу шихти на виході огрудковувача, а після цього – на виході проміжного бункера і на агломераційній стрічці.

За допомогою розробленої в роботі [7] моделі було проведено імітаційне моделювання процесу огрудкування для умов аглофабрики ВАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь»» при відсутності АСУ, що пропонується і з її застосуванням. За результатами моделювання розроблена система дозволяє знизити різницю між ідеальним гранулометричним складом і гранулометричним складом огрудкованої шихти на 24,5%, при цьому знижено дисперсію даної величини на 68,5%.

Проте, запропонована система не є адаптивною, тобто її структура розроблена під функціонування в умовах конкретної аглофабрики, що ставить під сумнів її переваги для інших об'єктів.

На аглофабриці компанії ThyssenKrupp у м. Дуйсбург (Німеччина) впроваджена система «СВ Omni» на основі методу гамма-нейтронно-активаційного аналізу (PGNAA) для визначення елементного складу аглошихти. Даний метод аналізу має технічно прогресивний потенціал для оптимізації процесу агломерації за трьома параметрами одночасно [9].

Результати 4-річної експлуатації показали, що можливо визначати склад аглошихти в потоці з точністю порівняною з лабораторними даними. На основі даних, отриманих за допомогою аналізатора в режимі реального часу відбувається коригування дозування вапняку.

На практиці виконання таких вимог вимагає досить частого відбору проб для хімічного аналізу компонентів, що доволі складно при дозуванні багатокomпонентної шихти. Однак, даний спосіб передбачає індивідуальне коригування, але не забезпечує досить високої якості і точності стабілізації основності агломерату.

У роботі [10] пропонується нова конструкція складового завантажувального лотка. Це є вдосконаленням конструкції системи завантаження шихти і сприятиме підвищенню ефективності агломераційних машин та якості агломерату.

Запропонований завантажувальний лоток пройшов випробування на ВАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь»», встановлений і успішно експлуатується на п'яти з шести агломераційних машин аглофабрики даного підприємства.

Ефективність методу [11] відносно нещодавно була підтверджена для умов аглофабрики ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Підпресуванню піддавалася шихта, взята перед подачею в огрудкуючий барабан. Незважаючи на істотне руйнування пресовок в ході подальшої обробки, тривалість спікання такої шихти зменшилася в порівнянні з ординарною шихтою в 1,84 рази при збільшенні товщини шару на 13%, а вихід фракції агломерату менше 5 мм знизився на 7,9% [12]. Недоліком такого способу є обробка підпресуванням всієї шихти, що веде до значних капітальних витрат на реалізацію даного способу.

На маріупольському заводі «Азовсталь» і на НКГОК впроваджена САК (система автоматичного керування) дозуванням шихти, що розроблена лабораторією автоматизації агломераційного виробництва Інституту автоматики [13]. Система забезпечує безперервний потік шихти, при цьому вимагається здійснення автоматичного повернення та автоматизація систем розподілу агломераційної шихти по машинам, без чого автоматичне керування дозуванням є малоефективним.

Постановка задачі. Аналіз існуючих систем процесу агломерації в Україні та за кордоном показав, що процес достатньо автоматизований, однак, існуючі системи управління мають суттєві недоліки, що не дозволяє забезпечити сталість високої якості вихідного продукту. Пов'язано це з тим, що збурення, в основному, відносяться до якісних характеристик компонентів шихти, які прямо не вимірюються.

Застосування засобів нечіткої логіки в розробці систем керування дозволяє виділити істотні переваги цього підходу та застосувати досвід операторів і технологів для управління процесами. Це дозволяє систематизувати емпіричні знання і застосувати їх для управління процесами в разі труднощів із використанням класичних методів управління. Методи нечіткої логіки не замінюють традиційні підходи до створення систем управління, а навпаки, доповнюють їх.

Проведений аналіз застосування нечіткої логіки в системах керування показав, що її використання доцільно в системах підготовки агломераційної шихти. Тому дослідження питання автоматизації підготовки агломераційної шихти з використанням нечіткого регулятора є актуальним завданням.

Для вирішення цього завдання необхідно обґрунтувати вибір та обрати тип регулятора, який забезпечить оптимальні показники якості агломерату, виконати модернізацію існуючої системи підготовки агломераційної шихти за рахунок використання обраного регулятора, що дозволить підвищити якість агломераційної шихти і, відповідно, готового продукту.

Викладення матеріалу та результати. Агломераційний процес можна поділити на такі операції (ділянки): поточно-транспортні операції; вагове дозування компонентів шихти; зволоження і огрудкування шихти; завантаження шихти на аглострічку; запалювання шихти; спікання шихти. Відповідно до цих ділянок будуються локальні системи автоматичного регулювання та керування.

Основним завданням ділянки транспортування і завантаження шихтових матеріалів є безперебійне постачання відділення спікання шихтою в кількості, що дорівнює споживанню її агломашинами.

У зв'язку з технологічними особливостями процесу транспортування, а також впливів збурюючих факторів, відбуваються коливання величини потоку матеріалу, що надходить на стрічку конвеєра. Тому необхідно виконувати регулювання ваги матеріалу, який завантажують

на конвеєр, а далі у бункер на заданому (необхідному) рівні. Цього можна досягти регулюванням продуктивності (швидкості) стрічкового конвеєра. Контроль і зворотний зв'язок по продуктивності здійснюється за допомогою конвеєрних ваг, розташованих на деякій відстані від місця завантаження.

Виконаємо математичний опис системи підготовки агломераційної шихти, а саме керування швидкістю конвеєра.

Структурна схема САУ швидкістю конвеєра представлена на рис.1. Розрахункова передаточна функція об'єкта регулювання має такий вигляд

$$W_{OP}(p) = W_{зк}(p) \cdot W_{мех}(p) \cdot W_{ваз}(p),$$

де $W_{зк}(p)$ – передаточна функція замкнутого контуру швидкості; $W_{мех}(p)$ – передаточна функція конвеєра; $W_{ваз}(p)$ – передаточна функція конвеєрних ваг.

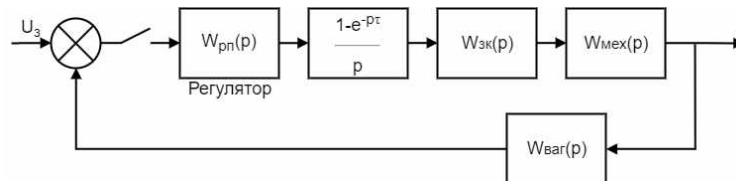


Рис. 1. Структурна схема САУ швидкістю конвеєра

Передаточні функції елементів системи мають вигляд

$$W_{зк}(p) = k_{зк} / (T_c p + 1);$$

$$W_{мех}(p) = k_{мех} \cdot e^{-p \cdot \tau_{мех}};$$

$$W_{ваз}(p) = k_{ваз} / (T_{ваз} \cdot p + 1).$$

Для того, щоб проаналізувати системи керування завантаженням аглошихти у бункери виконаємо розрахунок і аналіз системи керування завантаженням аглошихти з ПІД - регулятором та з застосуванням засобів нечіткої логіки, а саме, з нейрорегулятором.

Проведемо аналіз динамічних режимів САУ з ПІД - регулятором продуктивності (рис.2). Моделювання виконується відповідно до структурної схеми, наведеної на рис.1.

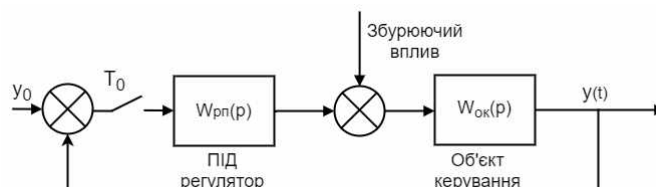


Рис. 2. Структурна схема САК з використанням ПІД-регулятора

Передавальна функція об'єкта, а саме конвеєра, що завантажує бункери відповідними складовими агломераційної шихти, має вигляд

$$W_{ок}(p) = \frac{1 - e^{-p\tau}}{p} \cdot W_{зк}(p) \cdot W_{мех}(p) \cdot W_{ваз}(p).$$

Передавальна функція ПІД - регулятора має вигляд

$$W_p(z) = k_p \cdot \left[1 + \frac{T(1 + z^{-1})}{2T_i(1 - z^{-1})} + \frac{T_d(1 - z^{-1})}{T} \right].$$

Розглянемо динамічні процеси в об'єкті регулювання із застосуванням ПІД-регулятора. Для оптимізації протікання перехідного процесу (ПП) в систему необхідно ввести регулятор. Структурна схема системи з ПІД-регулятором, побудована в Simulink, представлена на рис.3.

Процедура налаштування ПІД-регулятора починається з експериментального дослідження системи, що складається з визначення коефіцієнта передачі. Для чого коефіцієнт передачі регулятора збільшується до тих пір, поки на виході системи не встановляться коливання з постійною амплітудою коливань, тобто система не опиниться на межі стійкості. Такий коефіцієнт, фіксується та позначається через $K_{кр}$, при якому система знаходиться на межі стійкості. Вимірюється період $T_{кр}$ встановлених у системі коливань.

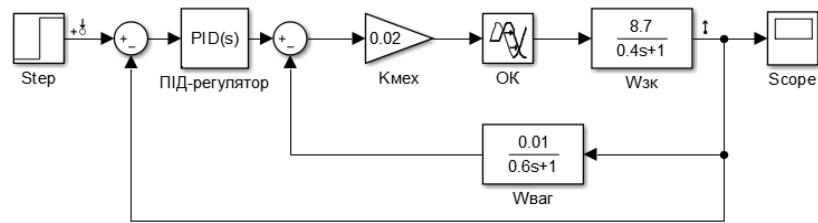


Рис. 3. Simulink-модель САУ регулювання швидкості конвеєра із застосуванням ПІД-регулятора

Недоліком цього варіанту методу Зіглера–Нікольса є необхідність виводити систему на межу стійкості, що для багатьох об'єктів управління робити не рекомендується.

Розрахуємо параметри передавальних функцій

$$k_{zc}=8,7; T_c=0,4, \text{ с};$$

$$k_{mex} = Q/\omega = 2000/89,9 = 0,02; \tau = L/\nu = 9,99/2 = 4,5, \text{ с},$$

де Q - продуктивність стрічкового живильника; ω - максимальна швидкість обертання валу двигуна; τ - час запізнення, що враховує проходження вантажу від точки завантаження до місця установки вагів;

$$k_{ваг} = \frac{U_{max\text{ваг}}}{Q_{ваг}} = \frac{1}{100} = 0,01 \text{ В/(м/ч)},$$

де $U_{max\text{ваг}}$ - максимальна напруга на виході вагів, що відповідає максимальній вимірюваній продуктивності $Q_{ваг}$; $U_{max\text{ваг}} = 10 \text{ В}$; $T_{ваг} = 0,6 \text{ с}$.

Прийmemo період квантування для регулятора $T_0 = 0,01 \text{ с}$. При такому періоді квантування характеристики дискретного регулятора наближаються до характеристик безперервного регулятора.

Керуючий вплив на виході дискретного ПІД - регулятора має вигляд

$$u(n) = u(n-1) + k_p \cdot \left(1 + T_0 T_i + \frac{T_0}{T_d}\right) \cdot e(n) + \\ + k_p \cdot \left(T_0 T_i - 2 \frac{T_0}{T_d} - 1\right) \cdot e(n-1) + \left(k_p \cdot \frac{T_0}{T_d}\right) \cdot e(n-2),$$

де $e(n)$ - поточне відхилення регульованої величини від завдання регулятора (сигнал на вході регулятора); T_i - постійна часу інтегрування; T_d - постійна часу диференціювання; k_p - коефіцієнт підсилення ПІД - регулятора.

Коефіцієнт підсилення та постійні часу обчислюються за формулами

$$k_p = \frac{(T_c + T_{ваг})}{(k_{ваг} + k_{mex} + k_{зк})} = \frac{(0,04 + 0,06)}{(78,7 + 1,16 + 0,01)} = 0,00125;$$

$$T_i = T_c + T_{ваг} = 0,04 + 0,06 = 0,1, \text{ с};$$

$$T_d = \frac{T_c \cdot T_{ваг}}{T_c + T_{ваг}} = \frac{0,06 \cdot 0,04}{0,06 + 0,04} = 0,00024, \text{ с}.$$

Для визначення якості процесу побудуємо графіки ПП та ЛАЧХ та ЛФЧХ САУ регулювання швидкості конвеєра із застосуванням ПІД регулятора та визначимо основні показники якості (рис. 4).

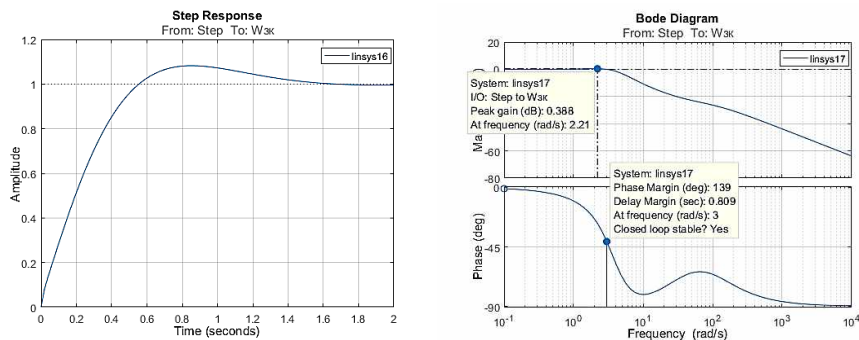


Рис. 4. Графіки ПП та ЛАЧХ та ЛФЧХ САУ регулювання швидкості конвеєра із застосуванням ПІД регулятора

В порівнянні з системою без регулятора, у системі з ПД – регулятором характер протікання перехідного процесу більш наближений до аперіодичного. Покращилася швидкість системи, а також показник перерегулювання, що відтепер знаходиться в допустимих межах. Можна вивести такі показники якості: $T_{III} = 2$ с, $t_n = 1,39$ с; $\sigma = 8,23\%$; $t_n = 0,413$ с; $h_{MAX} = 1,08$; $t_m = 0,854$ с.

У більшості додатків автоматизації технологічних процесів, що використовуються в даний час, НЛ (нечітка логіка) дозволяє застосувати досвід операторів і технологів для управління процесами [14]. Теорія нечіткої логіки описує методи управління, які нескладно застосувати для реальної системи. Використання нечіткої логіки дозволяє описувати окремі частини виробничого процесу, такі як ініціалізація, завдання параметрів і т.д [14].

НЛ логіка, яку ще називають "fuzzy control", може бути корисна при недостатньо точному знанні об'єкта управління. Нечіткі методи дозволяють будувати відносини введення-виведення на основі знань експерта без необхідності створення складної математичної моделі.

Розглянемо динамічні процеси в об'єкті регулювання із застосуванням нечіткого регулятора.

Нечітке керування (управління на основі методів теорії нечітких множин) [15] використовується при недостатньо точному знанні об'єкта управління, але наявності досвіду управління ним, в нелінійних системах, ідентифікація яких занадто трудомістка, а також у випадках, коли за умовами задачі необхідно використовувати знання експерта.

Нечітке управління ефективно у випадках, коли параметри об'єктів не є детермінованими, коли існує певний досвід експертів з керування і налаштування автоматизованої системи регулювання (АСР). Теорія нечіткої логіки дозволяє використовувати знання фахівців з метою поліпшення процесів управління і надання допомоги з налаштування типових регуляторів [16].

Для оптимізації ПП необхідно ввести в систему регулятор на базі нечіткої логіки, що буде визначати оптимальні налаштування ПД-регулятора для його адаптації до об'єкта керування. Структурна схема системи, побудована в Simulink, представлена на рис.5. Наступним кроком є створення системи нечіткого виводу в Matlab (рис.6).

Після цього проводиться фазифікація вхідних і вихідних лінгвістичних змінних (ЛЗ). Фазифікація вхідних значень (помилки регулювання (E), її інтеграла і похідної) проводиться відповідно до рекомендацій [17]. Приклади графіків функцій належності вхідних ЛЗ представлені на рис. 7.

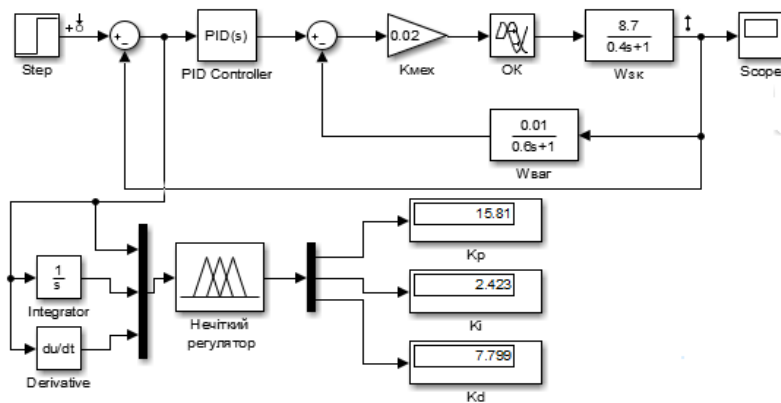


Рис.5. Simulink-модель САУ регулювання швидкості конвеєра із застосуванням регулятора на базі нечіткої логіки

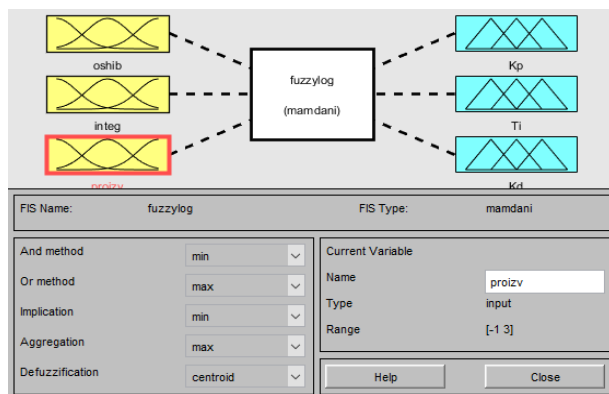


Рис. 6. Структура нечіткого регулятора в редакторі FIS

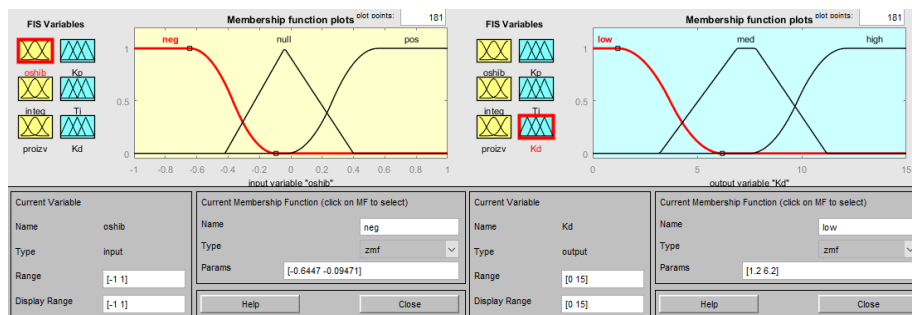


Рис. 7. Функції належності: величина помилки та вихід похідної

Наступний етап полягає у створенні бази правил виду «ЯКЩО ... ТО». Виходячи з рекомендацій зі спеціалізованої літератури [18], проведених експериментів в редакторі FLT пропонуються наступні правила (рис.8).

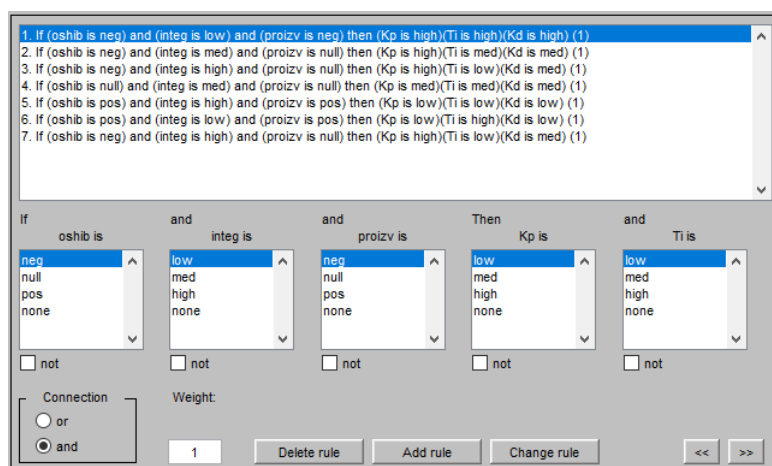


Рис. 8. База правил, за якими формується вихідний сигнал нечіткого регулятора

Після цього, спочатку виконується моделювання з ПІД-регулятором, що має налаштування коефіцієнтів. В результаті нечіткий регулятор видав коефіцієнти для адаптації ПІД-регулятора. Робота алгоритму нечіткого регулятора представлена на рис. 9. Поверхня залежності вихідної змінної від вхідних представлена на рис. 10. Отримані ПП та частотні характеристики представлені на рис. 11, 12.

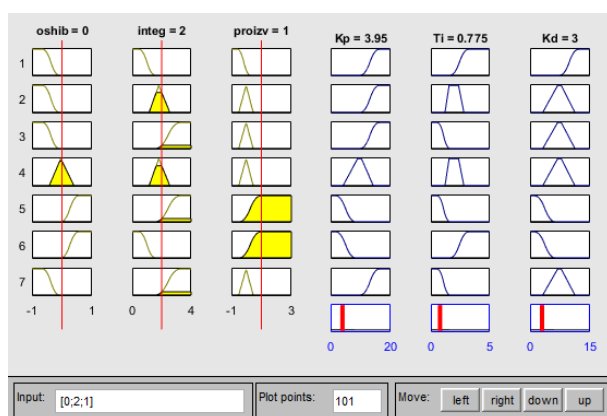


Рис. 9. Демонстрація роботи алгоритму нечіткого регулятора

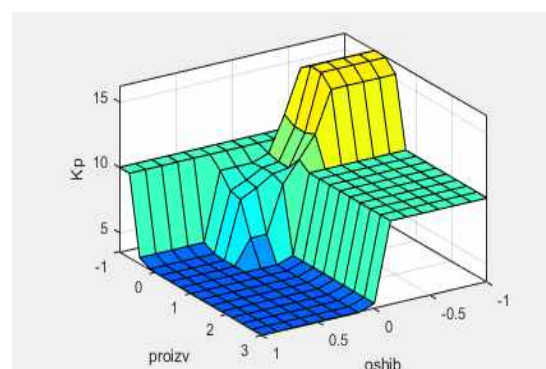


Рис. 10. Поверхня «входи - вихід» нечіткої системи

Згідно з графіком (рис.10) отримали аперіодичний ПП. В системі зникли коливання, покращилася швидкодія та інші показники якості: час перехідного процесу, який відповідає 5% відхиленню від усталеного значення – $T_{пп} = 0,4$ с; перерегулювання – $\sigma = 0\%$; перше максимальне відхилення – $h_{MAX} = 0,774$; час досягнення першого максимуму – $t_m = 0,0194$ с. Стійкого стану досягнуто при значенні амплітуди – 1.

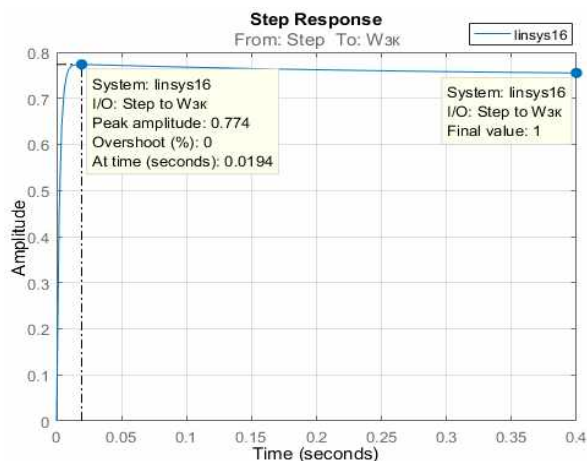


Рис. 11. Графік ПП САУ регулювання швидкості конвеєра із застосуванням нечіткого регулятора

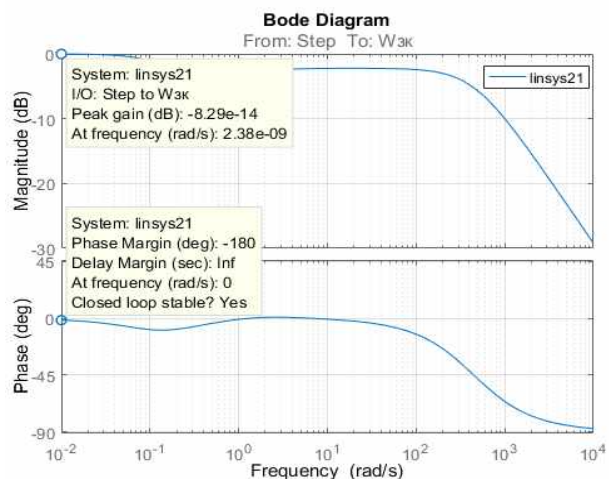


Рис. 12. Графіки ЛАЧХ та ЛФЧХ САУ регулювання швидкості конвеєра із застосуванням нечіткого регулятора

Висновки та напрямок подальших досліджень. Нечітке керування підготовкою агломераційної шихти за рахунок використання нечіткого регулятора, дозволяє підвищити ефективність роботи виробництва. Виходячи з аналізу технологічного процесу, визначено основні параметри і впливи системи керування. Основним регульованим параметром є швидкість руху стрічки конвеєра, що забезпечує оптимальну продуктивність процесу підготовки та завантаження аглошихти.

Використання автоматизованого регульованого приводу надає додаткові можливості для керування підготовкою агломераційної шихти. У роботі проаналізовано математичну модель процесу агломерації. За результатами моделювання можна зробити висновок, що використання в системі нечіткого регулятора забезпечує найкращу швидкодію системи, а також маємо кращі показники якості, що забезпечить більш стабільний хімічний склад агломерату на виході та зменшить витрати палива.

Однак потенційні можливості автоматизованого управління вичерпані не повністю. Продовжують залишатися актуальними наступні завдання: зниження трудомісткості обслуговування автоматизованого агломераційного виробництва, ймовірності відмов в роботі і часу простоїв лінії в результаті відмови.

Список літератури

1. Коротич В.И., Фролов Ю.А., Бездежский Г.Н. Агломерация рудных материалов. Научное издание. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2003. 400 с.
2. Коротич В.И., Фролов Ю.А., Каплун Л.И. Теоретические основы технологий окускования металлургического сырья. Агломерация: учебное пособие. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. 417 с.
3. Змішування і огрудування шихти. Режим доступу: вільний. URL: https://studopedia.ru/20_83657_zmishuvannya-i-ogrudkuvannya-shihty (дата звернення: 15.09.2019). – Мова: укр.
4. Базилевич С.В., Вегман Е.Ф. Агломерация. Москва: Металлургия, 1967. 368 с.
5. Справочник агломератчика / А.Г. Астахов и др. Киев: Техника, 1964. 448 с.
6. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. Д.: Східний видавничий дім. 2004 - 2013 pp.
7. Рахуба В.О. Разработка и исследование АСУ формированием гранулометрических характеристик агломерационной шихты при подготовке к спеканию. Академический вестник Криворожского территориального отделения МАКНС. Кривой Рог: КрТо МАНКС. 2009. С. 5-9.
8. Рахуба В.О., Пазюк М.Ю. Функциональная структура АСУ качественными характеристиками агломерационной шихты в процессе ее подготовки к спеканию. Академический вестник Криворожского территориального отделения МАКНС. Кривой Рог: КрТо МАНКС. 2007. № 20. С. 11-14.
9. Paper ECIC 2011, Christoph Delwig, Hans Fettweis, Thomas Schnitzler, Stefan Wienströer (Thyssen Krupp Steel Europe, Duisburg, Germany).
10. Овчинникова И.А. Совершенствование системы загрузки шихты на агломерационную ленту. Запорожская государственная инженерная академия. 2009.
11. Вегман Е.Ф. Теория и технология агломерации. М.: Металлургия, 1974. 288 с.
12. Учитель А.Д., Засельский В.И., Пополов Д.В. Технологическая апробация подготовки агломерационной шихты к спеканию подпрессовкой. Металлургические процессы и оборудование. 2011. № 1. С. 42-47.
13. Автоматизация агломерационного и доменного производства. Сборник. К.: Техника, 1969. 206с.
14. Schneider Electric. Нечёткая логика // Техническая коллекция Schneider Electric. Вып. 31, 2009. с. 4-6.

15. Методы робастного, нейро-нечёткого и адаптивного управления: Учебник / под ред. Н.Д. Егупова, 2-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. 744 с.
16. Михайленко В.С., Ложечников В.Ф. Методы настройки нечеткого адаптивного ПИД-регулятора. ААЭКС, 2009. №2 (24)
17. Ротач В.Я., Ключев А.С. Автоматизация настройки систем управления. М.: Энергоиздат, 1984. 272 с.
18. Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г.А. Управление производством при нечеткой исходной информации. М.: Энергоиздат, 1991. 234 с

УДК 624.131.23:624.15

Р.О. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук., проф., Д.А. КРИШКО, канд. техн. наук, ст. викл.,
Т.А. БАРОН, магістрант, Криворізький національний університет

ВЛАШТУВАННЯ ОСНОВ І ФУНДАМЕНТІВ НА ПРОСІДАЮЧИХ ҐРУНТАХ

Мета. Вивчення влаштування фундаментів на ґрунтах, що змінили свої властивості в процесі експлуатації, а також розглянути посилення ґрунтів шляхом підвищення їх несучої здатності, застосування фундаментів, здатних сприймати негативні впливи просідання ґрунтів.

Методи дослідження. В інженерно-геологічних і гідрогеологічних умовах при будівництві використовуються традиційні способи фундування. Аналіз досвіду фундування в геологічних умовах дозволяє запропонувати до застосування нові й ефективні типи фундаментів і сучасні технології. Особливість методу глибинного ущільнення полягає в тому, що відповідно до сумарної епюри розподілу за глибиною тисків від навантаження фундаментів, власної ваги ґрунту і навантаження від сил тертя, що виникають при просіданнях оточуючих ґрунтів, відбуваються зміни в лесовому масиві за його глибиною. При проектуванні фундаментів на лесових породах існує два основних напрямку, особливості яких необхідно враховувати: виняток неприпустимих осідань при розрахунку фундаментів за II групою граничних станів та конструктивні заходи щодо виключення (обмеження) осідань. Зведення будівель на просідаючих ґрунтах займає особливе місце в теорії і практиці будівництва. Це пояснюється, з одного боку, досить чутливою реакцією просідаючих ґрунтів на зовнішні впливи (зміна вологості, додаткового тиску від споруджуваних будинків і споруд та ін.), з іншого – розширюється спектр об'єктів, що будуються (висотні будівлі житлового та громадського призначення, великі виробничі та фабричні споруди, будівельні комплекси та ін.).

Наукова новизна. Вибір раціональної схеми усунення просідаючих властивостей основи в залежності від типу просідання.

Практична значимість. Від прийнятого проектного рішення залежать в значній мірі вартість і матеріаломісткість об'єкта, терміни будівництва, а також його експлуатаційна надійність.

Результати. Раціональні рішення з конструкції основ і фундаментів досягаються на основі сумісного врахування особливостей ґрунтових умов майданчика, закономірностей розвитку просідань, конструкційних особливостей будівель, умов їх експлуатації, наявності можливих джерел замочування.

Ключові слова: просідаючі ґрунти; пальовий фундамент; група граничних станів, будівля.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-41-46

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. На конструкції будівель і споруд діє комплекс несприятливих факторів, а окремі з них мають вирішальний вплив на їх несучу здатність і довговічність. Передчасне вичерпання їх експлуатаційних якостей і порушення технологічного процесу призводить до значних матеріальних витрат.

При будівництві часто стикаються зі складними інженерно-геологічними умовами (просідаючі, насипні і слабкі водонасичені ґрунти) з впливом агресивного середовища. Внаслідок помилок, допущених на етапах досліджень, проектування, будівництва та експлуатації, термін служби будинків і споруд в ряді випадків значно коротше проектного. Наявність тріщин, локальних руйнувань порушує нормальну експлуатацію будівель. Витрати на відновлювальні роботи найчастіше співрозмірні з вартістю нового будівництва. Все це вимагає більш обґрунтованого підходу до врахування особливих умов при проектуванні і будівництві.

Аналіз досліджень і публікацій. На просідаючих ґрунтах при складних деформаціях основи не завжди можливо використовувати відомі технічні рішення, так як вони непридатні до цих умов роботи. Перші нормативні документи, що регламентують проектування будівель і споруд на просідаючих ґрунтах, з'явилися на початку 30-х років XX-го століття. Основна роль в становленні науки про будівництво на просідаючих ґрунтах на цьому етапі належить Ю.М.

Абелеву. Подальший розвиток цього напрямку відбито в працях: М.Н. Гольдштейна, А. А. Григоряна, С.М. Клепікова, В.І. Крутова, А.А. Мустафєва, З.Г. Тер-Мартіросяна, Я.Д. Гільмана, Н.О. Цитовіча, О.О. Петракова, Р.О. Тімченка, В.Б. Швеця, В.Р. Мустакімова, П.П. Шагіна, С.Г. Кушнера, П.А. Коновалова, А.С. Трегуба, І.О. Розенфельда, І.В. Матвєєва, Coduto Donald P., M.J. Tomlinson, Frank R. та ін. [1-10, 14-18]. Дослідження стали основними принципами проектування на просідаючих ґрунтах і послугували їх застосування у діючих нормах [11-13].

Розрахунок міцності та стійкості фундаментних конструкцій стає особливо необхідним і тому актуальним в умовах просідаючих ґрунтів II типу. Усунення шкідливих наслідків просідаючих деформацій під дією маси ґрунту в ґрунтових умовах другого типу з застосуванням різних інженерних заходів і конструктивних рішень або практично не досягається або ж призводить до економічно не вигідного рішення. Тому в цих випадках повинна перевірятися експлуатаційна придатність будівель і споруд та при необхідності призначаються конструктивні або інші заходи відповідно до розрахунку будівель і споруд на вплив очікуваних деформацій основ.

Аналіз досліджень і публікацій показує необхідність вивчення влаштування фундаментів на ґрунтах, що змінили свої властивості в процесі експлуатації, а також розглянути посилення ґрунтів шляхом підвищення їх несучої здатності, застосування фундаментів, здатних сприймати негативні впливи просідання ґрунтів.

Постановка задачі. Розглядається можливість застосування пальових фундаментів на просідаючих ґрунтах, які дозволяють ефективно використовувати непридатні для забудови території.

Викладення матеріалу і результати. В інженерно-геологічних і гідрогеологічних умовах при будівництві використовуються традиційні способи фундаментування, включаючи:

- пальові фундаменти із забивних призматичних паль завдовжки 3-16 м на слабких водонасичених, заболочених, замулених, насипних, просідаючих і інших проблемних ґрунтах;

- пальові фундаменти з буронабивних залізобетонних паль довжиною 12-20 м, діаметром від 300 до 1200 мм, що застосовуються в ґрунтах і насипних ґрунтах, на схилах і в умовах обмеженого простору міської забудови. У слабких водонасичених ґрунтах використовуються буронабивні залізобетонні палі в обсадних трубах;

- стовпчасті і стрічкові фундаменти малого закладення в збірному і монолітному виконанні під будівлі та споруди, що зводяться на природних основах четвертинних відкладень;

- плитні фундаменти з монолітного залізобетону під висотні будівлі.

Аналіз досвіду фундаментування в геологічних умовах дозволяє запропонувати до застосування нові й ефективні типи фундаментів і сучасні технології, включаючи:

- комплексні пальово-плитні фундаменти, які використовуються під висотні будівлі і споруди з великою власною вагою, при тиску на ґрунт основи від 0,3-0,5 МПа до 1,0 МПа;

- фундаменти глибокого закладення, що зводяться за методом «стіна в ґрунті», палі або опускних колодязів. При цьому прорізаються відносно слабкі четвертинні відкладення і тиск від важких будівель передається на надійні корінні породи. Вирішується питання підземної урбанізації, ефективно використовується міська територія, підвищується рівень охорони навколишнього середовища;

- на майданчиках з поширенням просідаючих і насипних ґрунтів – фундаменти у витрамбованих котлованах;

- використання струміневої геотехнології при влаштуванні штучних основ і армування ґрунтів цементно-ґрунтовими елементами, як в період до будівництва, так і при посиленні ґрунтів основ під існуючими фундаментами будівель;

- для структурно нестійких, різномірних і перешаровуватих ґрунтів використовується пристрій штучних основ за допомогою заповнюючої, пропитуючої, віджимаючої та розривної ін'єкції ґрунтів під тиском від 5-20 до 300-500 атм.

На лесових ґрунтах II типу умов просідання для житлових, цивільних, промислових будівель з несучими стінами висотою до 9-12 поверхів, а також щодо жорстких каркасних будинків висотою до 6-8 поверхів найбільш раціональним є застосування комплексу заходів, що включає підготовку основи шляхом поверхневого ущільнення ґрунту з метою ліквідації в ґрунтах властивостей його в межах деформованої зони від навантаження фундаментів і створення суцільного маловодопроникного екрану, водозахисні заходи, що виключають можливість замочування

грунтів в основі, і конструктивні заходи, що розраховуються на можливі просідання ґрунтів в основі і спрямовані на забезпечення міцності, стійкості і нормальної експлуатації зведених будинків і споруд. Для відносно гнучких, а також будівель підвищеної поверховості при частому розташуванні несучих конструкцій і фундаментів ефективним є глибинне ущільнення просідаючих ґрунтів на всю величину їх посадкової товщі шляхом пробивки свердловин з послідовним заповненням ґрунтовим матеріалом.

Особливість методу глибинного ущільнення полягає в тому, що відповідно до сумарної епюри розподілу по глибині тисків від навантаження фундаментів, власної ваги ґрунту і сил навантаження тертя, що виникають при просіданнях оточуючих ґрунтів, відбуваються такі зміни в лесовому масиві за його глибиною:

в нижній частині ущільненого масиву створюється несучий шар шляхом утрамбовування до відмови в дно пробитої свердловини жорсткого матеріалу (щебеню, шлаку, піщано-гравійної суміші тощо) окремими порціями висотою $0,8-1,2 d$ (d – діаметр снаряду для трамбування);

в середній частині формується зона підвищеної міцності шляхом заповнення свердловин жорстким матеріалом з ущільненням кожної порції, відсипати висотою $1,5-2,0 d$;

у верхній частині створюється щільна зона шляхом заповнення пробитої свердловини місцевим лесовим ґрунтом з ущільненням.

Механізм просідання лесу представлений на рис. 1. Ґрунт зволожується, вода розм'якшує і розчиняє кристалізаційні зв'язки і викликає розклинююче напруження плівкової води. Це знижує міцність зв'язків між частинками, ґрунт під тиском ущільнюється – макропори зменшуються, відбувається вертикальне переміщення.

Лесові ґрунти за проявом просідаючих властивостей діляться на два типи – I та II [3] відповідно за рис. 2а.

При проектуванні фундаментів на лесових породах існує два основних напрямку, особливості яких необхідно враховувати:

Напрямок №1. Виняток неприпустимих осідань при розрахунку фундаментів за II групою граничних станів.

Напрямок №2. Конструктивні заходи щодо виключення (обмеження) осідань.

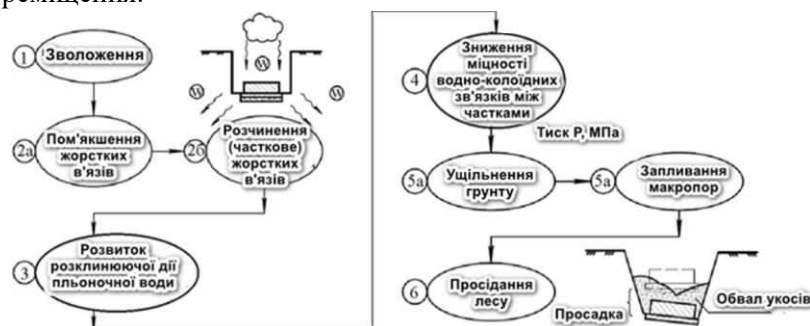


Рис.1. Схема просідання лесового ґрунту

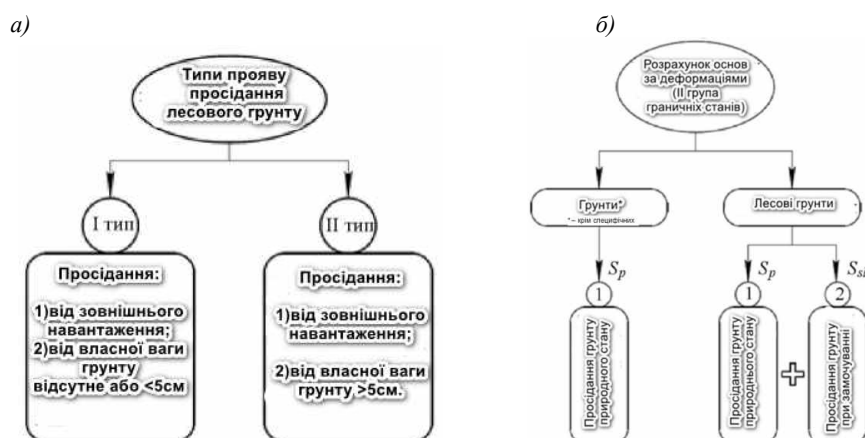


Рис.2. Схеми: а – типів прояву просідання лесового ґрунту; б – розрахунку основ за деформаціями (II група граничних станів)

В рамках першого напрямку проводиться розрахунок основ і фундаментів з урахуванням сумарного просідання ґрунтів природного стану і просідання при впливі вологи. В рамках другого напрямку виключають або зберігають просідаючі властивості основи конструктивними методами [1]. Збереження в ґрунтах властивостей лесу тільки обмежене використання в зв'язку з небезпе-

кою просідань і використовується при належному обґрунтуванні, чим може служити будівництво малоповерхових будівель індивідуальної забудови за вагомої кошторисної вартості заходів, спрямованих на виключення просідання лесу. При цьому необхідно зберігати природний рельєф поряд з будівлею, проектувати вимощення по всьому периметру шириною більше 2 м з ухилом в бік залізобетонних лотків, а під підземними трубопроводами каналізації та водопостачання влаштовувати непроникні для води лоточки з відведенням води від просідання товщі.

Розрахунок основ за II групою граничних станів, на відміну від ґрунтів без специфічних властивостей, ведеться з урахуванням просідань S_p ґрунтів природного стану і просідань S_{sl} ґрунтів при замочуванні відповідно до рис. 2б. Розрахунок проводиться з умови не перевищення сумарної деформації допустимого значення – $S = S_p + S_{sl} \leq S_u$.

Важливо відзначити, що норматив встановлює вимогу, відповідно до якого, за умови, що напружень на ґрунт від зовнішнього навантаження і власної ваги не більше початкового просідаючого тиску, а лес за характером прояву просідання відноситься до I типу, розрахунок з урахуванням осідання не проводиться. Причому якщо відносно просідання шарів менше 0,01, то розрахунок також не проводиться.

Для ґрунтів I типу просідання допускається усувати просідання тільки на 2/3 всієї товщі при значенні просідання і її нерівномірності, що не перевищує 1/3 гранично допустимих значень. Це посилює розрахунок і дає запас деформаційних властивостей.

Важливим є напрямок при проектуванні фундаментів на лесових породах – це вибір раціональної конструктивної схеми фундаментів і штучно поліпшених основ. Класичні схеми усунення просідаючих властивостей основи (зменшення) відповідно до навчальної та нормативно-технічної літератури в залежності від типу просідання наведені на рис. 3, 4.

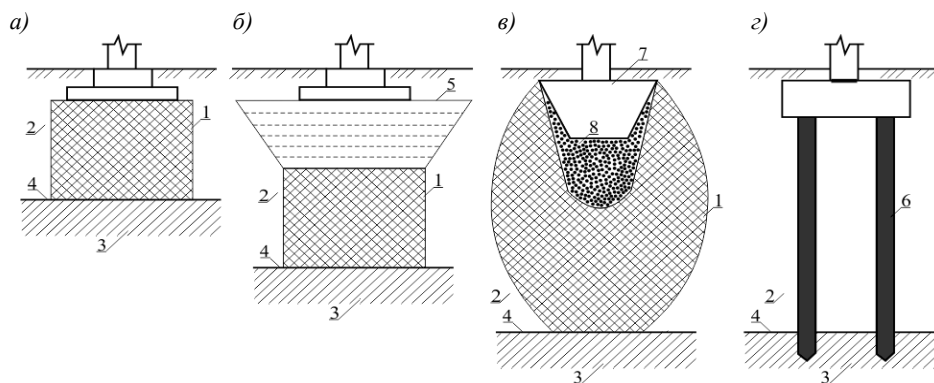


Рис. 3. Різні варіанти влаштування основ і фундаментів в ґрунтових умовах I типу просідання: а – ущільнення ґрунтів за допомогою важких трамбівків після доведення вологості ґрунту до оптимальної; б – ущільнення і устрій подушок з непросідаючих місцевих ґрунтів; в – ущільнення ґрунтів підводними вибухами з використанням попереднього замочування; г – устрій пальових фундаментів з прорізом всієї товщі просідання ґрунтів з метою передачі тиску на непросідаючі підстилаючі шари ґрунту; 1 – ущільнений ґрунт; 2 – просідаючий ґрунт; 3 – непросідаючий ґрунт; 4 – нижня межа просідаючого ґрунту; 5 – ґрунтова подушка, ущільнена пошарово; 6 – палі; 7 – набивний або забивний фундамент, пірамідальна коротка паля; 8 – щербінь, який втрамбовано в ґрунт

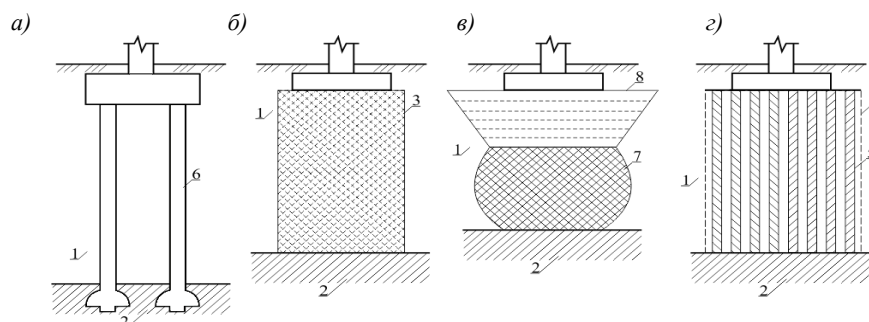


Рис. 4. Різні варіанти влаштування основ і фундаментів в ґрунтових умовах при II типі просідання: а – прорізка просідаючої товщі палями різного типу або глибокими фундаментами; б – закріплення ґрунтів хімічними або термічними способами; в – ущільнення ґрунтів попереднім замочуванням в поєднанні з глибинними вибухами і ущільнення важкими трамбівками; г – ущільнення ґрунтів ґрунтовими палями; 1 – просідаючий ґрунт; 2 – непросідаючий ґрунт; 3 – закріплений ґрунт; 4 – зона ущільнення ґрунтовими палями; 5 – ґрунтові палі; 6 – палі; 7 – ущільнений ґрунт; 8 – ґрунт, ущільнений важкими трамбівками

Розрахунковий опір ґрунту основи визначається в залежності від можливості або неможливості замочування, пояснення коефіцієнтів умов роботи при його визначенні – вони приймаються як для глинистих ґрунтів з відповідним показником плинності.

Коефіцієнт умов роботи з орієнтацією на глинисті ґрунти не випадковий – лес за гранулометричним складом є суглинком.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Навіть при ретельному виконанні заходів щодо запобігання замочування лесових ґрунтів вони не гарантовані від місцевого замочування при аваріях трубопроводів або будь-яких інших причин. Тому крім заходів щодо захисту від замочування використовують конструктивні прийоми, що дозволяють знижувати чутливість будівель і споруд до нерівномірних осідань, або усувати несприятливі наслідки нерівномірності осідань. При цьому слід прагнути до запобігання нерівномірних осідань за допомогою закріплення ґрунтів і вживати термінових заходів щодо ліквідації виниклого процесу замочування.

При виборі принципів і методів здійснення щодо забезпечення міцності і нормальної експлуатації будівель і споруд на просідаючих ґрунтах враховують тип ґрунтових умов за просіданням, ймовірність замочування основи на всю величину просідання товщі або її частини, можливу величину осідання, взаємозв'язок проєктованих будівель і споруд з сусідніми об'єктами і комунікаціями на основі, техніко-економічного обґрунтування.

Застосування звичайних пальових фундаментів в ґрунтових умовах України доцільно лише у випадках залягання в основі просідаючої товщі підстилаючих ґрунтів з підвищеною несучою здатністю: пісків великих і середньої крупності, твердих глин або скельних ґрунтів.

Список літератури

1. Крутов В. И., Багдасаров Ю. А. Устройство подземных этажей на просадочных и насыпных грунтах // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2005. – № 5. – С. 22–27.
2. Применение геоинформационных систем в инженерно-геологических изысканиях / Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, С. О. Попов, М. О. Кравченко, Ю. В. Чугай // Зб. наук. ст. "Галузеве машинобудування, будівництво". – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 3 (38). – Т.2. – С. 359–367.
3. Применение математического моделирования для оценки напряженно-деформированного состояния системы „основание – фундамент – верхнее строение” в сложных инженерно-геологических условиях / Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, С. О. Попов, О. П. Сухан // Зб. наук. ст. "Строительство. Материаловедение. Машиностроение". Серия: Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении. – Дн-ск: ПДАБА, 2014. – Вип. 78. – С. 263–269.
4. Тімченко Р. О., Крішко Д. А., Седін В. Л. Розрахунок фундаментів-оболонки для споруд баштового типу на вплив нерівномірних осідань основи // «Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури» – Дн-ск: ПДАБА, 2015. – № 7. – С. 34–40.
5. Математичне моделювання нелінійно-непружних контактних задач / Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, А. В. Богатинський, В. О. Савенко // «Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури» – Дн-ск: ПДАБА, 2015. – № 8. – С. 50–58.
6. Застосування програмного комплексу LIRA 9.6 для моделювання роботи системи «основа – інженерна споруда» / Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, В. О. Савенко, І. В. Хоруженко // Тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції «Комп'ютерні системи та інформаційні технології в освіті, науці та управлінні» – Дн-ск: ПДАБА, 2019. – С. 48–49.
7. Швец В. Б., Феклин В. И., Гинзбург А. К. Усиление и реконструкция фундаментов. – М.: Стройиздат, 1985. – 204 с.
8. Coduto Donald P. Foundation Design: Principles and Practices. – New Jersey: Prentice Hall, 2001. – 883 p.
9. Frank R. Some aspects of soil-structure interaction according to Eurocode 7 «Geotechnical design» // Engenharia Civil. – Vol. 25, 2006. – PP. 5–16.
10. Tomlinson, M. J., Boorman R. Foundation design and construction. – Edinburgh: Prentice Hall, 2001. – 583 p.
11. ДБН В.1.1-45:2017. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення – К.: Мінрегіонбуд, 2017. – 35 с.
12. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. – К.: Мінрегіонбуд, 2018. – 40 с.
13. ДБН В.2.2-15:2019. Житлові будинки. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд, 2019. – 42 с.
14. Подготовка оснований зданий и сооружений, строящихся на замедленнопросадочных грунтах I и II типа по просадочности / А.Н. Богомолов, Ю.И. Олянский, Л.А. Анисимов, Е.В. Щекочихина, А.Ф. Алексеев // Вестник Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2015. – № 41 (60). – С. 14–23.
15. Проблемы строительства и эксплуатации зданий на лессовых грунтах Северного Причерноморья / А.Н. Богомолов, Ю.И. Олянский, С.В. Кузнецова, И.Ю. Кузьменко, Е.В. Щекочихина, С.А. Чарыкова // Вестник Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2016. – № 44-2. – С31–39.
16. Соколов Н.А. Проблема лессов // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – №9. – С. 86–93.
17. Lavrusevich A.A., Lavrusevich S.A., Gorshkova O.G. Technogenesis and behavior of the loessial rocks // In book: Proceedings of International Scientific Conf. – Vladivostok: Dalnauka, 2009. – P. 130–131.
18. Пантюшина Е.В. Лессовые грунты и инженерные методы устранения их просадочных свойств // Ползуновский вестник. – 2011. – №1. – С. 127–130

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ АКТИВНИХ СЕРЕДОВИЩ НА МЕХАНІЗМ ДЕЗІНТЕГРАЦІЇ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Мета. Встановлення залежності якості дроблення гірської маси та її знеміцнення при вибухових навантаженнях від впливу полярності середовища, що контактує з матеріалом в момент вибуху, вивчення нових можливостей використання поверхнево-активних речовин, а також дослідження даного фактору впливу на подальші процеси переробки.

Методи досліджень. Проведений аналіз теоретичних і практичних досліджень впливу середовища на результати навантажень механічного характеру на зразки різних гірських порід і матеріалів підтвердили актуальність даних досліджень, лабораторних експериментів і можливого подальшого промислового випробування задля вивчення впливу ефекту Ребіндера на дезінтеграцію міцних порід при вибухових навантаженнях.

Наукова новизна. Зроблено заділ по вивченню механізму впливу середовищ різної полярності при вибуховому навантаженні різної інтенсивності на результати руйнування. Встановлений екстремальний характер впливу поверхнево-активних речовин на якість дроблення гірських порід. Знайдені нові можливості для ефективного руйнування масиву.

Практичне значення. Проведені експерименти свідчать про те, що впровадження технічних рішень, які забезпечили б створення в момент вибуху з підвищеним вибуховим навантаженням середовища з високим вмістом води, водяної пари або аерозолу з високою концентрацією води, дозволило б зменшити питомі витрати енергії на подальше дроблення і подрібнення матеріалу на 15-25%.

Результати. Встановлено, що ефективність вибухового навантаження гірської маси залежить від полярності середовища, що контактує з матеріалом в момент вибуху. Для гідрофільних мінеральних агрегатів ефективність вибухового руйнування підвищується з ростом полярності середовища. Вплив полярності середовища на результати вибухового руйнування посилюється зі зростанням вибухового навантаження (питомої витрати вибухової речовини) і має деяке оптимальне значення, залежне від властивостей мінеральної системи. При вибуховому руйнуванні гідрофільних мінеральних систем у водному середовищі введення поверхнево-активних добавок (ПАР), які активно адсорбуються на твердій фазі, інтенсифікує процес руйнування. При перевищенні критичної концентрації міцелоутворення ефективність дії ПАР знижується. Подрібнення рудної маси, підірваної в сильнополярному середовищі, протікає з більшою швидкістю і меншим шламоутворенням, ніж маси, підірваної в неполярному середовищі.

Ключові слова: гірські породи, вибухове навантаження, ефект Ребіндера, полярність середовища, знеміцнення порід, поверхнево-активні добавки, кінетика подрібнення.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-46-51

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Для інтенсивного руйнування в гірських породах повинні бути присутніми або повинні бути заново утворені тріщини, які діють як модифікатори напруг, приводячи до зниження значення межі міцності. Додавання навантаження викликає поширення тріщин, створюючи додаткові поверхні. Відомо, що розкриття мінералів вимагає найбільших енергетичних витрат в процесі збагачення. Енергія вибуху - найдешевший вид енергії, в силу цього її максимальне використання для розкриття мінералів стало предметом цілого ряду досліджень. При цьому встановлено, що використання розроблених методів ведення буропідричних робіт при підвищених питомих витратах вибухових речовин (ВР) дозволяє не тільки знизити крупність гірської маси в процесі відбою, але і створити в матеріалі мережу мікротріщин, які реалізуються в процесі подальшої переробки [1-3]. В результаті досягається зниження питомих витрат енергії на механічне дроблення і подрібнення на 10-15%.

Однак мікротріщинуватість, що виникає при вибуховому навантаженні гірської маси, з часом в значній мірі зникає - мікродефекти релаксують [4]. Важливо відзначити, що навколишнє середовище може взаємодіяти з поверхнями тріщин, приводячи до змін їх довжини і, як результат, до зміни міцності матеріалу.

Аналіз досліджень і публікацій. Питанням впливу навколишнього середовища на руйнування гірських порід присвячений ряд публікацій. Ребіндер П. А. і його співавтори ймовірно, були першими, хто провів систематичні дослідження по визначенню впливу рідкої фази на руйнування твердих порід, зокрема при бурінні [5]. В результаті проведених робіт було встановлено, що рідини, і в першу чергу вода, відіграють активну роль в процесі руйнування.

У більш пізніх роботах [6,7] показано суттєве зменшення межі міцності деяких порід при стисканні з добавкою рідини. Так, для базальтів межа міцності знизилась в 2 рази, для гранітів - в 1,5; для вапняків - в 1,8; для кварцитів - в 1,3 рази [7]. В ході експериментів встановлено, що зменшення тріщиностійкості склоподібних матеріалів, викликане різними умовами середовища, змінюється від декількох до 300%. Наприклад, при дослідженні впливу на крихкий розрив або злам кремнію спостерігали, що пари води знижували опір розриву на 40-50% від його початкового значення в вакуумі [7]. В цілому результати досліджень свідчать, що навколишнє середовище з присутністю полярних молекул значно впливає на механічні характеристики матеріалу, зокрема, на властивості міцності.

Встановлено також, що вода і вологе повітря зменшують твердість різних матеріалів, наприклад оксидів, силікатів, сульфідів, фторидів, карбідів і карбонатів [7]. Проведено велике вивчення впливу різних середовищ на твердість MgO і CaF_2 . Показано, що твердість цих двох мінералів зростає або знижується в залежності від навколишнього середовища. Автори приписували спостережувані ефекти, викликані адсорбцією, властивостям потоку в міжповерхневій зоні, які регулюються переміщенням поверхневих дислокацій.

Експерименти підтверджують, що в доповнення до механічних характеристик, зовнішнє середовище впливає на кінетику процесу і крупність матеріалу при подрібненні. Руйнування порід в млині відбувається як в межах самих зерен, так і по кордонах зрощень мінералів. Якщо внутрішньозернове руйнування є достатнім для зниження крупності частинок, то для виділення корисних компонентів необхідно міжзернове руйнування. Як правило, процес подрібнення включає розрив хімічних зв'язків для утворення нових поверхонь. Можна припустити, що будь-яке явище, що сприяє розриву хімічних зв'язків і перешкоджає возз'єднанню розірваних поверхонь, інтенсифікує процес подрібнення.

У ряді робіт, присвячених подрібненню, доведено, що вологе подрібнення більш ефективне, ніж сухе. Це пояснюють, в першу чергу, хімічними реакціями між розірваними поверхневими зв'язками і молекулами води. Отже, можна припустити, що водяна пара має такий же вплив, оскільки він здатний легко проникати в вершину тріщини. В підтвердження цього впливу встановлено [7], що водяна пара підвищує ефективність сухого подрібнення цементу у вібраційному млині. А у повідомленні [7] відзначено, що ступінь подрібнення вапняно-натрієвого скла у вологій атмосфері вища, ніж у вакуумі.

Особливий інтерес викликає додавання в воду поверхнево-активних речовин (ПАР). Досягнута досить висока ефективність використання ПАР при механічному руйнуванні гірських порід різцевим інструментом [8]. У проведених дослідженнях розчин ПАР подавали в зону різання прохідницького комбайна, в результаті чого робота комбайна стабілізувалася, а витрати енергії значно зменшилися. Цікаві залежності отримані при випробуваннях міцності кернів пісковиків насичених розчинами ПАР різної концентрації при одновісному стисканні [9].

Ряд інших досліджень також присвячений використанню ефекту Ребіндера, зокрема додаванню ПАР при подрібненні гірських порід. Так, в роботі [7] введення в млин поверхнево-активної добавки дозволило забезпечити 100%-ве збільшення поверхні кварцу і 75%-ве збільшення поверхні вапняку. Відзначено також підвищення ефективності подрібнення кремнезему завдяки додаванню в млин розчину ПАР. Однак необхідно відзначити, що іншими дослідниками отримані протилежні результати, які показують погіршення процесу подрібнення при добавці ПАР у внутрішньомлинове завантаження [7]. Це можна пояснити відсутністю в даний час критеріїв вибору ПАР та їх концентрацій для конкретних технологічних процесів і умов.

Постановка задачі. Незважаючи на значний обсяг робіт, присвячених даному напрямку наукових досліджень, до теперішнього часу практично не вивчено питання впливу середовища і поверхнево-активних добавок на процес руйнування гірських порід вибухом. Тому пошук шляхів вибухового знеміцнення гірської маси при покращенні якості її дроблення становить певний науковий і практичний інтерес.

Викладення матеріалу і результати. Для проведення експерименту були відібрані дві проби руди по природним мінеральним різновидам: магнетитові (П-1) і залізнослюдко-мартитові (П-2) кварцити. Проба П-1 представлена мілковкрапленими різницями середньошарової текстури. Основним рудним мінералом є магнетит, нерудні мінерали представлені кварцем, карбонатами, силікатами. Для проби П-2 характерне переважання тонкошарових текстур, тонкозернистість, складні зрощення рудних мінералів з кварцем. Рудними мінералами є мартит, залізна

слюдка і гідроксида заліза. Основу нерудних мінералів становить кварц. Міцність кварцитів проби П-1 складає 12-16, а П-2 дорівнює 10-12 за шкалою Протод'яконова.

Крупність зразків становила 100-150 мм. Для кожного з них була розрахована навіска амоніту № 6 ЖВ, згідно умов експерименту, і закріплена на його поверхні за допомогою спеціально виготовленої з пластиліну форми. Зразки кожної з проб піддавалися вибуховому навантаженню в різних середовищах з різними питомими витратами ВР. Для цього рудні шматки з закріпленими на них накладними зарядами розміщувалися у пакетах, які були попередньо заповнені досліджуваними рідинами. Підривання здійснювалося у вибуховій камері, яка представляє собою товстостінну трубу з масивними пробками на торцях і дозволяє максимально знизити втрати матеріалу під час вибуху.

У разі підривання в парах води пакет, заповнений водою, був встановлений в камері в безпосередній близькості від зразка. Ініціювання зарядів здійснювалося електродетонаторами. В якості критерію ефективності руйнування прийнятий середньозважений діаметр шматка, який визначено в результаті обробки отриманих гранулометричних характеристик підірваного матеріалу.

Таким чином, встановлено вплив рідин різної полярності на результати вибухового навантаження. Характеристика досліджених рідин наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика полярності досліджених рідин

Рідини	Діелектрична постійна ϵ	Поверхневий натяг, мН/м
Вода	78,3	72,0
Гліцерин	42,4	62,1
Ацетон	20,7	23,7
Хлороформ	4,7	27,1
Керосин	1,9	20,3

Дані рис. 1 показують, що з ростом полярності середовища середньозважений діаметр ($d_{ср}$) шматків, отриманих після вибуху, зменшується. Причому з ростом питомої витрати ВР ефект середовища посилюється. Спостерігається деяка різниця в поведінці магнетитових і більш пухких і гігроскопічних окислених кварцитів. Для магнетитових кварцитів характерний мінімальний вплив полярності середовища при діелектричній постійній вище 5 і високому вибуховому навантаженню (1,5 г/кг). Для окислених кварцитів, навпаки, збільшення питомої витрати ВР більше 0,75 г/кг практично не впливає на результати вибухового дроблення, основний ефект обумовлений властивостями середовища. Мабуть, це пов'язано з різною здатністю магнетитових і окислених кварцитів адсорбувати вологу. Окислені кварцити більш гідрофільні, ніж магнетитові, тому їх ефективне руйнування здійснюється в більш полярних середовищах (діелектрична постійна більш 20).

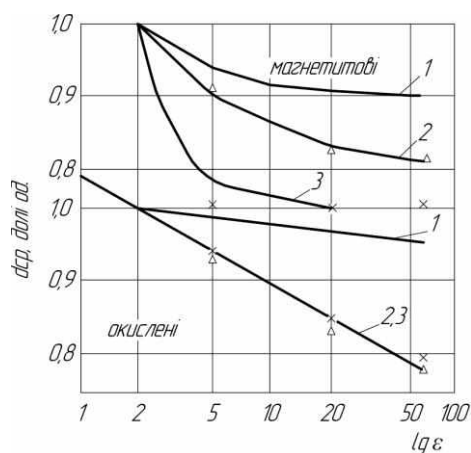


Рис. 1. Залежність якості дроблення від полярності середовища: 1, 2, 3 – питомі витрати ВР відповідно 0,30; 0,75; 1,5 г/кг

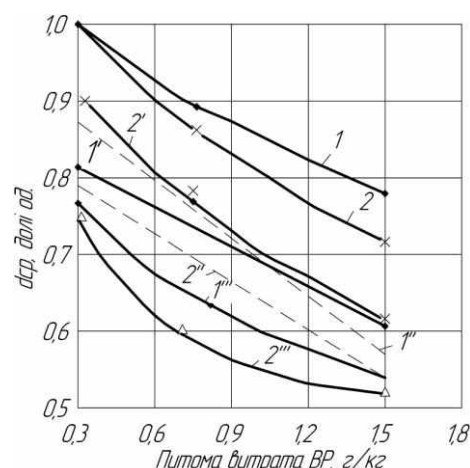


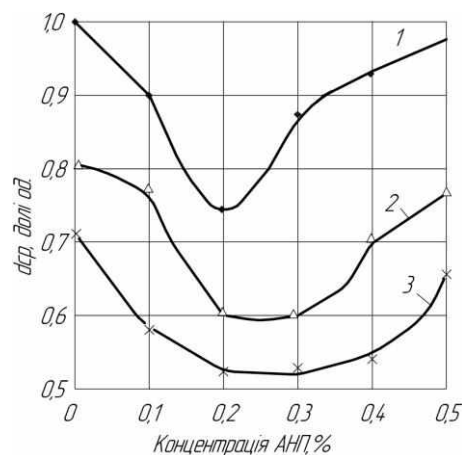
Рис. 2. Залежність якості дроблення магнетитових (1; 1'; 1''; 1''') та окислених (2; 2'; 2''; 2''') залізистих кварцитів, підірваних в різних середовищах, від питомої витрати ВР. Середовище підривання: 1, 2 – повітря; 1', 2' – водяна пара; 1'', 2'' – вода; 1''', 2''' – розчин АНП (0,2%)

Цікаво порівняти результати вибухового руйнування кварцитів в повітряному середовищі з різною відносною вологістю. На рис. 2 представлені результати руйнування зразків кварцитів в середовищі з відносною вологістю 30% (криві 1 і 2) і з вологістю 100% (криві 1' і 2'). Зі збільшенням концентрації водяної пари в повітряному середовищі ефективність вибухового навантаження підвищується і наближається до значень, одержаних у водному середовищі (криві 1'' і 2''). Отже, підвищення ефективності вибухового руйнування може бути досягнуто не тільки підриванням у водному середовищі, а й в атмосфері, насиченої водяними парами.

Викликає інтерес дослідження впливу ПАР на процес вибухового руйнування. Виходячи з властивостей досліджуваної мінеральної системи в якості ПАР був обраний катіоноактивний реагент АНП (суміш амінів C_{14} - C_{16}), який активно адсорбується на силікатних мінералах.

Дані рис. 2, 3 свідчать, що при підриванні у водному середовищі, що містить реагент АНП, руйнування породи інтенсифікується - середньозважений діаметр шматків зменшується на 25-30%. Цікаво, що дія ПАР проходить через концентраційний максимум - найбільший ефект від АНП спостерігається при концентрації 0,2-0,3%. З ростом концентрації ПАР більше 0,3% ефективність падає. Мабуть, це може бути пояснено тим, що при перевищенні критичної концентрації міцелоутворення (ККМ) відбувається утворення міцел зі зворотною орієнтацією молекул ПАР, які мають меншу активність.

Рис. 3. Вплив концентрації АНП на результати вибухового дроблення: 1 - 3 – питомі витрати ВР відповідно 0,30; 0,75; 1,50 г/кг



Порівнюючи відносний вплив збільшення питомої витрати ВР при дії різних факторів (рис. 2), можна відзначити, що найбільший ефект спостерігається від поєднання сильнополярного середовища - води з ПАР і підвищеного вибухового навантаження.

Для оцінки впливу середовища, в якому здійснюється підривання, на накопичення мікродфектів в матеріалі була проведена серія дослідів з подрібнення зразків, які піддавалися вибуховому навантаженню, в дволітрових кульових млинах, встановлених на рольгангах. Подрібненню піддавалися частини проби П-2, підірвані в повітрі, воді та керосині з питомою витратою ВР, рівною 1,5г/кг. На рис. 4 наведені дані, що свідчать про те, що проби, підірвані у водному середовищі, при мокрому кульовому подрібненні подрібнюються значно швидше, ніж проби, підірвані в неполярному середовищі - керосині або повітрі. Це свідчить про те, що розклинюючий ефект води, який реалізується в момент вибуху, сприяє збереженню мікротріщин, які забезпечують поліпшення подрібнюючих можливостей матеріалу.

Цікаво, що підривання у водному середовищі сприяє руйнуванню мінеральних зростків по площинах спайності, про що свідчить зменшення шламоутворення при подрібненні проб, підготовлених різними способами (рис. 5).

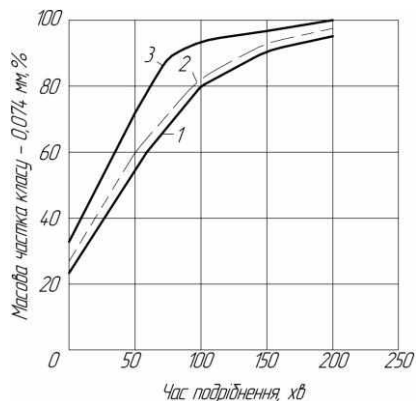


Рис.4. Кінетика подрібнення залізистих кварцитів, підірваних у керосині (1), повітрі (2) і воді (3)

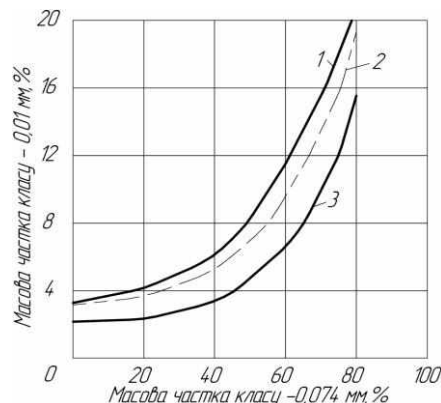


Рис. 5. Кінетика шламоутворення при подрібненні залізистих кварцитів, підірваних в керосині (1), повітрі (2) та воді (3)

Таким чином, отримані дані підтверджують основну умову прояву ефекту Ребіндера: енергія міжфазної взаємодії твердого тіла з середовищем повинна бути того ж порядку, що і енергія зв'язків в самому твердому тілі. Отже, для інтенсифікації вибухового руйнування гірських порід, представлених гідрофільними мінералами, доцільно створювати сільнополярне середовище.

Проведені експерименти свідчать про те, що впровадження технічних рішень, які забезпечили б створення в момент вибуху з підвищеним вибуховим навантаженням середовища з високим вмістом водяної пари або аерозолі з високою концентрацією води, зокрема описані раніше [10], дозволило б знизити питомі витрати енергії на подальше дроблення і подрібнення матеріалу на 15-25%, тобто майже в два рази скоротити їх в порівнянні з показниками, досягнутими на даний час.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Ефективність вибухового навантаження гірської маси залежить від полярності середовища, що контактує з матеріалом в момент вибуху. Для гідрофільних мінеральних агрегатів, наприклад, окислених залізистих кварцитів, ефективність вибухового руйнування підвищується з ростом полярності середовища.

Вплив полярності середовища на результати вибухового руйнування посилюється зі зростанням вибухового навантаження (питомої витрати ВР) і має деяке оптимальне значення, залежне від властивостей мінеральної системи.

При вибуховому руйнуванні гідрофільних мінеральних систем у водному середовищі введення ПАР, які активно адсорбуються на твердій фазі, інтенсифікує процес руйнування. При перевищенні ККМ ефективність дії ПАР знижується.

Подрібнення рудної маси, підірваної в сільнополярному середовищі, протікає з більшою швидкістю і меншим шламоутворенням, ніж маси, підірваної в неполярному середовищі.

Список літератури

1. Влияние интенсивности взрывных нагрузок на технологические свойства железистых кварцитов/Ю. С. Мец, В. Я. Шварцер, П. А. Гонтаренко, Т. Н. Гапич//Обогащение руд. 1981. № 1. С. 5—8.
2. Влияние технологии взрывной рудоподготовки на самоизмельчение и обогащение крепких руд/ Лисянский Л.Н., Антонов А.Ю., Ширяев А. А. и др.// В кн.: Пути повышения качества концентратов руд черных металлов, М.: Недра, 1988 13-17 с.
3. Антонов А.Ю. Исследование усталостного микросекундного взрывания/ Антонов А.Ю., Мец Ю.С., Федоренко П.И.// Гірничий вісник . Збірник наукових праць Криворізького національного університету - 2019. - Вип. 105.- С.99-102.
4. Хопунов Э.А. Исследование механизма селективного разрушения руд/Интенсификация технологических процессов рудоподготовки: Междвед. сб. науч. тр./«Механобр». Л., 1987. С. 116—135.
5. Ребиндер П.А., Шрейнер Л.А., Жигач К.Ф. Понижители твердости в бурении. М.—Л., 1944. 200 с.
6. Евсеев В.Д. Механизмы влияния жидкости на разрушение горных пород при вдавлиании индентора // Труды XIII Международного научного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр». Томск, 2009. С. 499 - 502
7. Физико-химические аспекты измельчения — обзор применения добавок/ЦООНТИ/ВПО. № 4569. Киев, 18.12.85. 36 с. Пер. ст. El-Shall H. Somasundaran P. из журн.: Powder Technology. 1984. N0. 3. P. 275—293.
8. Кусов Н. Ф., Эдельштейн О. А., Шоболова Л. П. Применение адсорбционно-активных сред для понижения сопротивляемости горных пород разрушению//Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем: Респ. межвед. сб. науч. тр./АН УССР, Ин-т коллоидной химии и химии воды. Киев, 1986. Вып. 18. С. 41—46.
9. Гладков П.Д., Рогачев М.К. Исследование влияния гидрофобизирующих составов на механическую прочность образцов полимиктовых песчаников/Санкт-Петербургский государственный горный университет, Санкт-Петербург, Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2012, №1 <http://www.ogbus.ru>
10. А.С. 1623303 (СССР), МКИ Е 21 С 37/00 Способ разрушения горных пород/ А.А. Гурин, А.Ю. Антонов, В.А. Арсентьев, 1988 г.

О. Є. ЛАПШИН, О. О. ЛАПШИН, доктори техн. наук, професори,
М. В. ХУДИК, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ПІДНЯТТЄВИХ ВИРОБОК В ШАХТАХ

Мета. Метою цього дослідження є підвищення безпеки праці при проведенні гірничих виробок в умовах шахт. Для видобутку корисних копалин (залізна руда, кам'яне вугілля, мідні руди та ін.) при їх підземній розробці, гірничовидобувні підприємства проходять велику кількість гірничих виробок різного призначення (горизонтальні, вертикальні, похилі). Наявність розгалуженої системи гірничих виробок у шахтах створює великі труднощі для створення безпечних та комфортних умов праці за якістю складу шахтної атмосфери. Внаслідок низької ефективності вентиляції у вибоях тупикових виробок можуть відбуватись одиночні та групові гострі професійні отруєння, особливо при проведенні піднятєвих виробок, оскільки отруйні гази легші за повітря і збираються у верхній частині такої виробки.

Методи дослідження. На основі аналізу умов проведення піднятєвих гірничих виробок та узагальнення літературних джерел були визначені основні небезпечні і травмуючі фактори, а також описані заходи для зменшення їх негативного впливу на працюючих.

Наукова новизна. Надано характеристику небезпечного пилогазового утворення при проведенні піднятєвих виробок буро-підривним способом та обґрунтовано метод його знешкодження за допомогою активованої водоповітряної суміші.

Практична значимість. Розроблено конструкцію установки для знешкодження і видалення шкідливих пилогазових утворень після підривання шпурів за межі піднятєвої виробки. Застосування технічних засобів, які утворюють водоповітряну суміш, дозволяє нейтралізувати отруйні гази протягом регламентованого проміжку часу.

Результати. Наведено кількісні величини і концентрації шкідливих речовин, що утворюються під час підривання шпурів у вибоях виробок, дається аналіз способів і засобів їх неефективного провітрювання. Розроблено пристрій для знешкодження і видалення шкідливих пилогазових утворень з вибою виробки, що дозволяє підвищити безпеку працюючих при проведенні піднятєвих виробок в умовах шахт. Дається організаційний алгоритм виконання робіт для проведення піднятєвої виробки в умовах шахти.

Ключові слова: виробка, вибій, повітря, пил, гази, пристрій, вибух, безпека.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-51-56

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Розробка родовищ корисних копалин підземним способом потребує проведення великої кількості горизонтальних, похилих і вертикальних виробок. Провітрювання цих виробок ускладнюється відсутністю ефективного вентиляційного обладнання. Для цього використовуються громіздкі металеві трубопроводи та прогумовані рукава разом з вентиляторами місцевого провітрювання (ВМП), які утворюють надмірний шум, що шкідливо впливає на працюючих. Особливою складністю та небезпекою характеризуються процеси проведення піднятєвих виробок буро-підривним способом. Підривання шпурових зарядів у вибоях піднятєвих виробок супроводжується виділенням в атмосферу пилу і шкідливих газів. Провітрювання вибоїв таких піднятєвих ускладнюється тим, що під час вибухів відбувається руйнування вентиляційного трубопроводу, а його відновлення потребує додаткових витрат часу в робочому циклі проведення піднятєвого.

В роботі запропоновано спосіб очищення повітря від пилу і шкідливих газів у вибої піднятєвого за допомогою пристрою, який утворює водоповітряну суміш і подає її у вибій під час вибуху. В результаті взаємодії водоповітряної суміші з пилом і шкідливими газами відбувається їх нейтралізація за регламентований проміжок часу, що сприяє підвищенню безпеки при проведенні піднятєвої виробки.

Аналіз досліджень і публікацій. Питанням безпеки праці при проведенні гірничих виробок буро-підривним способом присвячені дослідження Гагауза Ф. Г., Лапшина О. О., Слюсаренка В. Г., Янова А. П., Ярембаша І. Ф. та ін., у яких викладені теоретичні і практичні питання знешкодження шкідливих викидів під час підривання шпурів [1].

Практичні рекомендації, що наводяться у відомих роботах, свідчать про доцільність використання зрошувальних систем для пилогазоподавлення. Перевага застосування зрошувальних систем є очевидною, оскільки вони характеризуються простотою і доступністю [2]. Частина публікацій присвячена розробленню способу зменшення пилогазоутворення при підриванні

шпурів в процесі проведення виробок із застосуванням внутрішньої водяної і гідрогелевої набивки, при цьому її об'єм рекомендовано приймати рівним 400 см³ в кожен шпур, ефективність пилогазоподавлення підвищується до 75-80 % [3].

Аналіз досліджень, пов'язаних з пилоподавленням, дає підставу вважати, що найбільш складним є нейтралізація шкідливих газів. Для зниження їх концентрації застосовується диспергована вода, при цьому застосовують зрошувачі ОК-1, ОЗ-1, ОЗ-2. Незважаючи на їх позитивні характеристики, щодо диспергування води, ефективність нейтралізації шкідливих газів становить 19,6 %, а знепилення 28,9 % [4].

В науково-дослідному інституті НДІБПГ для провітрювання і пилогазоподавлення при проведенні гірничих виробок запропоновано спосіб із застосуванням ежектора-піногенератора – ЕКГ [3]. Даний пристрій здійснює провітрювання і часткове пилоподавлення. Його застосування є неефективне, далекобійність струменя не перевищує 4 м, а на такій відстані апарат руйнується вибухом, тому цей піногенератор не знайшов застосування на шахтах Кривбасу.

На шахтах кольорової металургії для боротьби з пилом і газами найшли застосування гідропасті, які використовують як набивку шпурів [6, 7]. До складу гідропасті входить рідке скло, хлоридна кислота і розчин перекису водню (H₂O₂). Таку пасту подають в шпури стисненим повітрям. З метою уникнення отруєння і опіків, для приготування паст використовують розбавлену хлоридну кислоту. Така технологія приготування паст є неприйнятною для гірництва. До того ж випробування гідропаст в умовах шахт Березовського ШСУ засвідчило, що ефективність нейтралізації газів становить 50 %, а пилу – 58 % [8].

Для очищення рудникової атмосфери від пилу і газів рекомендовано використовувати дисперговану рідину, утворювану відцентровими форсунками. Автором були випробувані більше 100 форсунок з продуктивністю від 5 до 50 л/хв. Випробування показало, що ефективність очищення повітря від СО становить 25-30 % [2].

У підсумку можна констатувати, що зрошення пилогазової суміші дисперговою водою не отримало широкого застосування через низьку ефективність очищення від: пилу – не більше 75 %, диоксиду азоту – до 50 %, оксиду вуглецю – до 25 %.

Спільний вплив шкідливих газів і пилу на організм працюючих призводить до інтенсивного розвитку у них пилового бронхіту. Так, по даним інституту промислової медицини найбільш високий рівень професійних захворювань на пиловий бронхіт спостерігається у працівників при підземному видобуванні залізної руди [5].

Постановка задачі. Проведення гірничих виробок буро-підричним способом супроводжується виділенням в атмосферу великої кількості шкідливих газів і пилу, концентрації яких перевищують допустимі значення, що призводить до передчасної захворюваності працюючих на підземних роботах. У зв'язку із цим, завданням цього дослідження є визначення ефективних засобів нейтралізації шкідливих газопилових виділень та розроблення установки, що дозволить здійснювати повітрообмін у вибоях тупикових виробок.

Викладення матеріалу та результати. Аналіз способів нейтралізації шкідливих газів і пилу, які застосовуються при проведенні гірничих виробок дозволяє виділити дві основних групи. До першої групи відносяться способи нейтралізації шкідливих газів і пилу, які ґрунтуються на застосуванні диспергової води для вловлення пилових часток і розчинення шкідливих газів. До цієї групи можна віднести способи, що передбачають використання добавок хімічних речовин у водний розчин для підвищення ефекту пилогазоподавлення [8, 9].

До другої групи відносяться способи, які передбачають видалення продуктів вибуху з об'єму тупикової виробки шляхом провітрювання вибою вентиляторами або ежекторами з використанням стисненого повітря. Для аргументації наведеного вище надається табл. 1, яка містить різні способи нейтралізації газів і знепилення повітря у виробках [10].

Разом з цим пилогазоподавлення дисперговою водою має невисоку ефективність в межах 50-60 % пилу, 20-30 % оксиду вуглецю і 55-75 % оксидів азоту. Добавка хімічних речовин в дисперговану воду дозволяє підвищити уловлювання пилу на 5-10 %, проте підвищення нейтралізації шкідливих газів відбувається, в основному оксидів азоту, – на 15-20%, оксид вуглецю внаслідок своєї стійкості нейтралізується в присутності хімічних добавок незначно. Застосування сухих способів очищення забрудненого вибуховими роботами повітря не отримало застосування, незважаючи на досить високу ефективність і при остаточному виборі способу розглядатися не буде.

Аналіз способів гідропилогазоподавлення показав, що їх ефективність залежить від властивостей диспергованої рідини (вода, водні розчини хімічних речовин), а також від засобів їх диспергування і подачі в зону викиду вибуховими роботами шкідливих домішок. Аналізуючи, ефективність застосовуваних засобів пилогазоподавлення звертаємо увагу на доступність їх використання в умовах проходки виробки. Так, гідронабивки, в основному використовуються при зарядці шпурів готовими патронами. При пневматичній зарядці гранульованими і порошковими вибуховими речовинами використання гідронабивки представляє певну складність [11-14].

Таблиця 1

Ефективність нейтралізації шкідливих газів і пилу при підриванні шпурів у виробках

Найменування способу	Технічна характеристика способу і умови застосування	Ефективність пилогазоподавлення, %		
		пилу	СО	NO+NO ₂
І. Гідропилогазоподавлення дисперговою водою				
Гідронабивка шпурів	Поліетиленові ампули діаметром 38-40 мм, довжиною 0,4 м; витрата - 0,4 л води на шпур. Застосовується при підриванні	51-52	14-15	45-48
Гідрогелева набивка шпурів	Поліетиленові ампули діаметром 38-40 мм, довжиною 0,3 м. Склад: аміачна селітра, рідке скло, вода. Застосовується при підриванні	50-75	25-50	75-80
Гідропастова набивка шпурів	Поліетиленові ампули діаметром 38-40 мм, довжиною 0,3 м. Склад: рідке скло, розчин слабкої хлоридної кислоти, 3% розчин перекису водню. Застосовується під час вибуху	60-61	40-42	56-58
Зовнішня гідронабивка шпурів	Оболонки (15-20 л на 1 м ² вибою) підвищуються у вибої. Вибухову речовину розміщують в середині оболонки. Застосовується під час вибуху	80-85	25-30	46-48
Зрошення дисперговою водою	Установка туманоутворювачів на відстані 10-15 м від вибою. Застосовується під час вибуху	48-51	12-14	42-45
	Установка форсунок механічної дії на відстані 40-50 м від вибою	75-80	25-30	70-80
Зрошення водою з установкою форсунок	Установка форсунок на відстані 10-15 м від вибою. В дисперговану воду подають 0,3-0,5 % розчин KMnO ₄ за допомогою дозатора. Застосовується під час вибуху	84-91	50-51	90-95
Зрошення водо-повітряною сумішшю з добавкою перекису водню (H ₂ O ₂)	Установка форсунок на відстані 10-15 м від вибою. В форсунку подається 3 %-ний розчин перекису водню. Застосовується після вибуху	60-61	40-42	56-58
Очистка повітря водяними струменями в трубопроводах	Трубопроводи для подачі та відсмоктування забрудненого повітря. Форсунки вмонтовані в трубопроводи	93-95	20-25	70-75

Використання зовнішньої гідронабивки (поліетиленові оболонки ємністю 15-20 л) вимагає виготовлення спеціального патрона і електродетонаторів у водонепроникних оболонках, які поміщаються в ємність наповнену водою. Наповнення оболонок водою, постачання їх патронами-бойовиками, а потім підвіска перед вибухом у виробці ускладнюють процес вибухових робіт, тому ці засоби не застосовуються.

Використання добавок хімічних речовин для підвищення ефективності пилогазоподавлення вимагає встановлення додаткового обладнання: спеціальних ємностей, дозаторних пристроїв, іншої запірної апаратури. До того ж обслуговування таких установок, вимагає спеціальної підготовки гірників і прийняття додаткових заходів безпеки, пов'язаних із зберіганням і використанням хімічних речовин. Однак, для реалізації обґрунтованих способів і засобів зменшення вмісту домішок в атмосфері тупикових виробок необхідна розробка компактною спеціальної установки, що відрізняється далекобійністю дрібнодисперсних крапель і підвищеною ефективністю використання ВМП.

Нижче зупинимось на розробці конструкції пневмогідравлічної установки для пилогазоподавлення після підривання шпурів у вибої виробки. Ця установка повинна утворювати високодисперсний аерозоль (суміш), здатний нейтралізувати шкідливі гази і пил шляхом коагуляції,

розчинення і витіснення на вихідний вентиляційний струмінь, який протікає в наскрізній виробці. При цьому водоповітряна суміш повинна мати активовані властивості, які прискорюють коагуляцію пилу і нейтралізацію газів.

Аналіз способів розпилення рідини свідчить про перевагу пневматичного розпилювання перед механічним, яке полягає у наступному: отримання тонко дисперсної суміші; здатність переміщати дрібні краплі рідини на відстань більше 20 м. Крім того, вихідний струмінь за рахунок адіабатного розширення втрачає температуру, що сприяє охолодженню атмосфери в місці вибуху, конденсації вологи і коагуляції пилу.

Аналіз роботи пневматичних форсунок показав, що хороше диспергування забезпечується, якщо на 1 кг рідини витрачається 1 кг повітря, яке її розпорошує [6, 7]. Основними параметрами, що визначають режим роботи установки є: а) тиск рідини перед форсункою; б) швидкість повітря; в) співвідношення між ваговими витратами рідини і повітря. Пневмогідралічна установка ПГФВ наведена на рис. 1.

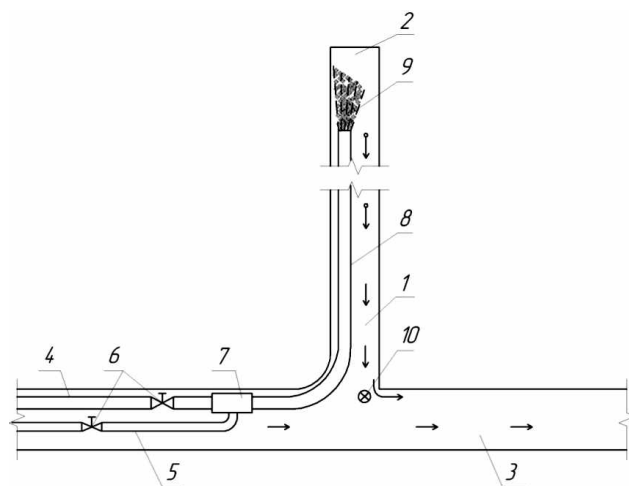


Рис. 1. Схема установки ПГФВ для очищення повітря після підривання шпурів: 1 – тупикова гірничо-виробка (піднятцевий); 2 – вибої виробки; 3 – наскрізна виробка; 4 – трубопровід для подачі стисненого повітря; 5 – трубопровід для подачі води; 6 – вентилі; 7 – форсунка ПГФ-2; 8 – трубопровід для подання водоповітряної суміші у вибої; 9 – факел водоповітряної суміші; 10 – замірна станція

Провітрювання піднятцевого 1 здійснюється наступним чином. Після підривання шпурових зарядів у вибої 2 відкриваються вентиля 6, при цьому стиснене повітря (трубопровід 4) і вода (трубопровід 5) надходять в пневматичну форсунку 7, яка утворює водоповітряну суміш. Під тиском від пневматичної форсунки 7 водоповітряна суміш подається трубопроводом 8 до вибою

2 назустріч викиду вибухом забрудненого повітря. В обмеженому просторі вибою 2 відбувається взаємодія факела водоповітряної суміші 9 з шкідливими домішками повітря, викинутого вибухом. Очищення забрудненого повітря у вибої тупикової виробки відбувається шляхом активної коагуляції аерозолів з пилом і нейтралізації отруйних газів в результаті їх адсорбції на субмікроскопічних краплях води. На виході з піднятцевого 1 в замірній станції 10 вимірюють вміст шкідливих домішок в повітрі, що витіснюється з вибою 2. Вимірювання здійснюють до поки їх вміст не знизиться до межі допустимої санітарними нормами. Після нормалізації атмосфери у піднятцевому 1 вентилі 6 закриваються, пневматична форсунка 7 перестає утворювати водоповітряну суміш.

Організація робіт і заходи безпеки. Для проведення піднятцевого 1 першочергово засікають нішу розміром: глибина – 2 м; ширина – 1,8 м; висота – 1,8 м. При проведенні піднятцевого висотою до 5 м від підлоги ніші, обладнання під буріння укріплюють шляхом установки на підлошві кострового кріплення (дерев'яного настилу). Подальше обладнання піднятцевого під буріння здійснюється шляхом установки розстрілів і драбин та настилу дерев'яних полків.

Після здійснення вибуху у піднятцевому відбувається його провітрювання за допомогою установки ПГФВ. Гірничий майстер здійснює експрес-аналіз повітря. Якщо виявлено наявність шкідливих газів (CO , NO_2) – провітрювання триває до повної нормалізації атмосфери. Підходити до піднятцевого дозволяється тільки після аналізу атмосфери по наскрізній виробці 3 з боку надходження свіжого повітря; при собі необхідно мати саморятувальник. Роботу у піднятцевому 1 дозволяється розпочинати при концентрації газів нижче ГДК. Прибирання відбитої гірської маси здійснюється після підривання шпурів з метою запобігання запечатування піднятцевого. Після проведення піднятцевого на висоту 7-9 м його обладнують люком для вивантаження відбитої породи у вагон. Всі роботи проводяться з дотриманням усіх необхідних заходів безпеки, які регламентуються відповідними нормативними документами. Відповідальний за безпеку змінний гірничий майстер.

Перед підриванням шпурів, підричник, зобов'язаний перевірити справність вентиляційної системи, правильність обмурювання вибою у відповідності із паспортом буро-підричних робіт (БПР). Перед початком заряджання шпурів підричник зобов'язаний виставити пости охорони і аншлаги згідно паспорту БПР. Подати звуковий сигнал – один довгий (попереджувальний), відключити електричну енергію. Заряджання здійснювати вручну за допомогою дерев'яної забійки. При виготовленні патрону-бойовика, заглиблення в патроні вибухової речовини для електродетонатора утворюють з використанням алюмінієвої наконечника. Зарядивши вибій і зібравши електричну мережу або хвильоводи, перед прокладанням магістралі, підричник розбирає дошки з полків, закріплює їх з одного боку на попереджувальний полок. Після заряджання і комутації підривної мережі, підричник з безпечного місця здійснює перевірку цілісності мережі і вмикає установку ПГФВ для пилогазоподавлення і провітрювання. У відповідності із графіком проведення підричних робіт, подає звуковий сигнал – два довгих (бойовий), здійснює вибух, відключає підривну машинку, а кінці підривної мережі закорочує і подає звуковий сигнал відбій (три коротких). Всі працівники, які не задіяні на підривних роботах повинні бути виведені з небезпечної зони та дотримуватися графіку ведіння підричних робіт.

Висновки та напрямок подальших досліджень.

1. Проведення піднятиєвих виробок відрізняється небезпекою травмування падаючими кусками породи, падінням з драбин і отруєнням шкідливими газами після підривання шпурів у вибоях.

2. Зрошення пилогазових викидів при підриванні шпурів у вибої не дозволяє очистити повітря від пилу і газів до санітарних норм, а засоби провітрювання руйнуються під час вибуху.

3. Використання водоповітряної суміші, як засобу поглинання пилу і нейтралізації шкідливих газів у вибоях після підривання шпурів дозволяє знизити їх концентрацію до ГДК за регламентований проміжок часу.

4. Застосування установки ПГФВ, яка утворює водоповітряну суміш, є прийнятним способом для боротьби з пилом і шкідливими газами при проведенні гірничих виробок в шахтах.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку заходів безпеки при проведенні піднятиєвих з використанням бурової автоматизованої технології.

Список літератури

1. Гагауз Ф. Г., Дребница А. В. Состав и количество ядовитых газов при ведении взрывных работ в подземных горных выработках // В сб. Взрывное дело. - М.: Недра, 1970. - № 68/25/. - С. 19-23.
2. Ярембаш И. Ф. Очистка рудничной атмосферы после взрывных работ. - М.: Недра, 1979. - 191 с.
3. Янов А. П., Ващенко В. С. Защита рудничной атмосферы от загрязнения. - М.: Недра, 1977. - С. 61-71.
4. Журавлев В. П., Саранчук В. И., Рекун В. В. и др. Моделирование и проектирование систем гидрообеспыливания. - К.: Наукова думка, 1990. - 120 с.
5. Орехова О. В. Професійний ризик розвитку захворювань при підземному добуванні залізної руди / Зб. наук. праць співр. НМАПО ім. П. Л. Шупіка. - 2017, № 27. - С. 457-464.
6. Лапшин О. О. Знешкодження отруйних газів і пилу в гірничих виробках шахт / О.О. Лапшин // Проблеми охорони праці в Україні. - 2002. - С. 35-39.
7. Лапшин А.Е. Уменьшение распространения пыли в атмосфере на промплощадках горных предприятий / А.Е. Лапшин // Разработка рудных месторождений. - 1995. - Вып. 56. - С. 128-137.
8. Аерологія гірничих підприємств: підручник / А. О. Гурін, П. В. Бересневич, А. А. Немченко, І. Б. Ошмянський. - Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2007. - 462 с.
9. Лапшин А.А. Математическое моделирование процессов проветривания тупиковых выработок / Лапшин А.А., Серебренников Э.В. // Разработка рудных месторождений. - 2002. - Вып. 81. - С. 138-143.
10. Ошмянський І.Б. Настанова з проектування вентиляції рудних шахт / І.Б. Ошмянський, О.Є. Лапшин, О.О. Лапшин. - Кривий Ріг: ДП НДІБПГ, 2011. - С. 110.
11. Лапшин О. Є.. Охорона праці в гірництві / О. Є. Лапшин, О. О. Лапшин, Д. О. Лапшина. - Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2018. - 273 с.
12. Goodman, G.R., Pollock, D.E., Beck, T.W. A comparison of a directional spray system and a flooded-bed scrubber for controlling respirable dust exposures and facegas concentrations. Proceedings of the 10th U.S. / North American Mine Ventilation Symposium (Anchorage, AK, May 16-19, 2004), pp. 241-248.
13. Volkwein, J.C., Vinson, R.P., Page, S.J., McWilliams, L.J., Joy, G.J., Mischler, S.E., Tuchman, D.P. (2006) Laboratory and field performance of a continuously measuring personal respirable dust monitor. Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH). № 2006-145, RI 9669.
14. Chekan, G.J., Listak, J.M., Colinet, J.F. Laboratory testing to quantify dust entrainment during shield advance. Proceedings of the 7th International Mine Ventilation Congress (Krakow, Poland, June 17-22, 2001), pp. 291-298

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ ПРИ ХОЛОДНОМУ
ПРОКАТУВАННІ ТОНКИХ ЛИСТІВ**

Мета. Дослідити витрати енергії при холодному прокатуванні тонких сталевих листів і скласти енергетичний баланс процесу. Сучасний розвиток прокатного виробництва пов'язаний з раціональним використанням енергетичних ресурсів. Технологія виготовлення тонких листів, які в подальшому використовуються в машинобудуванні та будівництві, постійно удосконалюється з метою підвищення продуктивності устаткування, поліпшення якості виробів і зменшення собівартості процесу. При розробці нових технологічних процесів велика увага приділяється енергозбереженню, тому дослідити витрати енергії при холодному прокатуванні тонких листів і скласти енергетичний баланс процесу є задачею актуальною, вирішення якої дозволить контролювати витрати енергії на прокатування.

Методи дослідження базуються на використанні фундаментальних положень теорії обробки металів тиском і розрахункових методів визначення енергосилових параметрів прокатування.

Наукова новизна полягає у тому, що при дослідженні енергетичних складових процесу холодного прокатування було виявлено прихід надлишкової енергії в осередок деформації.

Практична значимість роботи полягає у встановленні раціональних режимів обробки, що дозволяють зменшити витрати енергії на прокатування тонких листів.

Результати. Було детально досліджено осередок деформації при холодному прокатуванні. Встановлено прихідні статті енергетичного балансу й енергетичні витрати в осередку деформації на перетворення енергії в кінетичну енергію розкату, нагрівання металу при обробці, потенційну енергію утворення нової поверхні, роботу деформації. При дослідженні враховувались опір матеріалу пластичній деформації та його зміни при холодному обтисненні. Було запропоновано оновлену методику розрахунку енергетичного балансу осередку деформації при холодному прокатуванні тонких листів та перевірено збалансування розрахованого енергетичного балансу. Розрахунки показали, що при прокатуванні тонкого листа при кімнатній температурі енергія перетворюється в теплоту та витрачається на зміцнення металу. Збалансувати прихід і витрати енергії можна збільшенням температури в осередку деформації. При цьому зростає тепловміст металу без зростання його міцності у випадку холодного прокатування.

Ключові слова: осередок деформації, холодне прокатування, тонкий лист, кінетична енергія, потенційна енергія, енергетичний баланс.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-56-61

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Велику частку металовиробів, що використовуються в машинобудуванні, будівництві, транспорті, авіації та інших галузях, складає листопрокатна продукція, до якої пред'являються високі вимоги за точністю розмірів і якості внутрішнього шару при мінімальній собівартості.

Подальший розвиток листопрокатного виробництва пов'язаний з використанням нових передових технологій, що забезпечують раціональне використання енергетичних ресурсів. У зв'язку з цим пропонується дослідити витрати енергії на процес холодного прокатування тонких листів з метою оцінки витрат енергії в залежності від режимів обтиснення. Це дозволить визначати раціональні режими обтиснення при роботі прокатних станів, що підтверджує актуальність даної статті.

Аналіз досліджень і публікацій. При підвищенні ефективності металургійного виробництва особлива увага приділяється поліпшенню якості металовиробів [1] і зменшенню енерговитрат при прокатуванні. Одним з головних напрямів розвитку листопрокатного виробництва в Україні є створення прогресивних технологій, що дозволяють зменшити витрати енергії, підвищити якість та конкурентоспроможність продукції, що випускається.

Тонкий лист виготовляється холодним прокатуванням з гарячекатаних листів. Введення в експлуатацію на металургійних підприємствах високошвидкісних прокатних станів ставить питання про необхідність розробки нових і удосконалення існуючих режимів холодного прокатування [2] тонких листів [3].

Листопрокатне виробництво є доволі матеріалоемним і не може часто виконувати масштабне технічне переозброєння, тому нові технологічні процеси повинні базуватися на глибоких знаннях про досліджуваний об'єкт. Поглиблені уявлення про процеси листопрокатного виробництва дозволяють надати достовірну кількісну й якісну оцінку тим явищам, що мають

місце в осередку деформації при обробці тиском, і на їх основі створювати ресурсо- та енергозберігаючі технології.

Важливою умовою розвитку теорії та технології листопрокатного виробництва є виявлення фізичних закономірностей в поведінці деформуємого металу, враховуючи його контактну взаємодію з прокатними валками, та розробка нових методів розрахунку технологічних параметрів, які мають істотний вплив на витрати енергії при прокатуванні [4, 5].

Теорія і технологія листопрокатного виробництва на сьогоднішній день досягли суттєвих результатів у підвищенні продуктивності устаткування й якості готової продукції. Але методи, що використовуються в розрахунках енергосилових параметрів, мають безліч умовностей і припущень, існує декілька спрощень в кінематичних розрахунках, які зменшують точність важливих обчислень. Тому потрібно застосувати новий підхід до розрахунків енергосилових параметрів, виявити закономірності зміни деформаційних і кінематичних чинників в осередку деформації при холодному прокатуванні тонких листів.

При прокатуванні листів відбувається обтиснення металу за висотою. При цьому здійснюється подовження і розширення металу. Під час прокатування утворюється осередок деформації, параметри якого наведено на рис. 1.

Вважається [2], що між лініями M і N знаходиться дійсний осередок деформації, а між лініями AA' і BB' – геометричний осередок деформації. На утворення осередка деформації витрачається велика кількість енергії [6, 7]. Аналіз літературних джерел [5-7] показав, що для забезпечення раціональних витрат енергії потрібно детально розглянути ці витрати за окремими статтями і скласти енергетичний баланс.

Мета статті – дослідити витрати енергії при холодному прокатуванні тонких листів і розрахувати енергетичний баланс.

Викладення матеріалу та результати. Використовуючи інформацію про те, що на вході в осередок деформації відбувається інтенсивне зменшення границі текучості матеріалу внаслідок роботи деформації і виділення тепла в осередку деформації, під впливом швидкості та ступеня деформації метал зміцнюється [8, 9]. Щоб здійснити його розширення і подовження, необхідно збільшити зусилля валків. Для визначення рівноважної температури металу в осередку деформації, при якій сталь витікатиме з осередку деформації без збільшення зусиль валків, складемо енергетичний баланс осередку деформації [9].

Теплота розкату [10], кДж/с

$$Q_{oo}^{pb} = \xi \rho_b^{tb}, \quad (1)$$

де i_b^{tb} – тепловміст матеріалу розкату при температурі виходу з валків; ρ – густина сталі, $\rho=7750$ кг/м³; ξ – об'ємна продуктивність, м³/с.

Прирівнявши за законом збереження енергії суму приходних статей до суми витратних статей енергетичного балансу і прийнявши, що метал входить в осередок деформації при кімнатній температурі та з відповідною границею текучості, а виходить з осередку деформації при більшій температурі та з меншою границею текучості внаслідок виділення тепла за рахунок роботи деформації, можна визначити методом наближення температуру металу, яку він набуває при прокатуванні.

Використавши рівняння (1), визначили температуру сталі на виході з осередку деформації. Результати розрахунків зведено в табл. 1; параметри режимів взято з джерела [9].

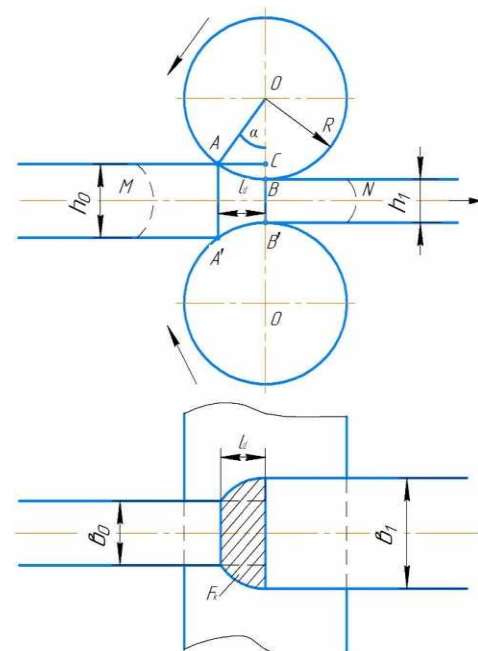


Рис. 1. Схема осередку деформації: $ABB'A'$ – осередок деформації; h_0 – початкова товщина листа; h_1 – товщина листа після деформації; R – радіус прокатних валків; F_k – площа контакту листа з прокатними валками; α – кут захоплення; b_0 – ширина смуги до прокатування; b_1 – ширина смуги після прокатування; L_d – довжина осередку деформації; M – течія металу до входу в осередок деформації, N – течія металу на виході з осередку деформації [2]

Як бачимо з табл. 1, результати визначення температури листа на виході з валків, виконані за рівнянням енергетичного балансу осередку деформації, підтверджують зміну границі текучості, визначену методом наближення до рівності приходу і витрати суми енергій.

Однією з приходних статей енергетичного балансу осередку деформації є енергія заготовки перед входом у валки, що складається з тепловмісту, кінетичної та потенційної енергії заготовки [6, 11, 12]. Кінетична енергія як заготовки, так і розкату характеризується їхньою масою та швидкістю. Потенційна енергія і заготовки, і розкату представлена поверхневою енергією та міцністю.

Таблиця 1

Результати визначення зміни границі текучості сталі

Температура заготовки, $t_{пр}$, °C	Колова швидкість поверхні валків, v_b , м/с	Границя текучості сталі, кДж/кг	Ступінь деформації, %	Швидкість деформації, s^{-1}	Температура розкату, t_b , °C	Зміна температури в осередку деформації, Δt_b , °C	Границя текучості сталі при виході з валків, кДж/кг	Зміна границі текучості в осередку деформації, кДж/кг
50	20	2,57	8	$0,77 \cdot 10^6$	376	329	1,98	-0,59
100	15	2,48	12	$1,4 \cdot 10^6$	786	686	1,26	-1,22

Зауважимо, що сталій процес прокатування розпочинається після утворення осередку деформації, тобто виділена питома довжина заготовки $l_0 = 1$ м уже має передісторію довжиною $R \sin \alpha$, де 2α – кут між дотичними в симетричних точках контакту нижнього і верхнього валків у мить утворення осередку деформації, а α – кут захвату, як його розуміють в теорії повздовжньої прокатки [2, 11, 12]. Після захвату лінійна швидкість руху заготовки в напрямку прокатування дорівнює коловій швидкості валків v_b . З такою ж швидкістю рухається і осередок деформації в напрямку, протилежному напрямку прокатування [13].

Одночасно з входом заготовки (її переднього краю) в міжвалковий робочий простір, тобто в осередок деформації здійснюється симетричне двобічне стиснення металу. Це стиснення при сталому режимі прокатування можна вважати адіабатичним, враховуючи малу тривалість перебування металу в осередку деформації, що сприяє збільшенню пластичності, тобто текучості та зменшенню в'язкості металу внаслідок виділення тепла при виконанні роботи його деформації. Згідно з нашою концепцією розгляду вмісту осередку деформації як високов'язкої рідини вважаємо, що в об'ємі цього осередку деформації діє закон Паскаля, тобто тиск, створюваний валками на поверхню заготовки при вході в осередок деформації миттєво (зі швидкістю звуку) розповсюджується по всьому деформованому об'єму. Такі умови створюють можливість витікання металу в розширення і в подовження, а в калібрах – тільки в подовження. Саме нормальні напруження, віднесені до площі контактної поверхні між валками і розкатом, утворюють силу, яка виконує роботу деформації розкату. Дотичні ж напруження в контактній міжвалковій поверхні, віднесені до площі цієї поверхні та направлені проти руху валків і напрямку прокатки, формують силу, яка забезпечує швидкість розкату – продуктивність кліті.

Можна по-різному розуміти головну роль сил в осередку деформації: без тягучої сили тертя не може бути прокатування, але без сили тиску немає сили тертя і також не може бути прокатування. Проте все ж очевидно, що радіальна сила тиску валків на штабу за своєю природою є тільки силою, яка потрібна і достатня для здійснення пластичної деформації розкату, тобто є деформуючою силою. Ця сила визначається, насамперед, здатністю тіла чинити опір пластичній деформації в цих умовах, тобто тиском металу на валки, і, звичайно, площею контактної поверхні розкату з валками.

Ця сила є деформуючою, а будь-яка деформація супроводжується витратою енергії. Отже, на певному шляху і при певній швидкості вона здатна здійснити і здійснює той мінімум роботи, який потрібний і достатній для забезпечення заданої деформації розкату за один прохід. Те, що ця сила тиску валків на штабу відносно до валків спрямована радіально, не має ніякого значення відносно до розкату. Важливо лише, що ця сила перпендикулярна до напрямку руху розкату, оскільки лише в цьому разі теоретична сила не здійснює роботи.

Отже робота сили деформації полягає в створенні в осередку деформації тиску – напруження, дещо більшого напруження текучості $\sigma_{0,2T}$, внаслідок чого метал витікає з осередку деформації в розширення і подовження. Загалом сила деформації складається як рівнодіюча

напруження текучості та 20% відносної деформації при обтисненні. Рівнодіюча свою роботу виконує на відстані, яка дорівнює величині обтиснення $\Delta h = h_0 - h_1$. При контактній взаємодії металу та валків утворюється площа контактної поверхні, що обмежує осередок деформації [14, 15]. В процесі прокатування вона змінюється. Рівнодіюча сили напруження і сили нормального тиску на валки завжди цікавила прокатників-вчених. Тому загальновідомі класичні залежності А.А. Дінника [16], С.І. Губкіна [17], М.А. Зайкова [18] і багатьох інших, які дозволяють розраховувати опір деформації, враховуючи температуру, ступінь і швидкість деформації за формулою множинної кореляційної залежності між названими параметрами.

Маючи теоретичну основу енергетичного балансу осередку деформації, розрахуємо приходні статті балансу для досліджуваних режимів прокатування тонких листів. До приходних статей балансу відносяться: фізичне тепло заготовки, механічна енергія валків і потенційна енергія зовнішньої поверхні та її міцності.

Щосекундний прихід теплової енергії в осередок деформації

$$Q_{od}^{nt} = \frac{i_t \rho_m V_{od}}{\tau_{od}}, \quad (2)$$

де i_t – тепловміст сталі, кДж/кг; ρ_m – густина сталі, кг/м³; V_{od} – об'єм осередку деформації, м³; τ_{od} – час перебування металу в осередку деформації.

Кінетична енергія валків надходить в осередок деформації через контактну поверхню протягом перебування металу в осередку

$$W_{od}^{nt} = \sigma_T^t R \frac{b_0 + b_1}{2} v_b \sin \alpha, \quad (3)$$

де b_0 , b_1 – початкова ширина заготовки (осередку деформації) і розкату (кінцева ширина осередку деформації), м; R – радіус валків, м; α – кут захвату; σ_T^t – границя текучості при відповідній температурі.

Прихід потенційної енергії в осередок деформації у вигляді енергії зовнішньої поверхні, кДж/с

$$E_{nn}^{nt} = 2(b_0 + h_0) v_0 \sigma_{nn}^t, \quad (4)$$

де σ_{nn}^t – поверхнева енергія металу, що представляє суму поверхневого натягу та теплової енергії, витраченої на створення нової поверхні при незмінній сумі загальної поверхневої енергії твердого тіла; v_0 – швидкість прокатування на вході в осередок деформації.

Прихід потенційної енергії в осередок деформації у вигляді міцності металу:

$$E_{nmm}^t = \frac{V_{od}}{\tau_{od}} \cdot \frac{\sigma_T^t}{102}, \quad (5)$$

де 102 – коефіцієнт переводу кг·м в кДж.

Сумарний прихід енергії в осередок деформації, кДж/с

$$\sum E_{od}^{nt} = Q_{od}^{nt} + W_{od}^{nt} + E_{nn}^{nt} + E_{nmm}^t \quad (6)$$

До витратних статей енергетичного балансу осередку деформації відносяться: кінетична енергія розкату, потенційна енергія новоутвореної поверхні металу та міцності, робота деформації металу і фізичне тепло розкату.

Кінетична енергія розкату, кДж/с

$$E_{odn}^{bt} = \frac{m v_1^2}{2 \cdot 102} = \frac{\rho b_1 h_1 v_1^3}{2 \cdot 9,81 \cdot 102}, \quad (7)$$

де m – масова продуктивність осередку деформації, кг/с; v_1 – швидкість розкату, м/с.

Втрати потенційної енергії з осередку деформації у вигляді новоутвореної поверхні

$$E_{nn}^{bt} = 2(b_1 + h_1) v_1 \cdot \sigma_{nn}^t. \quad (8)$$

Витрати енергії на зміцнення металу

$$E_{nmm}^{bt} = \frac{V_{od}}{\tau_{od}} \sigma_T^t. \quad (9)$$

Робота деформації металу обчислюється з урахуванням, що в осередку деформації метал обтискується, розширюється та подовжується

$$A_{od}^{bt} = \sigma_T \left(\frac{\Delta h}{h_0} + \frac{\Delta b}{b_0} + \frac{\Delta l}{l_0} \right) \frac{b_{cp} h_{cp} R \sin \alpha}{102 \tau_{od}}, \quad (10)$$

де Δl – подовження смуги, $\Delta l = l_1 - l_0$, l_1 – кінцева довжина смуги; b_{cp} – середня ширина смуги, $b_{cp} = (b_1 + b_0)/2$; h_{cp} – середня товщина смуги, $h_{cp} = (h_1 + h_0)/2$.

Сумарні витрати енергії в осередку деформації, кДж/с

$$\sum E_{od}^{bt} = Q_{od}^{pb} + E_{odn}^{bt} + E_{nn}^{bt} + E_{nmm}^{bt} + A_{od}^{bt}. \quad (11)$$

У табл. 2 зведено основні параметри прокатування в характерних випадках, що використувались у дослідженнях.

Таблиця 2

Параметри прокатування в характерних випадках

α , град	h_0 , мм	h_1 , мм	b_0 , мм	b_1 , мм	t_{pp} , °C	l_1 , м	$V_{od} \cdot 10^{-6}$	$\tau \cdot 10^{-6}$, с	V_{od}/τ , м ³ /с
2,4	2	1,92	1000	1010	50	1030	0,0052	0,13	0,04
6,0	5	4,7	1000	1020	100	1040	0,0546	0,728	0,075

При врахуванні впливу ступеня деформації, температури і швидкості деформації на границю текучості сталі розрахунок енергетичного балансу (табл. 3) показав, що під час холодного прокатування прихід енергії перевищує його витрати. Це ще раз підтверджує, що збалансування відбувається за рахунок підвищення температури в осередку деформації.

Вважаючи температуру величиною статичною, можна допустити наявність прошарків чи об'ємів розміром рідинних кластерів, товщиною в декілька атомів, маючих температуру, яка суттєво перевищує середню температуру осередку деформації та забезпечує плин металу при збільшеному опорі внаслідок наклепу.

Таблиця 3

Енергетичний баланс осередку деформації

Статті балансу										
Прихід енергії, кДж/с					Витрати енергії, кДж/с					
теплота заготов-ки	меха-нічна енер-гія валків	потен-ційна енергія зовніш-ньої по-верхні	потен-ційна енергія міцності металу	всьо-го	тепло-та розка-ту	кінетич-на енергія розкату	потенційна енергія ново-утвореної поверхні	потен-ційна енергія міцності металу	робота дефор-мації металу	всьо-го
3104	15038	156	11882	30180	7692	67	162	11884	8862	28667
29062	46717	115	21448	97342	33940	92	122	21544	24024	79722

Як видно з порівняння сумарних значень приходу та витрат енергії в осередку деформації при температурі заготовки (табл. 3), прихід перевищує витрати енергії в процесах прокатування. Збалансувати прихід та витрати енергії можна збільшенням температури в осередку деформації; при цьому зростає тепловміст металу без зростання його міцності у випадку холодного прокатування. Повний енергетичний баланс осередку деформації можна отримати, врахувавши залежність границі текучості від ступеню, температури та швидкості деформації.

Висновки та напрямки подальших досліджень. У статті запропоновано оновлену методу для визначення витрат енергії на прокатування; встановлено раціональні режими, які дозволяють зменшити витрати енергії при прокатуванні; визначено кількість енергії, що надійшла до осередку деформації та складається з теплоти заготовки, механічної енергії валків, потенційної енергії поверхневого натягу металу, а також витрати енергії, що складаються з теплоти розкату, кінетичної енергії розкату, потенційної енергії зовнішньої поверхні та міцності металу і роботи деформації; розраховано енергетичний баланс осередку деформації, який показав, що під час холодного прокатування прихід енергії перевищує його витрати. Це ще раз підтвердило, що збалансування відбувається за рахунок підвищення температури в осередку деформації.

У подальшому аналогічні розрахунки планується виконати для прокатування сортових профілів.

Список літератури

1. Zhbanova O. M., Saithareyev L. N., Skidin I. E., Shapovalova N. N., Gubin G. G Investigation of the influence of electro-impulse current on manganiferous liquid-alloy. Proceedings of the International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2018, Sumy, Ukraine. P. 207-213 https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_22.
2. Василев Я. Д. Теорія позовжної прокатки / Я. Д. Василев, О. А. Мінаєв. – Підручник. – Донецьк: УНІ-ТЕХ, 2009. – 488 с.
3. Чубенко В. А. Визначення впливу режиму обтиснення при прокатуванні на внутрішню будову металу / В. А. Чубенко, А. А. Хіноцька // Качество минерального сырья. Сб. научн. тр., Т2, Кривой Рог: Изд. центр ГВУЗ «КНУ», 2018 – С.151-159.
4. Дослідження об'ємноструктурних і енергетичних перетворень в сталях при прокатуванні. Монографія / В. А. Чубенко, А. А. Хіноцька, – Кривий Ріг: Видавництво (ФОП Чернявський Д.О.), 2018. – 178 с.
5. Оптимізація процесу налаштування безперервної листової прокатки / В. С. Єгоров, О. П. Єгоров, О. Ю. Потап та інші. // Металлургическая и горнорудная промышленность, 2016, № 1. – С. 106-109.
6. Максименко О. П. Теоретический анализ влияния натяжений на энергозатраты и устойчивость процесса прокатки / О. П. Максименко, Д. И. Лобойко // Вісник «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях – Харків: НТУ «ХП», – 2013. – № 42 (1015). – С. 119-125.
7. Скляр В. О. Инновационные и ресурсосберегающие технологии в металлургии. Учебное пособие. – Донецк: ДонНТУ, 2014. – 224 с.
8. Бережний М. М. Енергетичний баланс осередку деформації при прокатуванні / М. М. Бережний, А. А. Хіноцька, В. А. Чубенко // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Луганськ: вид – во СНУ ім. В. Даля, 2012. – С. 60 – 67.
9. Час перебування металу в осередку деформації та утворення нової поверхні / [Бережний М. М., Чубенко В. А., Хіноцька А. А., Глінкин А. В.] // Вісник КНУ. – Вип. 30. – 2012. – ст. 171 – 174.
10. Писаренко Г. С. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наук. думка, 1988. – 736 с.
11. Коновалов Ю. В. Пути решения температурной задачи прокатки / Ю. В. Коновалов, А. С. Хохлов // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА. 2012. – № 2 (31). – С. 185-188.
12. Контактное взаимодействие металла и инструмента при прокатке / П. И. Полухин, В. А. Никоваев и др. – М.: Металлургия, 1974. – 199 с.
13. Старченко Д. И. К расчету давления металла на валки / Старченко Д. И., Резниченко Е. И. // Известия АН СССР. Металлы. – 1985. – № 4. – С.80-88.
14. Коновалов Ю. В. Справочник прокатника. / Ю. В. Коновалов. – Справочн. изд-е в 2-х книгах. – Книга 1. – Производство горячекатаных листов и полос. М.: Теплотехник, 2009. – 640 с.
15. Огинский И. К. Силовая картина в очаге деформации при установившемся процессе прокатки / И. К. Огинский // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 1. – С. 37-40.
16. Губкин С. И. Теория обработки металлов давлением / С. И. Губкин – М.: Металлургиздат, 1947. – 360 с.
17. Владимиров В. В. Физическая природа разрушения металлов // В. И. Владимиров. – М.: Металлургия, 1984. – 280 с.
18. Зайков М. А. Режимы деформации и усилия при горячей прокатке / Зайков М. А. – М.: Металлургиздат, 1960. – 286 с.

УДК 622.274.3

С.В. ПИСЬМЕННИЙ, канд.техн.наук
Криворізький національний університет

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗРОБКИ ЗАЛІЗОРУДНИХ РОДОВИЩ СИСТЕМАМИ ПІДПОВЕРХОВОГО ОБВАЛЕННЯ РУДИ ТА ВМІЩУЮЧИХ ПОРІД

Мета. Метою виконаних досліджень є удосконалення технології розробки залізорудних родовищ системами підповерхового обвалення руди та вміщуючих порід, яка дозволить підвищити кількість видобутої рудної маси при наявності нестійких порід всіячого боку.

Методи дослідження. При видобутку багатих залізних руд Криворізького залізорудного басейну застосовують системи розробки з відкритим очисним простором та з обваленням порід, які дозволили підвищити вміст заліза в видобутій рудній масі на 0,5–1,5%. Основним недоліком даних систем розробки є обмежені умови застосування. Так, наявність зі сторони всіячого боку нестійких порід суттєво погіршують показники вилучення. Запропонований варіант системи розробки з переущільненим шаром руди у всіячого боку виключає проникнення пустих порід в очисний блок, що відпрацьовується. Однак, при визначенні ширини переущільненого шару не враховуються фізико-механічні властивості гірських порід. Так, при відпрацюванні блоку в нестійких породах ширина цілика у всіячого

боку не забезпечує йому стійкість, що призводить до руйнування цілика та неможливості створення переущільненого шару.

Наукова новизна. Вперше запропоновано для умов Криворізького залізорудного басейну використовувати при визначенні цілика у висячого боку одночасно методики НДГРІ та Борисенко С.Г. з урахуванням максимальних допустимих діючих напружень та кута падіння порід висячого боку.

Практична значимість. Запропонована технологія відпрацювання залізних руд системами з масовим обваленням руди в нестійких породах висячого зі застосуванням переущільненого шару руди та двостадійним відпрацюванням очисного блоку. При визначенні ширини очисного блоку навхрест простягання необхідно враховувати ширину тимчасового цілика у висячого боку.

Результати. Розроблений варіант системи масового обвалення руди зі застосуванням захисного шару рудного масиву у висячого боку представленого нестійкими породами дозволяє забезпечити стійкість очисній камері та підвищити якість видобутої рудної маси на 0,33%. Впровадження даного варіанту системи розробки дозволить отримати розрахунковий прибуток на рівні 58,32 млн.грн. за рахунок збільшення вмісту заліза в видобутій рудній масі.

Ключові слова: підземна розробка, очисна камера, цілик, висячий бік, якість, стійкість, переущільнений шар.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-61-67

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Шахтами Криворізького залізорудного басейну відпрацюються природно-багаті та природно-бідні залізні руди підземним способом [1-3]. Очисні роботи при відпрацюванні природно-багатих залізних руд здійснюються на глибині 1225–1350 м з вмістом корисного компоненту в масиві 58–67%. Розробка природно-бідних залізних руд з вмістом заліза загального в масиві не більше 32% відпрацюється шахтою ім. Орджонікідзе в поверсі 607–527 м.

На теперішній час, підприємства з підземним способом видобутку в Криворізькому залізорудному басейні при відпрацюванні залізних руд застосовують системи розробки: з відкритим очисним простором 55% та системи з масовим обваленням руди 45% [4-6]. При застосуванні традиційних систем розробки вміст заліза в видобутій рудній масі не перевищує 59–61%. Зменшення вмісту заліза в видобутій рудній масі призводить до втрат світового ринку збуту.

З метою підвищення вмісту заліза в видобутій рудній масі до 62%, яка є конкурентоздатна на світовому ринку, гірничо-добувні підприємства впроваджують варіанти систем розробки з відкритим очисним простором (камерна система розробки з подальшим обваленням ціликів).

Камерні системи розробки у порівнянні з системами з масовим обваленням руди мають високі показники вилучення рудної маси та продуктивність праці. Однак, гірський масив Криворізького залізорудного басейну складено з неоднорідних порід. Таким чином, для різних умов залягання одні й ті самі гірські породи по різному себе ведуть при підземному видобутку.

Наприклад, для умов шахт «Ювілейна», «Гвардійська» висячий бік є стійким, а для шахт «Родіна», «Октябрьська» ні. Тому, при застосуванні камерних систем розробки однією з умов застосування є забезпечення стійкості очисним камерам.

У випадку, коли не можливо забезпечити стійкість очисним камерам, на шахтах застосовують систему з масовим обваленням руди та налягаючих порід. Слід зауважити, коли висячий бік складено нестійкими породами, то при відпрацюванні навіть системою підповерхового обвалення породи висячого боку потрапляють в активну зону випуску тим самим засмічують руду та знижують вміст заліза в видобутій рудній масі [7-9].

Таким чином, розробка та удосконалення технології очисного виймання при наявності нестійких сланцевих порід висячого боку, яка забезпечить високі показники вилучення є вельми актуальним питанням.

Аналіз досліджень і публікацій. Авторами наукових робіт [10-12] доведено, що при відпрацюванні багатих руд камерними системами розробки однією з існуючих проблем є необхідність забезпечення умов, які виключають виникнення неконтрольованих і хаотично формованих зон зрушення вищележачого масиву. В іншому випадку, існує ймовірність підробки не тільки виробок вищележачого горизонту, але і в силу значної рухливості - охоронних ціликів, порід висячого боку».

В роботах [13-15] пропонується застосовувати технологію з частковою підбиванням порід висячого боку. Це дозволить зменшити оголення у висячого боку, а також запобігти хаотичний

зсув порід. Слід відмітити, що при застосуванні даної технології суттєво погіршуються показники вилучення рудної маси, особливо при куті падіння покладу менше 50 град. Це пояснюється тим, що заміщення рудної маси пустими породами у висячого боку суттєво погіршить випуск обваленої руди в межах «мертвої зони» та призведе до значних втрат обваленої руди в трикутнику лежачого боку.

Залучення в рух великих шматків руди до площини випускного отвору створить умови часткового оголення порід висячого боку. Це потребує додаткових досліджень, пов'язаних з визначенням обсягів імовірнісних зон вивалоутворень і встановлення їх впливу на вже сформовану зону, яка порушена поблизу покладів залізних руд. Але спрогнозувати на етапі проектування блоку та визначити локальні зони вивалоутворень практично неможливо.

Для боротьби з вивалами в роботі [16] запропонована технологія, яка передбачає утворення породної «подушки». Суть даної технології полягає у створенні потужної стелини довжиною 20-35 м, яка служить для зміцнення гірського масиву. Під захистом цієї стелини в першу чергу виймається одним із варіантів камерних систем основний запас блоку. Одночасно з вийманням основних запасів або трохи раніше у висячому боку камери готується до вибуху масив пустих порід висячого боку об'ємом, не менше об'єму камери у період її максимального розвитку. Після відпрацювання камери підривають породи висячого боку створюючи тим самим породну «подушку». Відпрацювання стелини здійснюється при повній її ізоляції від основного масиву покладу, що дозволить запобігти проникненню порід зі сторони висячого боку. Однак, дана технологія має суттєвий недолік, це необхідність максимального заповнення очисної камери обваленими, дрібно та рівномірно роздробленими пустими породами.

В роботах [17-19] запропоновано систему розробки підповерхового примусового обвалення з застосуванням переущільненого шару руди у висячого боку. Створення переущільненого шару дозволить знизити втрати й засмічення обваленої руди в зоні проникнення глинистих порід. Система підповерхового примусового обвалення руди та налягаючих порід з формуванням рудного переущільненого шару для умов шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суха Балка». Сутність даної системи розробки полягає в наступному між обваленою рудою і глинистими породами формується переущільнений рудний шар. Очисний блок умовно поділяється на дві ділянки: перша призначена для масового обвалення рудного масиву, а друга для формування переущільненого шару. Для формування переущільненого шару параметри буропідричних робіт необхідно зменшити на 15–20%. Перенасичення вибуховою речовиною рудного масиву приведе до додаткового ущільнення відбитої рудної маси на 3–5 м. За результатами промислових випробувань встановлено, що для забезпечення якісного дроблення руди потужність переущільненого шару повинна становити 6–12 м. Слід зауважити, що випуск руди відбувався задовільно, при цьому продуктивність на доставці руди підвищилася на 10-20%.

Таким чином, виникає необхідність у удосконаленні технології при відпрацюванні багатих залізних руд, яка дозволить збільшити вміст заліза в видобутій рудній масі в умовах прояву гірського тиску на значних глибинах.

Постановка задачі. Для досягнення поставленої мети при застосуванні технології зі створенням огорожуючого цілика в висячому боці необхідно визначити мінімально-допустимі параметри очисної камери та ширину цілика, яка забезпечить безпечне ведення гірничих робіт.

Викладення матеріалу та результати. Відомо, що валове відпрацювання покладів в складних гірничо-геологічних умовах традиційними системами розробки з масовим обваленням руди та налягаючих порід є малоефективним. Таким чином, пропонується удосконалити поверхово-камерну систему розробки з валовим вийманням руди з очисного блоку.

Сутність запропонованої технології полягає в наступному: блок навхрест простягання відпрацьовується комбінованим способом по стадіям (етапам). На першому етапі проходяться підготовчо-нарізні виробки з формуванням компенсаційної камери у лежачого боку, рис. 1.

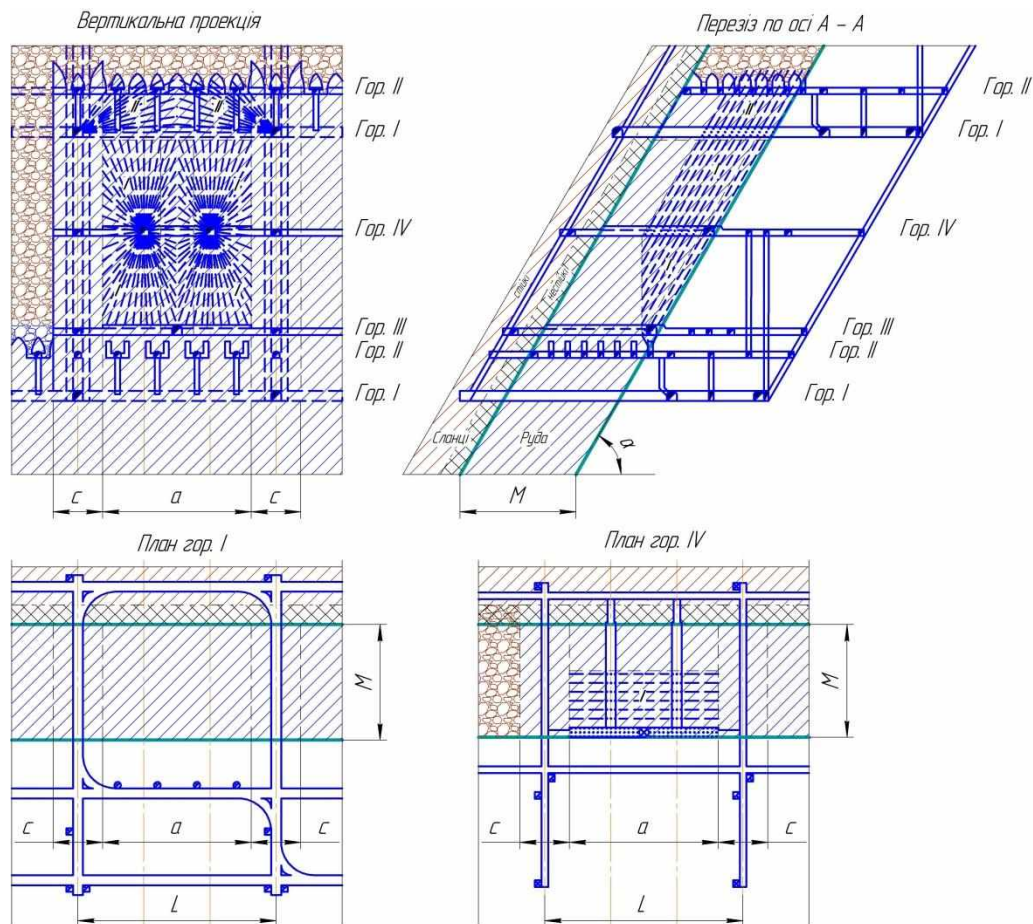


Рис. 1. Запропонований варіант камерної системи розробки поверхового обвалення з застосуванням захисного шару зі стадійним відпрацюванням (стадія 1)

Компенсаційна камера формується шляхом проходки відрізного підняттевого та відрізного орту. З бурового штреку буряться глибокі свердловини та поступовим їх підриванням формується компенсаційна камера. Очисна камера формується навхрест простягання зменшеної ширини на 10 – 15 м, залишаючи рудну товщу у висячого боку. Параметри очисної камери на верхньому підповерху визначаються за методикою НДГРІ [20], а на нижньому за методикою Борисенко С.Г. [21-23].

Товщину захисного шару зі сторони висячого боку визначаємо за методиками [20-23]. Виконав розрахунки для умов шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суха Балка» за формулами отримуємо наступні значення:

мінімально-допустима товщина захисного рудного шару

$$m_6 = \frac{b \times M_n}{\sqrt{b^2 + M_n^2}} \leq m = \frac{l \times a \times \gamma \times K_3}{4 \times K_f \times f \times K_{cmp.o}} = \frac{90 \times 50 \times 3,6 \times 2,0}{4 \times 100 \times 12 \times 0,65} \approx 11 \text{ м};$$

допустима потужність пустих порід зі сторони висячого боку

$$m_\sigma = \frac{P_{cm} \cdot a_k \cdot K_3}{\sigma_{cm} - P_{cm} \cdot K_3} = \frac{H \cdot \gamma \cdot a_k \cdot K_0 \cdot K_3 \cdot \cos \alpha}{1000 \cdot n_u \cdot f \cdot K_{cmp.o}} = \frac{1260 \times 3,6 \times 50 \times 1,8 \times 2 \times \cos 60}{1000 \times 2 \times 14 \times 0,65} \approx 23 \text{ м},$$

де a , b – розмір камер, відповідно, за простяганням і падінням; M_n – нормальна потужність покладу, м; m – потужність захисного шару, м; l – максимально-допустимий прогін оголення, м; γ – об'ємна вага руди, т/м³; P_{cm} – поздовжні стискаючі зусилля, МПа; a_k – ширина очисної камери, м; K_0 – коефіцієнт розтягуючих напружень і деформації; K_3 – коефіцієнт запасу міцності; α – кут падіння рудного покладу, град.; σ_{cm} – межа міцності порід на стискання, т/м²; f – коефіцієнт міцності руди за шкалою проф. Протод'яконова М.М.; n_u – кількість ціликів на одну камеру, шт.; $K_{cmp.o}$ – коефіцієнт структурного ослаблення порід тріщинами (приймається від 0,65 до 0,95).

Таким чином, якщо потужність сланців менша за 23 м, доцільно створити захисний шар товщиною 11 м.

Очисна камера розмірами: довжина за простяганням 50 м, шириною $M - m = 35 - 11 = 24$ м розбудовується віями глибоких свердловин з бурового штреку на всю висоту поверху.

Після обвалення камерного запасу, розбудовують стелину та похилий цілик у висячого боку.

В першу чергу, обвалюється стелина, а потім похилий цілик на затиснуте середовище. Випуск обвалених ціликів починається від висячого до лежачого боку. Згідно теорії випуску акад. Малахова Г.М. [15] руда потоком шириною 8–12 м паралельно куту висячому боку буде переміщуватись до випускного отвору в процесі випуску. Після випуску допустимої дози випуску, здійснюють випуск обваленної стеліни від лежачого до висячого боку, рис. 2.

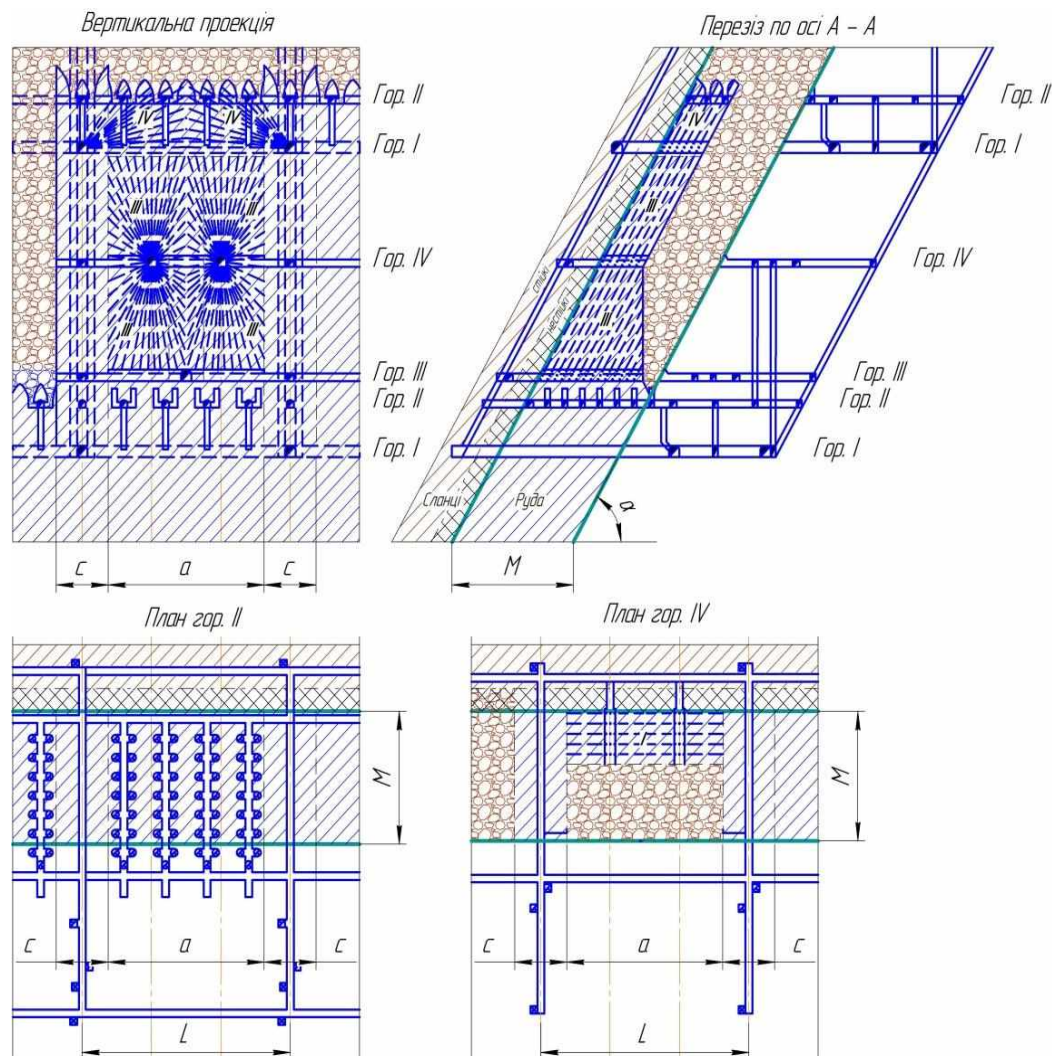


Рис. 2. Запропонований варіант камерної системи розробки поверхового обвалення з застосуванням захисного шару зі стадійним відпрацюванням (стадія 2)

Міжкамерний цілик відпрацьовується після випуску руди зі стеліни та захисного шару висячого боку. Загальні техніко-економічні показники по розглянутим варіантам систем розробки приведені в табл. 1.

Аналізуючи результати розрахунків встановлено, що застосування поверхово-камерної системи розробки з захисним шаром у висячого боку дозволяє зменшити втрати руди, підвищити якість видобутої рудної маси з 58,911 до 59,24% та збільшити прибуток з 93,39 до 151,71 млн грн.

Таким чином вважаємо, що створення захисного шару рудного масиву у висячого боку, шириною, що забезпечує стійкість очисній камері, дозволить підвищити якість видобутої рудної маси, шляхом поетапного відпрацювання запасів в блоці.

Техніко-економічні показники

Найменування показників	За даними шахти	По запропонованому варіанту
Балансовий запас руди в блоці, тис. т	604,8	604,8
Запас руди в очисній камері, тис. т	264,6	181,44
Запас руди в міжкамерному цілику, тис. т	151,2	151,2
Запас руди в стелині, тис. т	113,4	113,4
Запас руди в цілику захисного шару висячого боку, тис. т	0	106,92
Запас руди в компенсаційній камері, тис. т	75,6	51,84
Вміст корисного компоненту в масиві, %:	62	62
Вміст корисного компоненту в породах, %:	38	38
Середній вміст корисного компоненту в видобутій рудній, %:	58,91	59,24
Втрати руди, %	23,75	18,76
Засмічення руди, %	13,25	11,50
Лінія найменшого опору, м	2,8	2,8
Відстань між кінцями свердловин, м	2,6	2,6
Собівартість видобутку	438,30	421,70
Дохід, млн.грн	245,82	399,46
Прибуток, млн.грн	93,39	151,71

Висновки та напрямок подальших досліджень. Розроблена удосконалена технологія відпрацювання запасів руди в нестійких породах висячого боку зі застосуванням захисного шару рудного масиву у висячого боку, яка дозволяє забезпечити стійкість очисній камері та підвищити якість видобутої рудної маси на 0,33% забезпечивши розрахунковий прибуток на рівні 58,32 млн.грн. за рахунок збільшення вилучення руди з блоку при його відпрацюванні з висячого боку до лежачого. Для досягнення даних показників вилучення руди у висячого боку необхідно залишити рудний цілик у висячого боку потужністю 23 м, який руйнується на затиснуте середовище після відпрацювання камерного запасу у лежачого боку.

Список літератури

1. **Ступник Н.И.** Перспективные технологические варианты дальнейшей отработки железорудных месторождений системами с массовым обрушением руды / Н.И. Ступник, С.В. Письменный // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, 2012. – №30. – С. 3-7.
2. **Ступник М.І.** Комбіновані способи подальшої розробки залізрудних родовищ Криворізького басейну / М.І. Ступник, С.В. Письменный // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – Кривий Ріг, 2012. – № 95(1). – С. 3-7.3.
3. **Ступник Н.И.** Технология разработки рудных месторождений открыто-подземным способом / Н.И. Ступник, Б.Н. Андреев, С.В. Письменный // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, 2012. – № 33. – С. 3-8.
4. **Ступник Н.И.** Параметры этажно-камерной выемки железистых кварцитов с наклонными целиками / Н.И. Ступник, С.В. Письменный // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – Кривий Ріг, 2013. – № 96. – С. 3-7.
5. **Ступник М.І.** Визначення параметрів воронки обвалення в зоні підземних гірничих робіт при розробці залізрудних родовищ / М.І. Ступник, С.В. Письменный // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг, 2010. – Вип. 26. – С. 26-29.
6. **Письменный С.В.** Отработка сложно-структурных залежей богатых руд камерными системами разработки / С.В. Письменный // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – Кривий Ріг, 2014. – Вип. 97. – С. 3-7.
7. **Колосов В.А.** Современное состояние и перспективы развития предприятий по добыче и переработке железорудного и флюсового сырья в Украине / В.А. Колосов, В.П. Воловик, Н.И. Дядечкин // Горн. журн. – М. : МГУ, 2000. – №6. – С. 162-168.
8. **Логачев Е.И.** Разработка технологии подземной отработки залежей сопутствующего минерального сырья в условиях Криворожского бассейна: Дис... докт. техн. наук : 05.15.02. – Кривой Рог, 2006. – 332 с.
9. **Андреев Б.Н.** Перспективы поддержания производственных мощностей шахт и карьеров Кривбасса / Б.Н. Андреев, С.В. Письменный, Д.В. Бровко // Минск. – 2013. – С.115-120.
10. **Агошков М.И., Борисов С.С., Боярский В.А.** Разработка рудных и нерудных месторождений. – М.: Недра, 1983.
11. **Чернокур В.Р., Шкробко Г.С., Шелегеда В. И.** Добыча руд с поэтажным обрушением. – М.: Недра, 1992. – 271 с.
12. **Семешин В.З., Прилипенко Е.Д., Колодезнев А.С.** Подземная разработка железорудных месторождений. – К.: Техника, 1981. – 158 с.
13. **Черных А.Д.** Разработка запасов руд за контурами карьеров с закладкой выработанного пространства / А.Д. Черных, О.С. Брюховецкий, А.П. Логинский // Итоги науки и техники: Разработка месторождений твердых полезных ископаемых. – М.: ВИНТИ АН СССР, 1987. – Т. 43. – 192 с.
14. **Черненко А.Р.** Параметры массового обрушения руды в шахтах и средства его осуществления/

А.Р.Черненко, Н.А.Олейник, В.Е. Андрийчук // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1988. – №1. – С. 43-45.

15. Малахов Г.М., Безух В.Р., Петренко П.Д. Теория и практика обрушенной руды. – М.: Недра, 1968. – 311 с.

16. Прохода А.З. Совершенствование системы подэтажного обрушения / А.З.Прохода, Н.И.Ступник, В.В. Маркитан // Разраб. рудн. месторождений. К.: Техніка, 1981. – Вып. 32. – С. 62-64.

17. Ступник Н.И. Снижение потерь и засорения руды, за счет применения переуплотняемого слоя руды / Н.И. Ступник, С.В. Письменный // Горная промышленность. – 2011. – Вып. Специальный выпуск. – С. 35-37.

18. Ступник Н.И. Обоснование параметров очистной камеры параболической формы при отработке железных руд в неустойчивых породах / Н.И. Ступник, В.А. Калиниченко, С.В. Письменный, М.Б. Федько, И.О. Музыка, Е.В. Калиниченко // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – Кривий Ріг, 2016. – Вип. 101. – С. 7-12.

19. Ступнік М.І. Удосконалення методики визначення параметрів буровибухових робіт з урахуванням напружено-деформованого стану масиву при його обваленні на похиле оголення / М.І. Ступнік, В.О. Калініченко, М.Б. Федько, О.В. Калініченко, І.О. Музыка, С.В. Письменний // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – Кривий Ріг, 2017. – Вип. 102. – С. 47-53.

20. Цариковский В.В. Определение и контроль допустимых размеров конструктивных элементов систем разработки на рудниках Кривбасса / В.В.Цариковский, В.В.Сакович, А.В. Недзвецкий и др. – Кривой Рог, НИГРИ, 1987. – 35 с.

21. Галаев Н.З. Управление состоянием массива горных пород при подземной разработке рудных месторождений. – М.: Недра, 1990. – 176 с.

22. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян З.З. Основы механики горных пород. – Л.: Недра, 1989. – 488 с.

23. Малахов Г.М. Управление горным давлением при разработке рудных месторождений Криворожского бассейна. – К.: Наукова думка, 1990. – 204 с

УДК 681.5:621.311.1

О.О. ГРАММ, С.О. РОМАНОВ, ассистенты, О.І. САВИЦЬКИЙ, канд. тех. наук, доц.

Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ

Мета. Аналіз і визначення основних факторів, що впливають на споживання електричної енергії підприємством гірничо-металургійного комплексу і аналіз їх впливу на споживання електричної енергії для підвищення точності системи автоматичного прогнозування рівня споживання електричної енергії підприємством гірничо-металургійного комплексу, що дозволить підвищити енергоефективність підприємства, зменшити його витрати на енергопостачання і збитки, пов'язані з виходом споживання електричної енергії за межі замовлення, та знизити собівартість продукції завдяки зниженню витрат на електропостачання.

Методи дослідження у роботі засновані на методах аналітичної обробки статистичних даних та кореляційного аналізу впливу різних факторів на споживання електричної енергії.

Наукова новизна роботи полягає у визначенні основних аналітичних залежностей та коефіцієнтів кореляції між різними факторами, що впливають на споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу, спираючись на що можна розробити більш точну модель для прогнозування споживання електроенергії.

Практична значимість роботи полягає у визначенні переліку основних факторів, що впливають на споживання електричної енергії підприємством гірничо-металургійного комплексу, що у перспективі має дозволити підвищити точність прогнозування споживання електричної енергії при розробці моделі прогнозування.

Результати. Споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу найбільший вплив мають такі фактори, як параметри технологічного процесу і його циклічність у часі, значення історичного споживання електричної енергії і температура навколишнього середовища. Визначено також, що генерація реактивної енергії має незначний вплив на споживання активної енергії, тому доцільно в подальшому розглянути можливість використання цього фактору для підвищення точності прогнозування автоматичного споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу. Також визначено, що такий параметр як день тижня, що часто використовується для прогнозування споживання електроенергії різними підприємствами та населенням використовувати для прогнозування споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу недоцільно через те, що зв'язок між цими параметрами не явний і не постійний. Середній коефіцієнт кореляції споживання електричної енергії з днем тижня становить 0.34, споживання електроенергії зі споживанням у попередній період 0.984, споживання електроенергії з середньодобовою температурою -0,47, споживання електроенергії з генерацією реактивної енергії 0,2.

Ключові слова: автоматизація, електроенергії, прогнозування, енергетична біржа, кореляція, залежності.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-67-73

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Проблема енергоефективності на промислових підприємствах є актуальною, так як безпосередньо впливає на результати роботи підприємства. На підприємствах розглядається питання енергоефективності та раціонального використання електроенергії в якості одного із можливих заходів для зниження загальних витрат підприємства, собівартості продукції та підвищення конкурентоспроможності. Разом з тим, шлях розвитку вітчизняної економіки для вирішення проблеми енергозбереження можливий тільки при створенні і подальшого впровадження програм енергозбереження на підприємствах, а для цього необхідно дослідження і збір відповідної статистичної та методичної баз. Затримка у проведенні енергозберігаючих заходів негативно позначається на загальній екологічній та соціально-економічній ситуації і призводить до значного економічного збитку на підприємствах. Щоб скоротити фінансові втрати, при впровадженні сукупності заходів з енергозбереження, необхідно створення методів оцінки ефективності таких заходів, які враховують багатоваріантність використання джерел інвестицій, які виділені для реалізації енергозбереження. Зниження витрат підприємства, а саме енергетичної складової, призведе до можливості отримати додаткові кошти, які можна використовувати для забезпечення прийнятного рівня морального і фізичного зносу технологічного устаткування. На виробничих підприємствах зростання витрат на енергетичні ресурси викликає збільшення собівартості, що також негативно позначається на конкурентоспроможності підприємства.

Вивчення підходів у прогнозуванні показує, що для якісного прогнозування обсягів електроспоживання не існує стандартного, єдиного методу: будь-яке підприємство має особливі технологічні цикли, які, всі разом, утворюють тимчасовий унікальний процес для кожного окремого підприємства. Звичайно, у всіх виробничих циклах споживання електроенергії можна знайти схожі тенденції, тим самим збираючи статистичні дані, аналіз яких має призвести до підвищення точності прогнозів, однак, в нашому випадку такі дані необхідно доповнити, враховуючи специфіку підприємства.

Процеси споживання електроенергії мають функціональні, циклічні і випадкові тенденції. Найпростіше піддаються прогнозуванню циклічні залежності (зазвичай добові, тижневі та сезонні). Циклічні тенденції, за попередніми оцінками, становлять близько 70-80% всіх змін в процесі споживання електроенергії. Наприклад, найбільш істотними циклічними факторами практично у всіх виробничих процесах вважаються погодинна робота упродовж дня, день тижня і довгота світлового дня.

Другим з основних чинників, що вивчаються під час розв'язання задачі прогнозування, є закономірності функціонального характеру. Їх частка становить 10-15% від загального обсягу відхилень. У цю групу можна включити відхилення, що пояснюються відомими та передбачуваними факторами, які є специфічними для підприємства: температура повітря або використовуваного теплоносія, обсяг поставок сировини, тиск газу, об'єми самого виробництва та ін.. Аналіз даних допомагає виявити ці фактори і розрахувати їх вагову частку в процесі енергоспоживання. Вирішивши завдання впливу факторів теоретично, на практиці можлива проблема нестачі або недостовірності вихідних даних: недоступність інформації, помилкові дані або затримка інформації про обсяги виробництва.

Третім чинником, що впливає на прогноз є випадкові тенденції. Їх частина в загальних процесах споживання електроенергії невелика, але амплітуда відхилень може бути значною. Не завжди випадкові тенденції є саме випадковими, кожне відхилення може бути пояснено закономірними причинами після їх тривалого вивчення. Але в момент складання заявки, виконати правильну оцінку в такому випадку буде або неможливим (наприклад, спрогнозувати через аварію раптове відключення електроенергії), або недоцільним (наприклад, збір відомостей для передбачення режиму електроспоживання в святкові дні може виявитися економічно невиправданим та непотрібним). Тому, при складанні прогнозів для випадкових тенденцій вносять ймовірнісні характеристики відповідних явищ.

Аналіз досліджень та публікацій. В даний час для вирішення питання енергоефективності розробляють програми енергозбереження, визначають систему показників ефективності програм, роблять оцінку економічної ефективності від сукупності енергозберігаючих заходів, і отриману економічну вигоду. Впровадження заходів енергоефективності призведе до позитивних змін у прибутку підприємств, за рахунок скорочення збитків [1]. Однією з важливих складових заходів по оптимізації енергетичних витрат підприємства стає прогнозування споживан-

ня електричної енергії. Моделі прогнозування та фактори впливу на споживання електричної енергії розглядалися багатьма авторами для різних об'єктів. Так у роботі [2] автори розглядали прогнозування для всього енергетичного ринку країни, а як фактори впливу розглядалися ВВП, енергоємність ВВП і чисельність населення. У роботі [3] розглядався вплив типів дня на споживання електричної енергії містом. Часто розглядається питання впливу метеорологічних показників на споживання електричної енергії різними об'єктами [4-6]. Для прогнозування споживання електричної енергії вугільною шахтою у роботі [7] авторами запропоновано використовувати такі фактори, як історичне споживання електроенергії та об'єми видобутку вугілля. Питання аналізу факторів, що впливають на споживання електроенергії енергоємними підприємствами розглядалося у роботі [8], і автори також зробили висновок про важливість врахування такого фактору, як історичне споживання електроенергії. Використання історичного споживання енергії для прогнозування також часто розглядається іншими зарубіжними науковцями [9,10]. Але питання аналізу факторів, що впливають на споживання електричної енергії підприємств гірничо-металургійного комплексу широко не розглядалося, тому актуальною є проблема проведення такого дослідження.

Постановка задачі. У зв'язку з відсутністю універсальної методики та універсального програмно-апаратного забезпечення для вирішення даного завдання, кожне підприємство відпрацьовує завдання отримання прогнозу своїми методами з урахуванням своєї специфіки.

Вибір кількості чинників дуже важливий. Серед безлічі факторів, експертно вибираються ті, що можуть впливати на досліджуване значення. Ця оцінка не є остаточною. У процесі аналізу невідомо, який фактор надавав найбільш сильний вплив на досліджуваний процес електроспоживання. Очевидно, що може виникнути фактор, який експерти порахували дуже важливим, але він не є таким, і, навпаки, незначний з їх точки зору фактор може мати значний вплив для досліджуваного підприємства і досліджуваного регіону. Набір факторів, який використовується для складання прогнозів на будь-якому підприємстві не завжди підходить до всіх інших підприємств, а фактори, що впливають, підбираються індивідуально.

Викладення матеріалу та результати. Для проведення дослідження використовувалися статистичні дані гірничо-металургійного підприємства за січень 2019 року. Досліджувалася статистика з однієї головної понижуючої підстанції, що за чотирма лініями живить збагачувальну фабрику, за двома лініями живить фабрику дроблення руди, одну лінію виділено для тягової понижуючої підстанції, та одну лінію для живлення технічного водопостачання та шламового господарства. Графіки середньодобового споживання за цими лініями зображено на рис. 1.

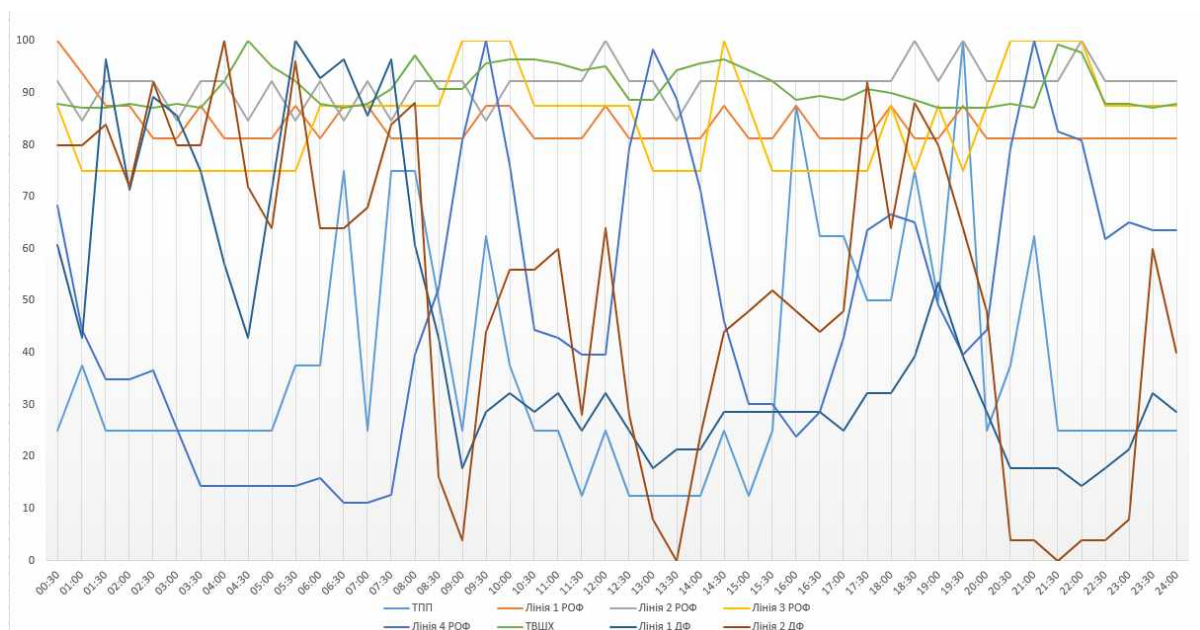


Рис. 1. Нормоване споживання ГПП за різними лініями

Для проведення дослідження виходячи з наявних даних було отримано нормований графік середнього добового споживання електроенергії, який зображено на рис. 2. Виходячи з отриманого графіку можна сформулювати перші аналітичні висновки, необхідні для прогнозування споживання. Так основне споживання електроенергії даного об'єкту приходить на нічний час (21:30 – 7:30), відсутні явні піки максимального споживання електроенергії, а мінімального значення споживання електроенергії досягає о 8:30 і 20:30, що пов'язано з графіком технологічних змін. При чому з 7:00 до 13:00 спостерігається плавне падіння споживання, з 13:00 до 22:00 споживання плавно зростає, а з 22:00 до 6:00 споживання залишається майже постійним.

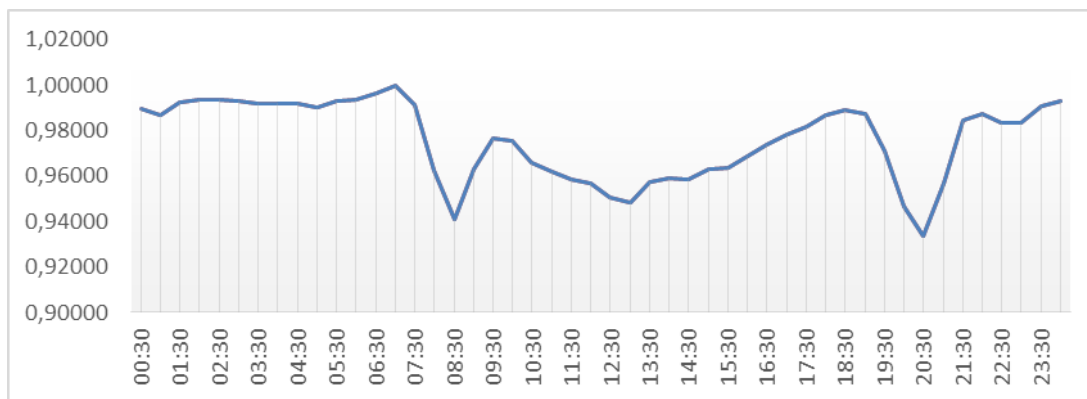


Рис. 2. Нормоване середньодобове споживання електроенергії

Розглянемо вплив на споживання електричної енергії такого фактору, як день тижня. Для цього було побудовано нормовані графіки споживання електричної енергії за місяць за днями тижня з понеділка по неділю. Отримані графіки зображено на рис. 3. Як видно з отриманих графіків у понеділок, четвер та п'ятницю присутні постійні закономірності з незначним відхиленням. У інші дні тижня ці відхилення стають значно більшими, а в суботу та неділю ці відхилення становляться ще більшими. Для більш точного виявлення закономірностей доцільно визначити наявність кореляції між отриманими статистичними даними.

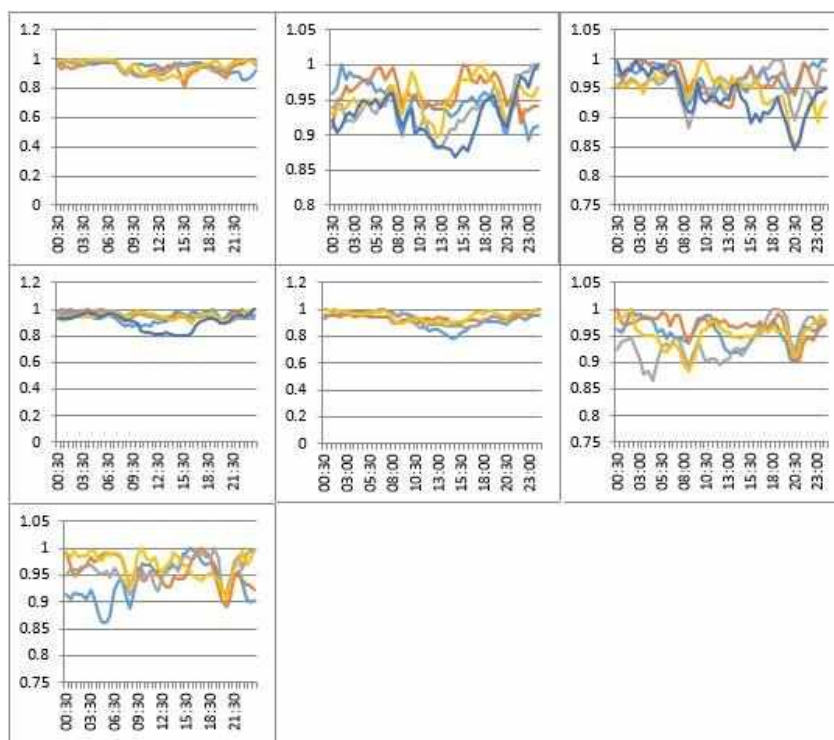


Рис. 3. Нормоване споживання електроенергії у різні дні тижня

Для визначення залежності споживання електричної енергії від дня тижня було визначено коефіцієнт кореляції споживання електроенергії у кожен день поточного тижня зі

споживанням у той же день наступного за три тижні, після чого отримано середній коефіцієнт кореляції за кожен із днів. Графік зі значеннями коефіцієнта кореляції у кожен день тижня зображено на рис. 4.

Рис. 4. Кореляція споживання електричної енергії з днем тижня

Виходячи з отриманого графіку можна сказати про наявність слабкої кореляції між споживанням електроенергії і днем тижня, але вона не постійна.

Наступним фактором, що розглядався, було споживання електроенергії за попередній проміжок часу. Статистичні дані споживання за 31 день були розбиті на інтервали у півгодини і досліджувався взаємозв'язок між споживанням у кожен інтервал зі споживанням у попередній часовий інтервал. Графік кореляції для 48 інтервалів зображено на рис. 5.

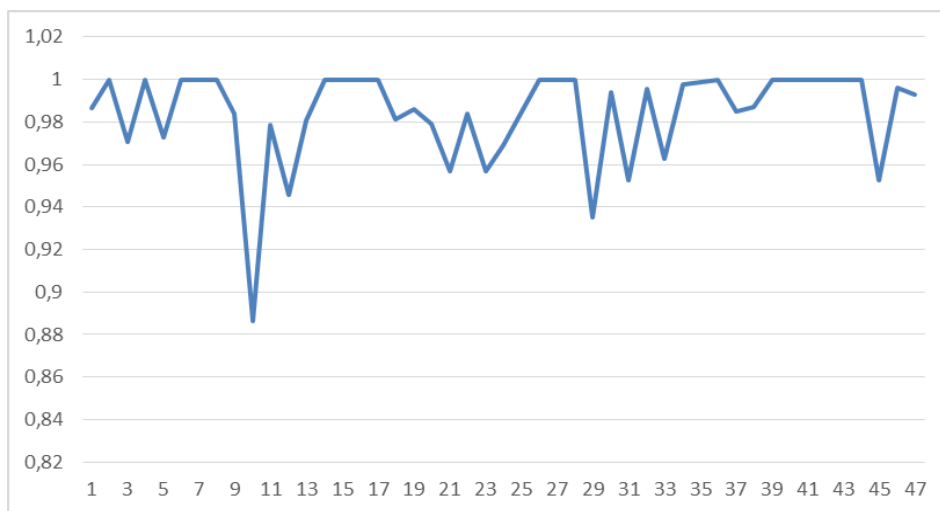
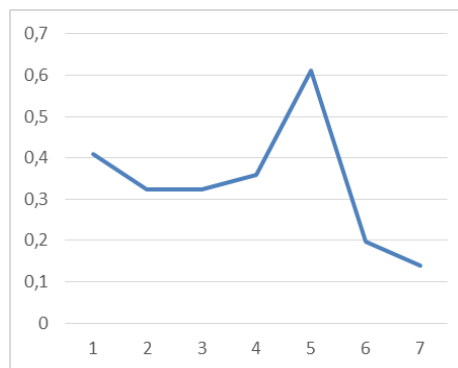


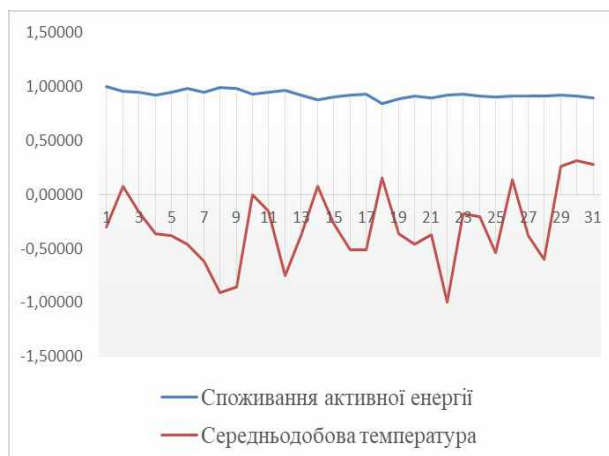
Рис. 5. Кореляція споживання електричної енергії з історичним споживанням

Отриманий графік залежності споживання електричної енергії від споживання у попередній період говорить про наявність постійної дуже високої кореляції між цими параметрами.

Наступним фактором, що розглядався, була температура зовнішнього повітря. Для визначення наявності зв'язку між цими параметрами було отримано статистичні дані середньодобової температури за січень 2019 року та добове споживання електричної енергії об'єктом за вказаний період. Графіки нормованого добового споживання електроенергії і середньодобової температури зображено на рис. 6.

Рис. 6. Нормований графік споживання електричної енергії і середньодобової температури

Виходячи з отриманих графіків можна сказати про те, що температура зовнішнього повітря впливає на споживання електричної енергії, так як різкі зміни температури відображаються на графіку споживання електроенергії. При чому зниження значення температури викликає зростання споживання електроенергії, а її зростання — падіння споживання. Це спостереження підтверджується отриманим коефіцієнтом кореляції між цими параметрами, що дорівнює $-0,47$. Отримане значення говорить про від'ємну середню кореляцію між споживанням електричної енергії і температурою зовнішнього повітря.



Останнім з розглянутих факторів через специфіку об'єкта було обрано генерацію реактивної енергії. Для визначення наявності зв'язку між споживанням активної енергії та генерацією реактивної енергії було проведено аналіз статистичних даних підприємства за 31 день. Нормовані графіки споживання активної енергії і генерації реактивної енергії зображено на рис. 7.

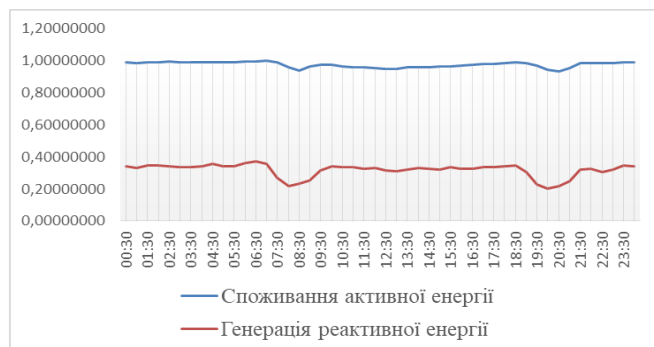


Рис. 7. Нормовані графіки споживання активної та генерації реактивної енергії

Виходячи з отриманих графіків можна говорити про наявний зв'язок між цими параметрами, так як на них видно, що наявні загальні тенденції, і зміна генерації реактивної енергії вже на наступному часовому інтервалі призводить до зміни споживання активної енергії. Це твердження підтверджується отриманим коефіцієнтом

кореляції між вказаними величинами, що становить 0,2 і свідчить про наявність слабкої кореляції між генерацією реактивної енергії і споживанням активної.

Висновки та напрям подальших досліджень. Виходячи з результатів проведеного дослідження можна зробити висновок про те, що на споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу найбільший вплив мають такі фактори, як параметри технологічного процесу і його циклічність у часі, значення історичного споживання електричної енергії і температура навколишнього середовища. Визначено також, що генерація реактивної енергії має незначний вплив на споживання активної енергії, тому доцільно в подальшому розглянути можливість використання цього фактору для підвищення точності прогнозування автоматичного споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу. Також визначено, що такий параметр як день тижня, що часто використовується для прогнозування споживання електроенергії різними підприємствами та населенням використовувати для прогнозування споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу недоцільно через те, що зв'язок між цими параметрами не явний і не постійний. В подальшому результати даного дослідження дозволять розробити модель для автоматичного прогнозування споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу.

Список літератури

1. Тихонов, Э. Е. Методы прогнозирования в условиях рынка : Учебное пособие / Э. Е. Тихонов. – Невинномысск, 2006 – 211 с.
2. Krutysak, Mykhailo Orestovych. Прогнозування попиту на вітчизняному ринку електричної енергії на основі результатів аналізу динаміки соціально-економічних показників. Економічний аналіз, [S.l.], v. 28, n. 3, p. 37-46, жов. 2018.
3. Карандеев Д.Ю. Влияние типов дней на электропотребление города/ Д.Ю.Карандеев// Современная техника и технологии. – 2015. - №2. – С.34-40.
4. Макоклюев Б.И. Влияние метеофакторов на режимы потребления электроэнергии энергосистем/ Б.И.Макоклюев, А.В.Антонов, А.С.Полижаров// Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: сб.тр.конф. – Иркутск, 2015. – Вып.65. – С.405-414.
5. Филатова Е.С. Система краткосрочного прогнозирования электропотребления/ Е.С.Филатова, Д.М. Филатов, А.Д.Стоцкая// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. - №10-1. – С.46-50.
6. Han P. Drought forecasting based on the sensing data using ARIMA model/ P.Han, P.Wang, S.Zhand// Math Comput Model. – 2010.- Vol.51(11). – P.1398-1403.
7. Бурый, С. В.; Халимов, В. В. ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ПРИМЕРЕ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ. Труды ВНТУ 2014.
8. Врахування споживання електроенергії енергоємними підприємствами при короткостроковому прогнозуванні електричного навантаження енергосистеми / П.О. Черненко, О.В. Мартинюк, В.О. Мірошник // Технічна електродинаміка. — 2014. — № 5. — С. 35-37.
9. Kaytez, Fazil & Taplamacioglu, M. & Ertuğul & Hadlak Firta (2015). Forecasting electricity consumption: A comparison of regression analysis, neural networks and least squares support vector machines. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 67. 10.1016/j.ijepes.2014.12.036.
10. Ekonomou, L. (2010). Greek Long-Term Energy Consumption Prediction using Artificial Neural Networks. Energy. 35. 512-517. 10.1016/j.energy.2009.10.018

**ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ СЕЛЕКТИВНОСТІ РОЗДІЛЕННЯ РУДНОЇ ТА
НЕРУДНОЇ СКЛАДОВОЇ ПІННОГО ПРОДУКТУ ФЛОТАЦІЇ**

Мета. Метою даних досліджень є оцінка можливості застосування у схемах переробки пінного продукту флотації магнетиту гідралічного грохоту на підставі вивчення гранулометричного складу продуктів та закономірностей розподілу мінералів за фракціями.

Методи дослідження. Дослідження гранулометричного та мінералогічного складу продуктів у лабораторних умовах з використанням устаткування для магнітного, вібраційного та флотаційного збагачення.

Наукова новизна. Наукова новизна результатів дослідження полягає у визначенні необхідності у подальших дослідженнях формування оптимальних умов сегрегації частинок пінного продукту флотації магнетиту за рахунок дефлокуляції і гетерокоагуляції мінералів пінного продукту на підставі вивчення особливостей адсорбції реагентів на його поверхні і взаємодії частинок з бульбашками повітря, а також визначення закономірності селективного руйнування мінеральних флокул та комплексів за рахунок змінності напрямленості сил поверхневого натягу.

Практичне значення. Практична значущість отриманих результатів може бути отримана внаслідок визначення основних показників розділення пінного продукту.

Результати. Встановлено, що у пінному продукті флотації магнетиту у фракції більше 0,05 мм сконцентровано зростки кварцу і силікатів, рідше кварцу і магнетиту. Матеріал фракцій -0,05 + 0,044 мм та -0,044+0,02 мм має близький мінеральний склад, але вміст магнетиту в ньому трохи вище в порівнянні з матеріалом фракції + 0,05 мм. Матеріал фракції -0,02 + 0 мм являє собою суміш розкритих частинок магнетиту (64 %) з домішкою розкритих уламків кварцу і силікатів (26%).

Визначено, що фракціювання гранулометричного складу пінного продукту дозволяє спрогнозувати можливість застосування у схемі збагачення пінного продукту гідралічного грохочення за граничним зерном 0,02 мм та подальшим послідовним подрібненням і збагаченням підрешітного і надрешітного продуктів грохоту.

Ключові слова: магнетит, продукт пінний, флотація, фракціювання, розділення гідралічне.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-73-79

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Сучасна ситуація з зростаючим дефіцитом високоякісної залізної руди, збільшення частки переробки бідних, тонковкраплених руд, необхідність залучення в переробку техногенних родовищ змушує підприємства модернізувати технології, шукати можливості їх вдосконалення та введення додаткових способів обробки. Ці кроки спрямовані на підвищення конкурентоспроможності продукції і скорочення операційних витрат. Існуючі класичні технології поділу / класифікації в таких умовах не дозволяють забезпечити випуск конкурентної продукції з причини низької ефективності поділу продуктів. Подібна ситуація стоїть перед багатьма залізрудними підприємствами як за кордоном, так і на пострадянському просторі.

Все частіше, для ефективного вилучення заліза використовуються методи флотаційного збагачення, як додаткова операція після збагачення магнітними методами. Флотаційне збагачення дозволяє більш ефективно вилучити залізо з сировини.

Для флотаційного збагачення магнетитових кварцитів використовуються реагенти-збирачі амінного типу. Аміни гідрофобізують поверхню мінералів при закріпленні іонів. Тобто здійснюється хімічна взаємодія іонів та молекул збирача, а також фізична адсорбція їх на поверхні мінералів. Причинами адсорбції збирача можуть бути: кулонівські сили притягнення іона електростатичним полем мінеральної поверхні та неполярні сили Ван-дер-Ваальса. В свою чергу, адсорбція молекул аміну, залежить від можливості проявлення сил дипольної та дисперсної взаємодії при утворенні водневого зв'язку [1,2].

Продуктами флотаційного збагачення є камерний продукт з якого далі отримують товарну продукцію – концентрат, а також пінний продукт. Пінний продукт це внутрішній продукт флотаційної схеми. Наприклад на Полтавському гірничо-збагачувальному комбінаті пінний продукт основної флотації виділений в окремий цикл збагачення з використанням вертикальних млинів для подрібнення та подальшої флотації і отриманням товарного продукту. На Ігулецькому гірничо-збагачувальному комбінаті доведення пінного продукту проходить з використанням двох стадій дешламації та магнітної сепарації. Такий принцип розділення має свої недоліки

так, як пінний продукт за рахунок флокуляції і гетерокоагуляція мінералів за рахунок адсорбції реагентів на їх поверхні і взаємодії частинок з бульбашками повітря є дуже складним для розділення. Але цей продукт потребує детального вивчення і розробки схеми його збагачення так як вміст заліза загального у ньому знаходиться на рівні 41 % і нижче.

Ця проблема може бути вирішена при використанні вібраційного поділу методами вібраційної сепарації, тонкого грохочення та тощо. Новий продукт у подальшому рекомендується направляти на магнітно-флотаційне збагачення для отримання додаткового товарного концентрату.

Аналіз досліджень і публікацій. У практиці збагачення залізорудної сировини застосовуються схеми різної складності з використанням різних збагачувальних операцій. Включення тих чи інших операцій в технологічну схему обумовлено мінералогічними, текстурно-структурними особливостями руд і як наслідок їх здатністю до збагачення.

Вібраційні сепаратори, грохоти, сортувальні машини та центрифуги мають надзвичайно широке застосування у всіх галузях промисловості, виконуючи сортування (за величиною, густиною і та ін.) різноманітних продуктів. Розділення продуктів виробництва і сировини на сорти або фракції може мати попередній, проміжний чи остаточний характер, коли отримана фракція є готовим продуктом. Попереднє сортування використовують для видалення із продуктів виробництва або сировини тих відходів, домішок чи сортів, котрі не повинні надходити у подальшу технологічну обробку [3].

Одним із шляхів вирішення існуючої проблеми є використання технологій вібраційного розділення. Інвестиційні та експлуатаційні витрати при вібраційному розділенні значно нижче, ніж при досягненні тих же технологічних параметрів шляхом подальшого подрібнення або з використанням флотації.

В напрямку вібраційного розділення сипучого матеріалу опубліковано багато статей та захищено дисертацій.

Так авторами статті [4] висвітлено рівень прискорень просіювачих поверхонь вібраційних грохотів для ефективного розділення тонкодисперсних сипких матеріалів. Встановлено рівні власних частот частинок, що прилиплих до просіювачої поверхні або пов'язаних між собою під впливом сил поверхневого натягу рідини. Розглянуто вплив полічастотних коливань просіювачих поверхонь вібраційних грохотів на поділ сипучих матеріалів. Показано переваги суцільного спектра збудження поверхонь над моночастотним або вузьким дискретним.

В статті [5] розглянуто особливості класифікації сипучих матеріалів на плоских грохотах. Представлена математична модель односитного грохоту, запропоновано вираз для визначення ймовірності з вилучення дрібного класу продукту просівання, що саме і є новизною виконаної роботи. Визначено адекватність моделі за результатами співставлення розрахункових і експериментальних даних.

У статті [6] своїх експериментальних дослідженнях розглянули математичні закономірності поведінки частинок на похилій площині фрикційного сепаратора. Закономірності отримані відповідно до загальних теорем динаміки механічної системи і дозволяють оцінити швидкість руху рудних частинок для різної їх форми.

В статті [7] описані перспективи процесів вібраційного розділення. Розглянуто універсальність вібрації. Вона є найбільш ефективним загальним засобом керування динамічним станом оброблюваної сировини при здійсненні різноманітних технологічних завдань у різних дисперсних системах. Унікальні можливості вібраційного поля, а саме ефективні розділення, руйнування, розпушування, ущільнення та інші властивості обґрунтовують перспективність застосування вібрацій для виробництв

Результати дослідження розділення сировини під впливом вібрацій викладені у статті [8]. В результаті проведених досліджень встановлені три області можливих станів дисперсної суміші твердих частинок залежно від параметрів вібрації, що впливає на дану суміш: область, в якій відбувається ущільнення частинок суміші; область поділу частинок за розмірами і масі і область інтенсивного перемішування (віброкіпіння) суміші порошків

В матеріалах конференції молодих вчених і студентів [9] викладено матеріали по використанню операції тонкого грохочення в умовах ПівніГЗК. В рамках роботи виконані лабораторні дослідження згідно з розробленою технологічною схемою. Доведена можливість отримання

високосортного залізорудного концентрату ПівнГЗК з використанням операції доведення після основного циклу збагачення операції тонкого грохочення.

В дисертаційній роботі [10] описані способи підвищення ефективності вібраційного грохочення сипкого матеріалу. Експериментально підтверджено вплив напрямів вібраційних коливань на показники грохочення. Запропонована технологія грохочення з використанням просіюючої поверхонь складної форми

Виконаний вище аналіз існуючих публікацій та дисертацій свідчить про актуальність обраної теми та про можливість використання вібраційного розділення у напрямку дослідження. Але слід зауважити, що всі висвітлені дослідження та напрямки переважно стосуються сипучого матеріалу. У запропоновану напрямку дослідження для вивчення і саме розробки або вдосконалення технології запропонований пінний продукт це внутрішній продукт технологічної схеми, який потребує детального вивчення.

Використання грохотів та гідроциклонів для підвищення якості залізорудних концентратів дозволяє використовувати розділення по крупності як основний метод доведення концентрату. Найбільш ефективним апаратом для цієї технології є вібраційний грохот.

Максимальна ефективність грохочення досягається при відповідності розміру отвору сита, амплітуди та частоти коливань грохоту фракційному складу початкового продукту [11-13].

Вібраційне розділення застосовується на багатьох залізорудних підприємствах для зниження вмісту кремнезему і підвищення якості товарної продукції, зниження операційних витрат (електроенергія, куль помольних, футерування та ін.).

Переваги вібраційного розділення в циклах подрібнення найбільш яскраво проявляються в разі значної різниці в щільності цінного мінералу і пустої породи. При традиційних методах класифікації, із застосуванням гідроциклонів або спіральних класифікаторів, поділ часток відбувається за різницею в швидкості осадження. Однак при наявності різниці в питомій вазі подрібнюваних мінералів, більші частки жильної породи, частки проміжних продуктів подрібнення і тонкі частинки концентрату мають подібні швидкості осадження і розділення носить імовірнісний характер. Це призводить до неефективної класифікації, і як результат, тонкий промпродукт прямує назад в млин і пере подрібнюється.

Постановка задачі. Метою даних досліджень є оцінка можливості застосування у схемах переробки пінного продукту флотації магнетиту гідравлічного грохоту на підставі вивчення особливостей гранулометричного складу продуктів та закономірностей розподілу мінералів за фракціями.

Викладення матеріалу та результати. В рамках виконаної роботи було визначено гранулометричний склад живлення флотації та пінного продукту по класам крупності, а також виконана їх оцінка по типу зростання та вмісту рудного компоненту.

Результати проведених досліджень живлення флотації та пінного продукту представлені в табл.1-4.

Таблиця 1

Гранулометричний склад живлення флотації та його характеристики

Класи крупності, мм	Вміст класу, %	Fe _{заг.} , %	ε, %
+0,05	2,17	28,45	1,01
-0,05+0,04	2,50	39,85	1,63
-0,04+0,02	12,11	46,50	9,23
-0,02	83,22	64,60	88,13
Всього:	100,00	61,00	100,00

Таблиця 2

Типи зростання та вміст рудного компоненту в живленні флотації по класам крупності

Клас, мм	Вміст класу, %	Fe _{заг.} , %	Співвідношення типів зростання / вміст рудного компоненту				
			рудні	багаті	середні	бідні	нерудні
			95-100 р.ф.	75-95 р.ф.	25-75 р.ф.	5-25 р.ф.	0-5 р.ф.
+0,05 мм	2,17	28,45	48	20	2	15	15
-0,05+0,04	2,50	39,85	51	18	3	10	18
-0,04+0,02	12,11	46,50	60	10	0	10	20
-0,02	83,22	64,60	70	2	0	3	25

Таблиця 3

Гранулометричний склад пінного продукту та його характеристики

Класи крупності, мм	Вміст класу, %	Fe _{заг.} , %	ε, %
+0,05 мм	5,44	16,64	2,22
-0,05+0,04 мм	6,28	20,00	3,09
-0,04+0,02 мм	18,32	24,40	10,98
-0,02 мм	69,96	48,70	83,71
Всього:	100,00	40,70	100,00

Таблиця 4

Типи зростання та вміст рудного компоненту в пінному продукті по класам крупності

Клас, мм	Вміст класу, %	Fe _{заг.} , %	Співвідношення типів зростання / вміст рудного компоненту				
			рудні	багаті	середні	бідні	нерудні
			95-100 р.ф.	75-95 р.ф.	25-75 р.ф.	5-25 р.ф.	0-5 р.ф.
+0,05 мм	5,44	16,64	20	5	3	27	45
-0,05+0,04	6,28	20,00	43	15	2	20	20
-0,04+0,02	18,32	24,40	48	8	0	10	34
-0,02	69,96	48,7	64	5	0	5	26

Аналіз гранулометричного та мінералогічного складу живлення флотації магнетитових концентратів та пінного продукту показав, що у пінному продукті концентруються не тільки нерудні мінерали та їх зростки, але й дрібні (менше 0,02 мм) рудні частинки. При цьому матеріал пінного продукту більш крупніший – вміст класу +0,02 мм у пінному продукті складає 30,04 % проти 16,78 %. Мінералогічний аналіз живлення флотації та пінного продукту показав, що ці продукти складаються з магнетиту, кварцу та силікатів у різному співвідношенні. Магнетит є основним рудним мінералом. Далі за вмістом – мінерали які містять залізо гематит, силікати, рудний карбонат, сульфід заліза. Нерудні мінерали представлені кварцем, доломітом, кальцитом та апатитом. Носіями шкідливих домішок сірки та фосфору є сульфід заліза (пірит FeS₂, піротин Fe_nS_{n+1}) та апатит Ca₅[PO₄]₃(F, Cl, OH).

Тенденції концентрування масової частки заліза загального у класі крупності -0,02 мм (у живленні флотації 88,13 %) зберігається і у пінному продукті (83,71 %). При цьому саме у класі крупності -0,02 мм спостерігається максимальна масова частка заліза загального – 64,6 % у живленні флотації, 48,7 % у пінному продукті.

Розкриття магнетиту по класам крупності живлення флотації в порівнянні з пінним продуктом наведені на рис. 1.

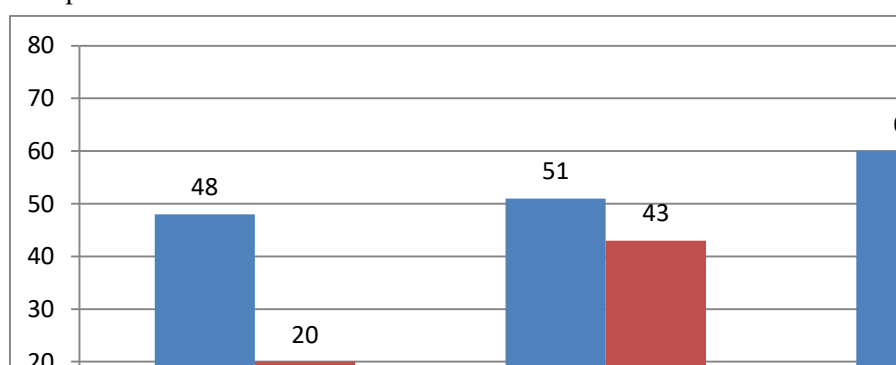


Рис.1. Розкриття магнетиту по класам крупності живлення флотації та пінного продукту

В продуктах, що підлягали дослідженню частинки розміром більше 0,05 мм представлені зростками кварцу і силікатів, рідше кварцу і магнетиту. Матеріал фракції -0,05 + 0,044 мм та -0,044+0,02 мм має близький мінеральний склад, вміст магнетиту в ньому трохи вище в порівнянні з матеріалом фракції 0,05 мм. Матеріал фракції -0,02 + 0 мм являє собою суміш розкритих частинок магнетиту (64 %) з домішкою розкритих уламків кварцу і силікатів (26%). Силікати представлені куммінгтонітом, хлоритом, біотитом, гранатом. Незначна кількість магнетиту знаходиться у зростках з кварцем, куммінгтонітом, рідко з гранатом Fe₂+3Al₂[SiO₄]₂ (альмандин). Розмір зростків 0,02-0,28 мм.

На рис. 2 показані мінерали пінного продукту флотації у відбитому світлі.

Рис.2. Мінерали пінного продукту флотації у відбитому світлі

Куммінгтоніт мінерал групи амфіболів $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$. Зерна куммінгтоніту за рахунок подрібнювання часто набувають форму близьку до ізометричної. Наряду із видовженими призматичними кристалами розміром $0,12\text{--}0,08 \times 0,01\text{--}0,02$ мм мають місце кристали розміром $0,08 \times 0,05$ мм [14]. Зазвичай ці великі кристали призматичної форми куммінгтоніту містять точкові включення магнетиту.

Хлорит $(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{SiAl})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ($\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{OH})_6$, біотит К $(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}][\text{OH}, \text{F}]_2$ характеризуються лускуватим габітусом, нерідко також містять тонку включення кристалів магнетиту.

Зазвичай гранат представлений ізометричними зернами, зі збереженням своєї форми у класах крупності.

Кварц – основний нерудний мінерал. У класі +20 мкм, містить, аналогічно силікатам, точкові включення рудного мінералу. У класі -10 мкм кварц представлений повністю розкритою фазою.

Наведені результати фракціонування магнетитових промпродуктів за крупністю дозволяють зробити попередній прогноз технологічних показників тонкого просіювання для досліджуваного продукту і вибрати розмір отвору сита грохоту.

В результаті просіювання через сито $0,02$ мм пінного продукту отримано дві фракції: + $0,02$ мм і - $0,02$ мм. Фракція - $0,02$ мм представлена мономінеральні частинками магнетиту, з незначною домішкою рудно-нерудних зростків та розкритих часток кварцу, силікатів. Матеріал крупністю - $0,02$ + 0 мм можливо вважати розкритим та найбільш концентрованими за вмістом заліза і саме цей матеріал є матеріалом подальшого вивчення та розробки технологічних схем.

Тому нами при подальшому збагаченні пінного продукту передбачається встановлення у схемі гідравлічного грохоту з розміром отвором сита $0,044$ мм та менше. Подальша схема повинна включати операції роздільного послідовного подрібнення і збагачення підрешітного і надRESHІтного продуктів грохоту.

Як відомо ймовірність просіювання частинок через сито залежить, крім крупності частинки, від фракційного складу матеріалу в робочому об'ємі і від взаємодій частинок над отвором сита. У зв'язку з тим що частинки пінного продукту сфолульовані та гетерокоагульовані нами в подальших роботах ставиться завдання розробити заходи, які дозволять цю проблему вирішити.

Кількісна оцінка сегрегації при цьому буде визначатися величиною вилучення дрібних частинок під решето і співвідношенням дрібних і крупних частинок на решеті грохоту. Так як максимальна ефективність грохочення досягається при відповідності розміру отворів сита, амплітуді і частоті віброколиваний гідравлічного грохоту фракційному складу вихідного продукту, то буде визначено оптимальне значення масової, частки твердого в живленні гідравлічного грохоту і його гранична продуктивність в залежності від розміру отворів сита і від фракційного складу вихідного продукту.

Після вивчення матеріалу для подальших досліджень рекомендована схема досліджень з введенням додаткових операцій, на якій вказані прогнозні показники на рис. 3.

Рекомендована схема дозволить отримати залізорудний концентрат з масовою часткою заліза загального на рівні $64,24\%$ та вище. Після детального опрацювання у дану схему можливо будуть внесені додаткові операції.

Висновки і напрямки подальших досліджень. В результаті аналізу гранулометричного та мінералогічного складу встановлено, що у фракції більше $0,05$ мм сконцентровано зростки кварцу і силікатів, рідше кварцу і магнетиту. Матеріал фракцій - $0,05$ + $0,044$ мм та - $0,044$ + $0,02$ мм має близький мінеральний склад, але вміст магнетиту в ньому трохи вище в порівнянні з матеріалом фракції + $0,05$ мм. Матеріал фракції - $0,02$ + 0 мм являє собою суміш розкритих частинок магнетиту (64%) з домішкою розкритих уламків кварцу і силікатів (26%).

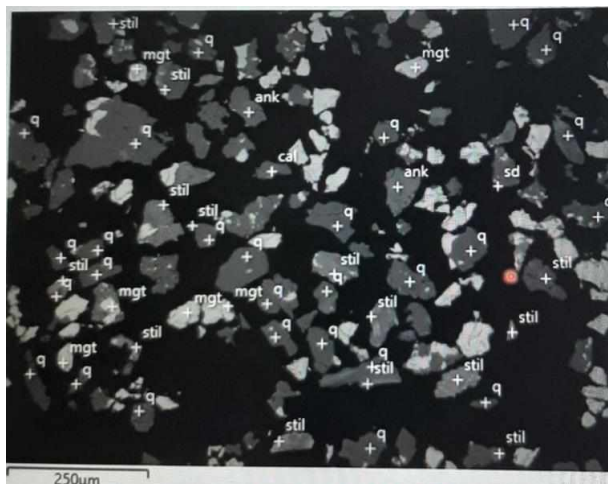




Рис. 3. Рекомендована схема досліджень

Визначено, що фракціювання гранулометричного складу пінного продукту дозволяє спрогнозувати можливість застосування у схемі збагачення пінного продукту гідравлічного грохочення за граничним зерном 0,02 мм та подальшим послідовним подрібненням і збагачення підрешітного і надрешітного продуктів грохоту.

Для формування оптимальних умов сегрегації частинок необхідно розробити заходи з дефлокуляції і гетерокоагуляції мінералів пінного продукту за рахунок вивчення особливостей адсорбції реагентів на його поверхні і взаємодії частинок з бульбашками повітря, а також визначити закономірності селективного руйнування мінеральних флокул та комплексів за рахунок змінення направленості сил поверхневого натягу.

Список літератури

1. V.Morkun, G.Gubin, T.Oliinyk, V.Lotous, V.Ravinskaia, V.Trone, N.Morkun, M.Oliinyk High-energy ultrasound to improve the quality of purifying the particles of iron ore in the process of its enrichment. 2017. doi:10.15587/1729-4061.2017.118448.
2. Олейник М.О., Скляр Л.В., Скляр А.Ю. Особенности флотации железных руд. Збагачення корисних копалин. – Дніпропетровськ. – 2017. – Вип. 67(108). – С. 88-101. Фахове видання.
3. Ребот Д.П., Топільницький В. Г., Велика О.Т. Дослідження зміни амплітуди та частоти коливань сипкого матеріалу в процесі вібраційної сепарації: стаття. Львів : Науковий вісник НЛТУ України.
4. Булат А.Ф., Шевченко Г.А. Влияние поличастотных колебаний просеивающих поверхностей вибрационных грохотов на разделение сыпучих материалов. Науковий Вісник НГУ.2010. № 4. С. 92-97.
5. Денисов Д.Г. Разделение полидисперсных материалов на грохотах. Вестник ИГЭУ. 2006. № 4. С. 1-4.
6. Ляпцев С.А., Потапов В.Я. Закономерности разделения минералов на наклонной плоскости фрикционного сепаратора. Вестник Уральского государственного горного университета. 2015. С. 166-170.
7. Омелянов О.М. Перспективи реалізації процесів вібраційного розділення. Вібрації в техніці та технологіях. 2019. № 1.
8. Пилиневич Л.П. Исследование процесса разделения твердых частиц поразмерам, форме и массе под воздействием вибрации. Доклады БГУИР.2015. № 6.
9. Буханець Ю.В., Скляр Л.В. Використання операції тонкого грохочення при збагаченні магнетитових кварцитів в умовах ПівніГЗК. Проблеми енергозбереження і механізації в гірничо-металургійному комплексі: матеріали конференції молодих вчених і студентів., м. Кривий Ріг, 25 квітня. 2019 р. Кривий Ріг, 2019. С. 145–147.

10. Балдасва Т.М. Підвищення ефективності вібраційного грохочення на основі моделювання технологічних закономірностей: дис. канд. тех. наук : 25.00.13 / Санкт-Петербурзький гірничий університет. Санкт-Петербург, 2019. 109 с.

11. Пелевин А.Е. Научные основы процесса тонкого гидравлического вибрационного грохочения и разработка новых схем обогащения магнетитовых руд: дис. док. тех. наук : 25.00.13 / Уральский государственный горный университет. Екатеринбург, 2011. 399 с.

12. Олійник Т.А., Скляр Л.В., Кушнірук Н.В. Обґрунтування впровадження тонкого грохочення в технологю збагачення магнетитових кварцитів. Збірник наукових праць міжнародної конференції «Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості і транспорту.- 24-25 квітня - 2020. Дніпро. с.173-177.

13. Скляр Л.В., Олійник М.О., Кушнірук Н.В., Скляр А. Ю., Коржан І.А. Використання тонкого грохочення в умовах ПРАТ "ПІВНІЧНОГО ГЗК". Збагачення корисних копалин. – Дніпропетровськ. – 2018. – Вип. 69(110). – С. 69-77. Фахове видання.

14. Бетехтин А.Г. Курс минералогии : учебное пособие. Москва : КДУ, 2007. 721 с

УДК 658.38: 621.1

В.Г. НАЛИВАЙКО^{*}, канд. техн. наук, доц., К.В. ЛОСЬЄВ, асист.
Криворізький національний університет

ВПЛИВ ТРАВМОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ ОСНОВНИХ ВИДІВ РЕМОНТНИХ РОБІТ НА ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ У ХОЛОДНИЙ ПЕРІОД РОКУ

Мета. Метою роботи є встановлення способів підвищення безпеки праці при виконанні ремонтних робіт на теплотрасах і теплогенеруючого обладнання. Також необхідно визначити найбільш травмонебезпечні види робіт і спеціальності працівників підприємств тепlopостачання які їх виконують, запропонувавши способи зменшення аварійного виробничого навантаження на них. Зменшення кількості аварійних робіт може бути досягнуто шляхом проведення профілактичних робіт на теплотрасах і теплогенеруючого обладнання, скорочуючи при цьому кількість небезпечних робіт, а так само трудові та матеріальні витрати пов'язані з їх виконанням.

Методи дослідження. Дослідження проводилися з використанням математико-статистичного методу експертних оцінок. Даний метод дозволяє оперативно виявити найбільш проблемні та витратні роботи підприємств тепlopостачання, які виникають у процесі експлуатації обладнання і теплотрас, так і з раптовими аварійними ситуаціями. Таким чином, можна визначити перелік профілактичних робіт, які повинні бути виконані в першу чергу.

Наукова новизна. Дослідження з використанням математико-статистичного методу експертних оцінок дозволять швидко визначити проблеми при організації профілактичних ремонтів на підприємствах тепlopостачання.

Практична значимість. Висновки отримані за результатами досліджень дозволять розробити рекомендації, щодо зменшення кількості аварійних робіт на теплотрасах. Визначивши найбільш травмонебезпечні види робіт і спеціальності працівників підприємств тепlopостачання, які їх виконують, необхідно зменшити виробниче навантаження, пов'язане з аварійними роботами, через проведення профілактичних робіт на найбільш потенційно небезпечних аварійних ділянках.

Розроблені рекомендації на основі математико-статистичного методу експертних оцінок дозволять покращати виробництво організаційних робіт по ліквідації аварійних ділянок теплотрас і знизити кількість аварійних робіт, що повинно зменшити захворюваність працівників підприємств тепlopостачання та підвищити безпечність праці особливо в осінньо-зимовий період року.

Результати. На підставі профілактичних графіків ремонтних робіт можна скласти першочерговість заміни труб аварійних ділянок теплотрас, що полегшить планування ремонтних робіт по заміні аварійних ділянок трубопроводів. Найбільш травмонебезпечними роботами є газозварювальні і електрозварювальні роботи відповідно спеціальностями котрі їх виконують є газозварник та електрозварник. Умови їх роботи експерти визначають як небезпечні і шкідливі.

Ключові слова: експертна оцінка, математико-статистичний метод експертних оцінок, бали оцінки.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-79-85

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Профілактичні роботи дозволяють визначити обсяг і кількість, що підлягають заміні аварійних теплопроводів на теплотрасах. Величина обсягу істотно залежить від часу і умов перебування трубопроводів під землею, а також їх параметрів (діаметр, товщина стінок трубопроводів, протяжність аварійних ділянок).

Наведені умови викликають зростання матеріальних і трудових витрат, захворюваності і травмонебезпечності виконуваних видів робіт, особливо це позначається в осінньо-зимовий період (робота в холодну і сиру погоду з мерзлим ґрунтом).

Організаційні роботи включають: складання графіків ремонтів, заявки на землерийну техніку, підготовку ремонтних бригад, а також вивезення демонтованих труб з місць ремонту, доставка і монтаж нових, час демонтажу. Узгодження і затвердження цих графіків з вищими структурними підрозділами підприємства, виконання гідравлічних випробувань трубопроводів перед здачею їх в експлуатацію. Істотним фактором в організації ремонтних робіт є розробка і погодження параметрів теплоносія при транспортуванні його по заміненіх і незамінених трубах. Якщо навантаження будуть не узгоджені, то це може привести до аварійних ситуацій.

Аналіз досліджень і публікацій. Одним з найважливіших факторів в організації ремонтних робіт є розробка і узгодження параметрів теплоносія при транспортуванні його по заміненіх і незамінених трубах. Якщо параметри навантажень будуть не узгоджені, то це може привести до серйозних наслідків. Аналіз травматизму і захворюваності на теплогенеруючих підприємствах в період з середини дев'яностих років по теперішній час які виконувались інститутом «НДІ безпеки праці і екології в гірничорудній і металургійній промисловості» і опубліковані результати в збірниках робіт, дозволяють зробити висновок про актуальність проблеми зменшення травмонебезпечності виконуваних робіт [14].

Постановка задачі. Було проведено анкетування працівників теплогенеруючих підприємств Кривого Рогу, таких як КПТМ «Криворіжтепломережа» та АТ «Криворізька теплоцентраль» з питання встановлення черговості профілактичних робіт по заміні аварійних трубопроводів з метою зменшення кількості аварійних робіт і травмонебезпечності при їх виконанні.

В анкетуванні взяли участь працівники всіх структурних підрозділів теплогенеруючих підприємств. Питання анкети на які відповідали працівники теплогенеруючих підприємств КПТМ «Криворіжтепломережа», і АТ «Криворізька теплоцентраль» наступні: (при цьому кожному фактору за ступенем важливості експерти вказали певний бал оцінки) [13].

Фактори

1. Проведення ремонтних робіт тільки у весняно-літній період.
2. Своєчасне виявлення можливих поривів на теплотрасах.
3. Складання профілактичних графіків, пов'язаних з можливими поривами труб на теплотрасах.
4. Розробка і впровадження методики по визначенню знаходження ділянок труб з мінімальною товщиною стінки.
5. Розробка і впровадження автоматизованого визначення аварійних ділянок труб.
6. Удосконалення графіка схеми, що характеризує час закладки труб теплотраси.
7. Ув'язка параметра теплоносія з фізичною характеристикою покладених труб з часом знаходження їх в експлуатації.
8. Встановлення взаємозв'язку між швидкістю корозії труб і часом перебування їх в експлуатації.
9. Удосконалення організації ремонтних робіт на теплотрасах: дотримання виконання графіка ремонтних робіт; своєчасне контролювання параметрів теплоносія в районах вироблених ремонтних робіт; зведення робіт по ремонту до мінімуму в осінньо-зимовий період.
10. Прогнозування аварійних ділянок теплотрас: (час їх експлуатації, товщина стінок труб, час транспортування теплоносія, умови перебування труб теплотрас в лотках (вогкість, наявність води, теплової ізоляції і ін. умови).

Примітки	Посада	П.І.Б.	Дата	Підпис

Викладення матеріалу та результати. Обробка результатів анкетування була здійснена за допомогою математико-статистичного методу експертних оцінок [1]. Сутність його полягає в розташуванні факторів впливу в певній зростаючій послідовності яка визначається методом ранжирування. При ранжируванні фактори розташовують в найбільш раціональному порядку і приписують кожному з них в порядку збільшення числа натурального ряду - ранги. При цьому ранг 1 (один) отримує найкращий фактор, а ранг N - найменш бажаний. Якщо всі n оцінок різні, то відповідні числа натурального ряду є ранги оцінок i-го експерта.

Якщо серед оцінок i-го експерта однакові дані, то їм призначається однаковий ранг, рівний середньому арифметичному відповідних чисел натурального ряду. Після ранжування визначають суму рангів, призначених експертами кожному фактору [1].

Найбільш важливим вважається фактор, який отримав найменше значення суми рангів оцінок. Важливість кожного чинника визначається за середньостатистичною величиною [13].

$$\bar{x}_n = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}, \quad (1)$$

де x_i - варіант відповіді; n – кількість експертів.

Стандартне відхилення розраховується згідно формули

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_A)^2}{n-1}. \quad (2)$$

Ступінь відповідності думок експертів визначається коефіцієнтом варіації [1]

$$W_A = S/\bar{x}_A, \quad (3)$$

де S – середньоквадратичне відхилення; $\bar{x}_A$ - середня статистична величина.

Результати експертної обробки представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати експертної обробки

Фактори	Середньостатистична оцінка $\bar{x}_A$	Сума рангів оцінок S	Коефіцієнт варіації W_A
1. Проведення ремонтних робіт тільки у весняно-літній період	11,8	72	87
2. Своєчасне виявлення можливих поривів на тепло-трасах	13,9	61	71,2
3. Складання профілактичних графіків, пов'язаних з можливими поривами труб на теплотрасах	7,4	83	91,2
4. Розробка і впровадження методики по визначенню знаходження ділянок труб з мінімальною товщиною стінки	11	68	74,3
5. Розробка і впровадження автоматизованого визначення аварійних ділянок труб	8,4	78	81,7
6. Удосконалення графіка схеми, що характеризує час закладки труб теплотраси	6,3	74	70,2
7. Ув'язка параметрів теплоносія з фізичною характеристикою покладених труб з часом знаходження їх в експлуатації	11,2	70	88
8. Встановлення взаємозв'язку між швидкістю корозії труб з часом їх знаходження в експлуатації	6,2	63	77,2
9. Удосконалення організації ремонтних робіт на теплотрасах: дотримання виконання графіка ремонтних робіт; своєчасне контролювання параметрів теплоносія в районах вироблених ремонтних робіт; зведення роботи по ремонту до мінімуму в осінньо-зимовий період	18,1	61	86
10. Прогнозування аварійних ділянок теплотрас: (час їх експлуатації, товщина стінок труб, час транспортування теплоносія, умови перебування труб тепло-трас в лотках (вогкість, наявність води, теплової ізоляції та ін. умови)	14,2	59	85,3

Результати обробки статистичних даних по поривам і заміні які прийшли в непридатність труб на нові показують, що частота їх поривів залежить від діаметра труб чим більше діаметр труби, тим менше кількість замінених труб (рис. 1) [14].

На рис. 2 наведені криві, що характеризують кількість замінених труб при поривах в залежності від діаметра і пори року їх ремонту [4]. З графіку видно, що заміна аварійних труб була проведена протягом всього експлуатаційного періоду, що підтверджується результатами досліджень (рис. 2).

Найбільша кількість поривів і замінених труб відповідає наступним періодам і місяцям року: осінньо-зимовий період (жовтень-лютий) і весняний період (березень-квітень). Пояснюється це тим, що в ці періоди року значно збільшується теплове навантаження на теплопроводи. Ремонтні роботи, що проводяться з відновлення теплопроводів в осінньо-зимовий період пов'я-

зані з холодними метеорологічними умовами, отже з часом перебування робітників на ремонтних роботах [14].

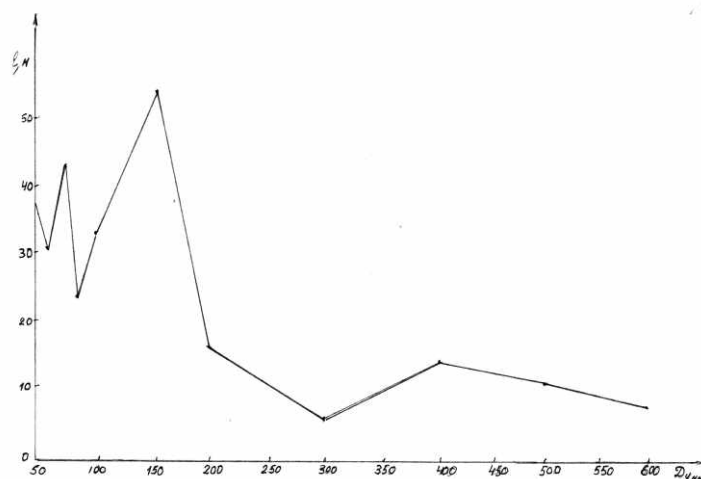


Рис. 1. Залежність кількості змінених ділянок теплопроводів від діаметра труб за період 2003-2005 рр.

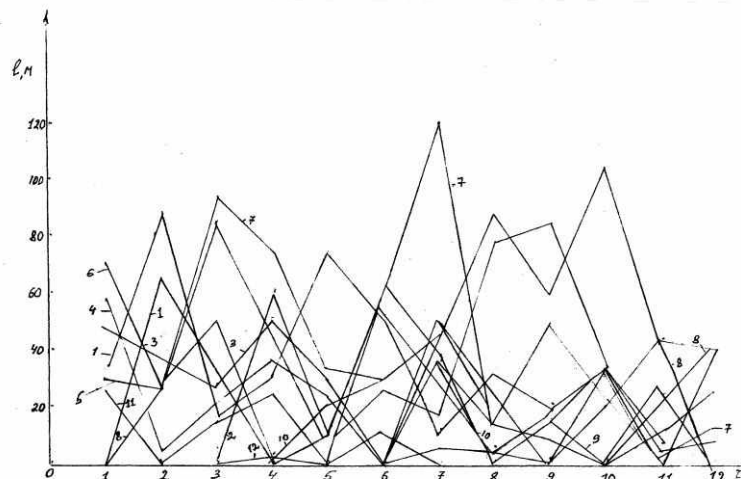


Рис. 2. Залежність кількості змінених труб на ділянках від діаметра труб та пори року за період 2003-2005 рр.: 1 - $d = 50$ мм; 2 - $d = 60$ мм; 3 - $d = 70$ мм; 4 - $d = 80$ мм; 5 - $d = 100$ мм; 6 - $d = 150$ мм; 7 - $d = 200$ мм; 8 - $d = 250$ мм; 9 - $d = 300$ мм; 10 - $d = 400$ мм; 11 - $d = 500$ мм; 12 - $d = 600$ мм

Обслуговуючий персонал по ремонту труб знаходиться на відкритому просторі і піддається впливу метеоумов. Згідно Українському центру радіології і контролю забруднення природного середовища Бріс Укр. ЦРКЗПС [2] середня температура в холодний період становить $-8,5^{\circ}\text{C}$. У цей період переважають вітри північного і північно-східного напрямків, швидкість яких досягає 15-22 м/с [5]. Робочі, що знаходяться на відкритих майданчиках по ліквідації поривів та заміни труб, переохолоджуються і піддаються різного роду захворюванням. Кількість хворих робітників підприємств АТ «Криворізька теплоцентраль» та КПТМ «Криворізька тепломережа» по місяцях року за період 2015-2017 рр. наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Динаміка захворювань працюючих КПТМ «Криворізька тепломережа» і АТ «Криворізька теплоцентраль»

Рік	Місяць											
	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
2015	64	87	151	79	59	58	57	59	68	91	72	127
2016	81	93	65	54	43	51	43	54	71	89	97	115
2017	94	123	89	73	45	34	28	31	57	74	81	118

Максимальна кількість захворювань припадає на періоди року, які збігаються з часом ліквідації поривів та заміною труб (рис. 2 і табл. 2).

Результати обробки показують, що такі фактори як своєчасне виконання профілактичних робіт та впровадження методик по визначенню інтенсивності корозії стінок трубопроводів,

дозволяють встановити обсяги аварійних робіт і протяжність трубопроводів що підлягають заміні [14].

Складання графіка ремонтних робіт дає можливість прогнозувати подальший час експлуатації труб. За даними Міністерства ЖКГ України 15% від загальної кількості прокладених теплотрас в даний час знаходяться в аварійному стані і потребують заміни. У зв'язку з наведеним профілактичний ремонт набуває важливого значення [13].

Аварійний стан трубопроводів призводить до порушення технології експлуатації, а також під впливом тимчасового фактора до збоїв теплопостачання споживачів. При усуненні аварійних ситуацій, виникають непередбачені обставини які призводять до травм або до погіршення стану здоров'я робітників, так як аварійні роботи можуть здійснюватися в різні часові періоди року тобто в різних метеорологічних умовах [6].

З метою виявлення основних травмонебезпечних професій при виробництві ремонтних робіт і експлуатації технологічного обладнання на підприємствах КПТМ «Криворіжтепломережа», АТ «Криворізька теплоцентраль» було проведено анкетування серед працівників зайнятих на ліквідації аварій. У цьому анкетуванні взяли участь також ІТП, працівники відділу ТБ, газозварники, електрозварники, слюсарі з ремонту теплотехнічного обладнання. Особливу увагу було приділено робочим професіям: газозварникам, електрозварникам, слюсарям з ремонту теплотехнічного обладнання які несуть основне навантаження при усуненні аварій. Питання на які відповідали анкетовані наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Оцінка травмонебезпечності видів робіт на підприємствах КПТМ «Криворіжтепломережа» і АТ «Криворізька теплоцентраль»

Спеціальність	Умови роботи (складні, небезпечні, шкідливі)	Кількість балів		
		Вид робіт		
		ремонт	експлуатація	
Газозварник				
Електрозварник				
Слюсар з ремонту теплового обладнання				
Слюсар-трасовік				
Працівник КВП				
Електрик				
Інженер-наладчик				
Оператор котельної				
Примітки	Посада	П.І.Б.	Дата	Підпис

Обробка результатів анкетування здійснена методом експертних оцінок [1].

Результати аналізу отриманих даних наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Оцінка найбільш травмонебезпечних спеціальностей підприємств теплопостачання

Види робіт	Средньостатистична оцінка $\bar{x}_A$	Сума рангів оцінок S	Коефіцієнт варіації W_A
Газозварник	18,4	52	71,0
Електрозварювальник	15,1	48	67,0
Слюсар з ремонту теплового обладнання	13,4	91	87,0
Електрик	12,8	94	83,0
Слюсар з ремонту теплотрас	12,2	91	81,4
Оператор котельної	8,4	110	75,2
Інженер-наладчик	6,2	115	79,1
Працівник КВП	5,7	119	78,4

Дані таблиці показують, що найбільш травмонебезпечними професіями є: газозварники, електрозварники, слюсарі з ремонту теплового обладнання, слюсаря по ремонту теплотрас, електрики [3]. Найбільш травмонебезпечні професії (газозварники, електрозварники) підтверджуються даними табл. 4: середньостатистичної оцінкою відповідно 18,4 і 15,1 сумою рангів оцінок (S) 52 і 48 і коефіцієнтами варіації (WA) - 71 і 67.

У зв'язку з цим зазначеним професіям при виконанні ремонтних і експлуатаційних робіт необхідно приділяти основну увагу. Такі професії як: працівники КВП, інженери-наладчики, оператори котельних установок характеризуються низькими величинами середньостатистичної оцінки і високою сумою рангів оцінок і їх можна віднести до менш травмонебезпечних професій [13-15]. З практики роботи цих фахівців зайнятих на ремонтних роботах відомо, що вони працюють в необмеженому просторі в закритих приміщеннях які протистоять впливу метеоумов (зниження температури, швидкості вітру, випадіння опадів), що сприятливо позначається на стані здоров'я працівників.

Персонал (оператори котелень, інженери КВП) піддаються травмонебезпечним умовам при розпалювання котлів, регулюванню апаратури пов'язаної з підтриманням необхідних параметрів теплоносія [9]. Ця травмонебезпечність особливо проявляється при роботі даних працівників в нічний час, тому плановими роботами для зменшення травмонебезпечності необхідно виключити ці роботи в нічний час [8]. Робота газозварників, електрозварників часто здійснюється в закритих приміщеннях в обмеженому просторі (теплові камери, топки котлів) де концентрація шкідливих викидів (CO_2 , чадний газ, сажа) перевищують нормативи а також практично відсутня хороша вентиляція, тому ліквідація аварій здійснюється в складних технологічних умовах [7]. Часто газозварники, електрозварники виконують аварійні роботи поєднуючи їх з плановими а це призводить до того, що працівники цих професій виконують роботи з додатковим фізичним навантаженням, що призводить до виникнення травмонебезпечних умов [10]. Крім того працівники цих професій за технологічними умовами виконують роботи на висоті, що додатково пов'язано з метеоумовами і у сукупності вплив вищевказаних чинників може призвести до погіршення стану їхнього здоров'я. Таким чином, з огляду на вищенаведене, професії газозварника і електрозварника відносять до найбільш травмонебезпечних а умови їх роботи вважаються шкідливими.

Висновки та напрямок подальших досліджень. На підставі профілактичних графіків можна скласти першочерговість заміни труб аварійних ділянок, що набагато полегшить планування ремонтних робіт по заміні аварійних ділянок трубопроводів. Дані табл. 1 показують, що всі способи по ремонту теплотрас актуальні [15]. Однак першочерговими необхідними роботами експерти вважають пункти: П1, П2, П4, П7, П8, П10. Виконання цих пунктів дозволить поліпшити виробництво організаційних робіт по ліквідації аварійних ділянок теплотрас і знизить кількість аварійних робіт, що в свою чергу зменшить їх травмонебезпечність і захворюваність працівників, підвищить безпеку праці особливо в осінньо-зимовий період.

Список літератури

1. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. - 2-е изд перераб и доп. - М.: Статистика, 1980.
2. Вчерашний Р.П., Елтаренко Е.А., Давыденко А.А. Использование экспертных методов в информационных исследованиях, М. Информ. 1983.
3. Голышев А.М., Лосьев К. В. Определение степени травмоопасности основных видов ремонтных и эксплуатационных работ на предприятиях теплоснабжения, Вестник Криворожского технического университета, 2007
4. Лосьев К. В. Установление очередности профилактического ремонта по замене аварийных участков трубопроводов и теплотрас и влияние их количества на безопасность труда, Вісник КТУ, збірник наукових праць- 2008. Вип № 21. с 183-186
5. СНиП 2.01.01.82 Строительная климатология и геофизика.
6. Аскользин П.А. Предупреждение коррозии оборудования технического водоснабжения и теплоснабжения, под. общей ред. Колотурин Я.М., Москва, Металлургия, 1988.
7. Акопян К.М. Охрана труда в коммунальной энергетике: справочное пособие, Москва, 1986.
8. Степанский О.П. Проведення аналізу травматизму, професіональних захворювань, аварійності умов та безпеки праці і розробка рекомендацій по усуненню причин їх виникнення, збірник НДІБПГ, 1997.
9. Панин В.И. Обслуживание коммунальных котельных и тепловых сетей, Москва, Стройиздат, 1974.
10. Онищенко Н.П. Охрана труда при эксплуатации котельных установок, Москва, Стойиздат, 1991.
11. Правила технічної експлуатації теплових установок і мереж в Україні, Міністерство юстиції України, № 197/13464, 2007р.
12. Зверева А.А. Действие производственных факторов на организм и меры защиты, Новосибирск, справочник, 1991г.
13. Мовчан О.Г., Лосьев К. В. Установление очередности профилактического ремонта по замене аварийных участков трубопроводов и определение основных травмоопасных специальностей предприятий теплоснабжения, Вісник КНУ, збірник наукових праць- 2016. Вип № 43. с 89-95.

14. Наливайко В.Г., Мовчан О.Г., Лосьев К. В. Важность определения травмоопасности основных видов ремонтных работ на теплогенерирующих предприятиях, Гірничий вісник, збірник наукових праць- 2018 Вип № 103. с 27-32.

15. Наливайко В.Г., Мовчан О.Г., Лосьев К. В Влияние профилактических ремонтных работ на уменьшение заболеваемости работников предприятий теплоснабжения, Вісник КНУ, збірник наукових праць- 2019. Вип № 48. с 121-126.

УДК 624.131:624.15

Р. О. ТІМЧЕНКО, д-р техн. наук, проф., Д. А. КРІШКО, канд. техн. наук, ст. викл.,
Д. Г. БРОНОВ, магістрант
Криворізький національний університет

ФАКТОРИ ГЕОТЕХНІЧНОЇ І ГЕОМЕХАНІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ

Мета. Оцінка і прогнозування станів системи «основа – фундамент – висотна будівля», що впливають на стійкість і безпеку об'єктів капітального будівництва. При розробці проектних рішень конструкцій фундаментів висотних будівель забезпечення геотехнічної і геомеханічної безпеки є найбільш актуальною проблемою.

Методи дослідження. При будівництві фундаментів висотних будівель виникає ряд особливостей, які необхідно враховувати при проектуванні. Вибір конструкції фундаментів, крім перерахованих вище принципів, залежить від фізико-механічних характеристик і характеру нашарування ґрунтів основи і навантажень, що передаються на них, форми і розмірів висотної будівлі, розмірів будівельного майданчика, наявності навколишніх будинків, тунелів (метро) і підземних комунікацій. Розрахунки фундаментів висотних будівель виконуються, як і для фундаментів звичайних будинків, за двома групами граничних станів відповідно до нормативів з урахуванням особливостей. Визначення величин навантажень на основу і розрахунки основ, фундаментів і підземних частин будівлі слід виконувати, розглядаючи спільну роботу системи «основа – фундамент – висотна будівля». Система «основа – фундамент – висотна будівля» є областю системної взаємодії висотного споруди і ґрунтового масиву, умов якого визначаються складом інженерно-геологічних компонентів і їх параметрів з урахуванням глибини закладення фундаменту, його конструктивних особливостей і величини силового навантаження, доданої в існуючу систему міської забудови.

Наукова новизна. Отримання комплексної інформації про компоненти сфери взаємодії основи з фундаментом і висотною будівлею дозволяє обґрунтувати вибір типу фундаменту, глибину його залягання, висоту (поверховість) та застосування інженерного захисту від екзогенних геологічних процесів.

Практична значимість. Проведення всебічного моніторингу на всіх етапах будівництва та після його завершення до стабілізації деформацій і науково-технічного супроводу проектування і будівництва.

Результати. Відзначено можливість розвитку негативних процесів, що впливають на стійкість і безпечно функціонування висотної будівлі, як на стадії розробки котловану, так і під час експлуатації висотної будівлі, пов'язана з особливостями інженерно-геологічних умов області взаємодії системи.

Ключові слова: система «основа – фундамент – висотна будівля»; навантаження; області взаємодії.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-85-91

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Возведення висотних будівель в забудованих містах ведеться за принципом точкової забудови у знову сформованих умовах в результаті впливу існуючих будівель і споруд на інженерно-геологічні процеси. Весь світовий досвід будівництва та експлуатації великих споруд і висотних будівель підтверджує, що нерідко аварії і негативні явища пов'язані з недостатньою вивченістю геологічних умов і помилковим або неточним прогнозуванням розвитку інженерно-геологічних процесів, що мають місце в ґрунтових масивах. Тому найбільш актуальною проблемою при розробці проектних рішень конструкцій фундаментів висотних будівель є забезпечення геотехнічної і геомеханічної безпеки.

Аналіз досліджень і публікацій. Найбільш широкий розвиток висотне будівництво отримало в азіатських країнах, що пов'язано з гострою нестачею територій. Так, в Японії висотний бум почався з 1970-х років. Його стимулювали з одного боку економічне зростання країни, а з іншого – технологічні успіхи в створенні висотних сейсмостійких конструкцій. Масове висотне будівництво почалося в містах-країнах Сінгапурі та Гонконгу в зв'язку з їх роллю міжнародних фінансових центрів Сходу. Концентрація найбільш високих будівель відзначається в найбільш

ших містах Східної і Південно-Східної Азії, де, починаючи з 1990 року, ростуть, як гриби, будівлі рекордних висот (445-508 м). Обмеження висоти будинків більше обумовлено економічними і естетичними міркуваннями, ніж інженерно-геологічними умовами будівництва.

Проблема зведення висотних будівель в різних країнах пов'язана з іменами відомих архітекторів: Ван дер Роє, Ле Корбюзьє, О. Німейєр, Н. Фостер та ін. Проектуванням висотного будівництва в складних інженерно-геологічних умовах і науково-практичним забезпеченням можливості висотного будівництва займалися: Р. Катценбах, А. Шмітт, Дж. Девіс, Г. Поулос, В.М. Улицький, В.І. Іллічов, В.П. Петрухін, В.І. Осипов, Р.С. Зіангіров, В.І. Кашірський, С.М. Клепиков, О.О. Петраков, В.Б. Швець, Р.О. Тімченко, З.Г. Тер-Мартirosян, В.І. Шейнін, І.В. Колибін, А.Г. Шашкін, О.А. Шулятьєв та ін. [1-18].

Постановка задачі. Метою досліджень є оцінка стану висотних будівель при забезпеченні факторів геотехнічної і геомеханічної безпеки.

Виклад матеріалу і результати. При будівництві фундаментів висотних будівель виникає ряд особливостей, які необхідно враховувати при проектуванні:

тиск на підшві фундаменту висотних будівель може бути на порядок вище, ніж для будівель заввишки до 75 м, що вимагає проведення спеціальних лабораторних і польових досліджень;

особливості інженерно-геологічних вишукувань;

діючі норми поширюються на розрахунок несучої здатності палі довжиною 35 м (опір на нижньому кінці палі) і 40 м (опір на боковій поверхні), що може бути недостатньо для проектування фундаментів висотних будівель;

великі навантаження (1-2 МПа), що передаються на ґрунт основи, вимагають враховувати в розрахунку міцності і деформаційні характеристики скельних і нескельних ґрунтів з $E > 100$ МПа, що вважаються відповідно до діючих норм нестисливими, а також збільшену зону розподілу напружень в ґрунті в плані і за глибиною, що може привести до збільшення шарів ґрунту, що сприймають навантаження від фундаменту. Особливо сильно це може позначитися при нерівномірному заляганні шарів;

збільшення розмірів (глибини і ширини) стиснутої товщини в масиві ґрунту призводить до збільшення термінів завершення консолідації ґрунту і розтягування процесу осідання у часі;

у разі, якщо основу складено ґрунтами з різними коефіцієнтами консолідації (як первинної, так і вторинної), необхідно враховувати можливість виникнення в результаті такого нерівномірного напружено-деформованого стану ґрунту (на проміжній стадії консолідації) неодноразового закінчення процесів консолідації різних видів ґрунтів і, як наслідок цього, виникнення крену будівлі, що перевищує граничні значення;

висока чутливість до крену;

збільшення розмірів області ґрунту основи, що деформується, призводить до надання більшого впливу на навколишні будівлі та споруди, в тому числі водонесучі комунікації, що необхідно враховувати в розрахунку.

У зв'язку з зазначеними вище особливостями при проектуванні висотних будівель були зроблені основні принципи:

прагнути створювати підземний об'єм такий, щоб вага вийнятого ґрунту при влаштуванні підземної частини будівлі дорівнював вазі будівлі;

знижувати тиск на підшві фундаменту шляхом збільшення його площі за рахунок створення коробчатого фундаменту і розвитку на площі підземної і стилобатної частин будівлі;

навантаження на фундаменти передавати симетрично щодо центральної осі, використовуючи відповідну конструктивну схему будівлі;

жорсткісні елементи (монолітні стіни, сходові клітини, ліфтові шахти і т.п.) розташовувати симетрично щодо центральної осі;

глибина закладення підшви фундаменту будівлі повинна зростати при збільшенні висоти будівлі;

застосовувати (при можливості) пірамідальну форму будівлі;

при збільшенні висоти будівлі знижувати гранично допустиме значення осідань фундаменту.

Вибір конструкції фундаментів, крім перерахованих вище принципів, залежить від фізико-механічних характеристик і характеру нашарування ґрунтів основи і навантажень, що передаються на них, форми і розмірів висотної будівлі, розмірів будівельного майданчика, наявності

навколишніх будинків, тунелів (метро) і підземних комунікацій і т. п.

Розрахунки фундаментів висотних будівель виконуються, як і для фундаментів звичайних будинків, за двома групами граничних станів відповідно до нормативів з урахуванням їх особливостей [19-22].

Відомо, що для висотних будівель не існує значень гранично допустимих величин деформацій земної поверхні, тому вони визначаються виходячи зі спільного розрахунку системи «основа – фундамент – висотна будівля» з урахуванням вимог нормальної експлуатації будівлі (робота ліфтів, водогінних комунікацій, осідання сусідніх будівель і споруд, в разі утворення єдиного підземного простору та інші), які повинні бути вказані в технічному завданні на проектування.

Визначення величин навантажень на основу і розрахунки основ, фундаментів і підземних частин будівлі слід виконувати, розглядаючи спільну роботу системи «основа – фундамент – висотна будівля».

При розрахунку основ фундаментів висотних будівель за деформаціями слід:

враховувати залежність деформаційних і міцнісних характеристик ґрунтів від тривалості прикладання навантажень;

розрахунок основи слід виконувати на основне сполучення постійних, тривалих і короткочасних навантажень;

розрахунок кренів фундаментів слід виконувати на основне сполучення постійних, тривалих і короткочасних (переважно вітрових) навантажень. При цьому величина крену повинна складатися з крену від дії постійних і тривалих навантажень і короткочасних.

При проектуванні основ і фундаментів висотних будівель в складі різноповерхових комплексів рекомендується передбачати їх випереджаюче будівництво з відношення до прилеглих малоповерхових частин. Розрахунок основ фундаментів в цьому випадку, при фундаменті на природній основі, слід виконувати для будівельного випадку, відповідного відсутності привантаження і розпору від малоповерхової частини комплексу.

В умовах нерівномірності передачі навантажень, неоднорідності залягання ґрунтів і підвищеної їх деформованості при недостатньо ефективних проектних рішеннях можуть призвести до розвитку надмірних осідань, прогинів і кренів фундаментних частин будівель. Остання обставина обумовлює зміщення центру ваги будівлі і збільшення моментних навантажень на основу, що викликає ще більше посилення нерівномірності деформацій земної поверхні. При осіданні висотної будівлі порушується існуючий стан балансу ґрунтів і розвиваються значні зони деформацій ґрунтового масиву поза території будівлі. Це, разом зі збільшеними значеннями напружень в масиві ґрунту, призводить до того, що:

осідання висотних будівель стабілізуються відносно повільніше і досягають кінцевих значень за більш тривалі проміжки часу;

фундаменти існуючих будівель, що потрапили в зону впливу споруди, отримують незворотні деформації.

Збільшення розмірів зони впливу потрібно враховувати при проектуванні споруд, прилеглих до висотної будівлі, і при розробці заходів щодо захисту навколишньої забудови. Зазначені геотехнічні особливості висотних будівель роблять необхідним істотне підвищення вимог до детальності і змістовності інженерних вишукувань, до розрахунків основ і фундаментів, до вибору конструктивних типів фундаментів і технологій їх влаштування.

Ефективність технічного рішення фундаменту висотної будівлі істотно зростає при його заглибленні. Глибина закладення фундаментів може становити 15-25 м, а в окремих випадках – 50 м. В даний час при проектуванні і будівництві висотних будівель широке застосування отримали три типи фундаментів: пальові, плитні і пальово-плитні.

Висотні будівлі відносяться до числа найбільш складних об'єктів будівництва, тому ряд основних рекомендацій щодо їх проектування приймається узгоджено міжнародними громадськими організаціями інженерів і архітекторів.

Усередині групи висотних будівель зазвичай вдаються до додаткової рубрикації з градацією висоти в 100 м. Кількість хмарочосів висотою понад 400 м у всьому світі не досягає і 10; висотою від 300 до 400 - 30, від 200 до 300 трохи перевищує 100, а будівлі висотою від 100 до 200 м є найпоширенішими, і кількість таких об'єктів зростає безперервно.

Для класифікації хмарочосів був прийнятий критерій висоти в метрах, а не поверховості,

оскільки висоти поверхів приймаються різними в залежності від призначення будівлі та вимог національних норм проектування.

Система «основа – фундамент – висотна будівля» є областю системної взаємодії висотної споруди і ґрунтового масиву, умови якої визначаються набором інженерно-геологічних компонент і їх параметрів з урахуванням глибини закладення фундаменту, його конструктивних особливостей і величини силового навантаження, доданих в існуючу систему міської забудови.

При будівництві будь-яких споруд на ґрунтовій основі формується деяка система. Систему «основа – фундамент – висотна будівля» і її структуру можна представити у вигляді системи з декількох ієрархічних рівнів, головним елементом якої є область взаємодії або сфера взаємодії системи «основа – фундамент – висотна будівля» (рис. 1).

Області взаємодії і всі її складові умов функціонування характеризуються набором компонент, які визначають генетичні особливості і тенденції процесу зміни геологічного середовища. Вони взаємопов'язані, взаємозумовлені, мають своє призначення, внесок при формуванні і розвитку тих чи інших геологічних процесів у межах системи «основа – фундамент – висотна будівля».

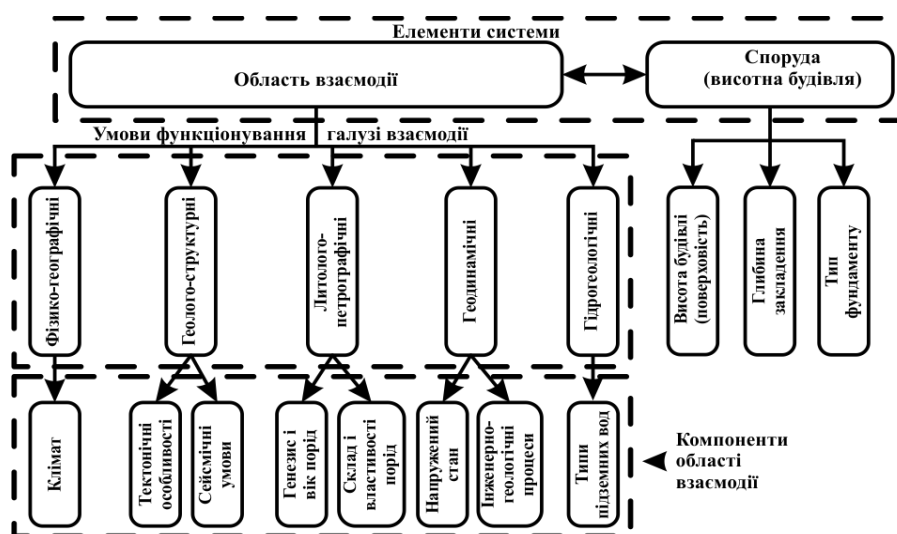


Рис. 1. Схема системи «основа – фундамент – висотна будівля»

Оцінка і прогнозування станів системи «основа – фундамент – висотна будівля» вимагають виконання принципово нових методів, заснованих на аналізі різних взаємодій між компонентами основи і висотною будівлею. Реакція основи області взаємодії системи на техногенний вплив споруди «висотна будівля» приведена в табл.1.

Таким чином, існуючі взаємодії в системі «основа – фундамент – висотна будівля» показано на рис. 2. Звідси видно, що нормальне функціонування системи має бути забезпечено за умови роботи висотної будівлі в суворій відповідності з проектним режимом.

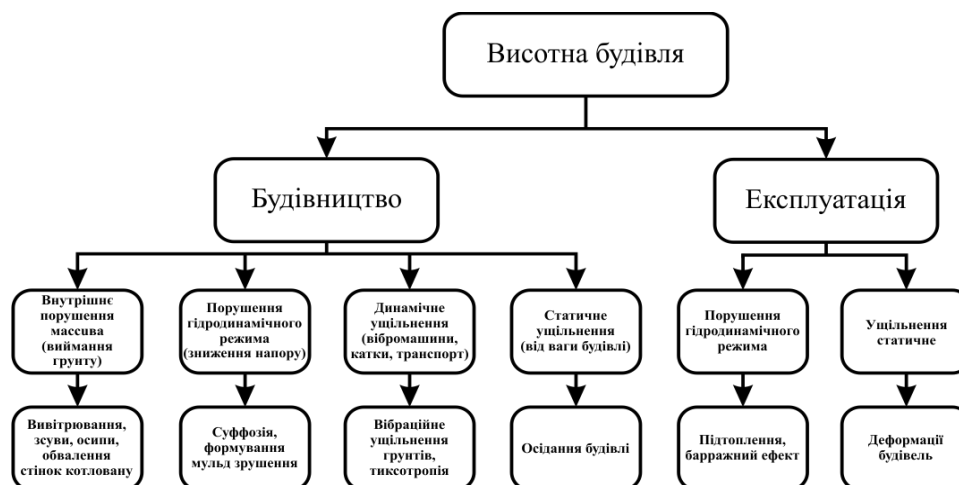


Рис. 2. Схема взаємодії системи «основа – фундамент – висотна будівля»

Безпечне функціонування системи «основа – фундамент – висотна будівля» буде забезпечено при рівноважному стані взаємодії її компонентів, тобто такому стані, при якому функціонування висотної будівлі відповідає його проектному режиму, не порушуючи при цьому динамічної рівноваги області взаємодії.

Своєрідність ґрунтових масивів формує стан стійкості системи «основа – фундамент – висотна будівля» і визначає умови і етапи будівельних робіт, елементів конструкції фундаменту і глибини його закладення.

Оцінка і прогноз розвитку інженерно-геологічних процесів повинні бути виконані аналітичними методами, що дозволяють оцінити етапність техногенного впливу на ґрунтовий масив, що дає можливість оптимально спроектувати споруду і забезпечити його безпечне функціонування.

Таблиця 1

Реакція середовища області взаємодії системи на техногенний вплив висотної будівлі

Вид техногенного впливу	Джерело впливу	Характеристики взаємодії	Компоненти інженерно-геологічних умов, інформація про які необхідна для оцінки процесу		Реакція основи геологічної та інженерно-геологічні процеси	Характер деформації будівель
			дисперсні ґрунти (суглинки, супіски, піски, щебеневі ґрунти)	скельні і напівскельні ґрунти		
Ущільнення статичне	Вага будівлі	Величина навантаження, розміри, глибина, форма закладення фундаментів	Потужність, мінеральний склад, фізико-механічні властивості (в т. ч. ступінь стисливості ґрунтів), гідрогеологічні умови	Залягання геологічних шарів, геолого-структурна будова потужності, фізико-механічні властивості ґрунтів (в т. ч. ступінь стисливості ґрунтів), гідрогеологічні умови	Статичне ущільнення	Нерівномірні опади (крен, прогин, перекис)
Ущільнення динамічне	Вібромашини, транспорт, катки	Інтенсивність, тривалість впливу і положення джерел	Потужність, мінеральний склад, фізико-механічні властивості, гідрогеологічні умови	Потужність напівскельних ґрунтів, гідрогеологічні умови	Ущільнення або вібраційне розрідження дисперсних і напівскельних ґрунтів	Нерівномірні осідання будівлі (крен фундаментів)
Внутрішнє руйнування масиву	Виймання ґрунту	Глибина, довжина, час, метеорологічного впливу	Неоднорідність ґрунтів і їх виходи, фізико-механічні властивості, гідрогеологічні умови	Залягання геологічних шарів, геолого-структурна будова, потужність, фізико-механічні властивості ґрунтів; гідрогеологічні умови	Вивітрювання, порушення поверхневого і підземного стоку, зсуви, пучення, набухання	Осідання, тріщини в стінах і фундаментах будівель, провали
Підтоплення	Водогінні комунікації, накопичення конденсаційних вод	Величина прибуткового потоку, механізм процесу підтоплення	Мінеральний склад (тип ґрунтів), фізико-механічні властивості ґрунтів, гідрогеологічні умови	Фізико-механічні властивості ґрунтів, гідрогеологічні умови	Зміна НДС, суфозія, зсуви, набухання, осідання	Випинання і нерівномірні осідання фундаментів, провали
Зниження напору	Дренажні споруди	Величини зниження РГВ	Неоднорідність гранулометричного складу, фізико-механічні властивості, градієнт напору	Характер заповнювача тріщин, гідрогеологічні умови	Фільтраційне ущільнення, суфозія	Нерівномірні осідання будівлі (прогин)

Головною особливістю висотних будівель в порівнянні зі звичайними спорудами є те, що питомий тиск на основу під фундаментною конструкцією досягає значних величин і в роботу залучаються великі маси ґрунтів, що володіють, як правило, істотною неоднорідністю в плані і за глибиною. Тому збільшення розмірів зони впливу потрібно враховувати при проектуванні споруд, прилеглих до висотної будівлі, і при розробці заходів щодо захисту навколишньої застройки.

Висновки та напрямки подальших досліджень. При проектуванні фундаментів висотних будівель необхідно враховувати особливості інженерно-геологічних вишукувань, розрахунків і проектування. У зв'язку з високою «чутливістю» висотних будівель до крену при розрахунку фундаментів важливим є врахування механічної анізотропії, початкового напружено-деформованого стану та консолідації ґрунту, а також вплив захисної конструкції котловану.

При визначенні розрахункових характеристик ґрунту коефіцієнт надійності з ґрунту повинен прийматися як в сторону підвищення механічних характеристик ґрунту, так і в бік зниження. Беручи до уваги унікальність висотних будівель і недосконалість нормативної бази, слід зазначити, що важливим є проведення всебічного моніторингу на всіх етапах будівництва та після його завершення до стабілізації деформацій і науково-технічного супроводу проектування і будівництва.

Висотні будівлі, що зводяться в складних інженерно-геологічних умовах, доцільно вивчати як систему «основа – фундамент – висотна будівля». Комплексна інформація про компоненти сфери взаємодії основи з фундаментом і висотною будівлею дозволяє обґрунтувати вибір типу фундаменту, глибину його залягання, висоту (поверховість) та застосування інженерного захисту від екзогенних геологічних процесів.

Відзначено, що можливість розвитку негативних процесів, що впливають на стійкості і безпечне функціонування висотної будівлі, як на стадії розробки котловану, так і під час експлуатації висотної будівлі, пов'язана з особливостями інженерно-геологічних умов області взаємодії системи.

Список літератури

1. Катценбах Р., Шмитт А., Рамм Х. Основные принципы проектирования и мониторинга высотных зданий Франкфурта-на-Майне. Случаи из практики // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2005. – № 9. – С. 80-99.
2. Тер-Мартirosян З.Г. Современные проблемы механики грунтов при высотном строительстве // Инженерная геология. – М.: 2007. – С. 33-41.
3. Математичне моделювання нелінійно-непружних контактних задач / Р. О. Тімченко, Д. А. Кришко, А. В. Богатинський, В. О. Савенко // «Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури» – Дн-ск: ПДАБА, 2015. – № 8. – С. 50-58.
4. Тімченко Р. О., Кришко Д. А., Сушко О. С. Багатофункціональний житловий комплекс у міському середовищі // Містобудування та територіальне планування – К.: КНУБА, 2017. – Вип. 63 – С. 416-421.
5. Тімченко Р. О., Кришко Д. А., Савенко В. О. Моделювання роботи системи «основа – інженерна споруда» за допомогою програмних комплексів // Актуальні питання проблеми створення та експлуатації технічних систем – 2017: Матеріали Міжвузівської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів (21 квітня 2017 р.). – Кривий Ріг: КНУ, 2017. – С. 130-133.
6. Тімченко Р. О., Кришко Д. А., Жуляєва П. Ю. Формування архітектурного середовища квартальної забудови // Міжвузівська науково-практична конференція молодих вчених та студентів «Актуальні питання проблеми створення та експлуатації технічних та електромеханічних систем». – Кривий Ріг. КНУ, 2018. – С. 63-65.
7. Применение геоинформационных систем в инженерно-геологических изысканиях / Р. А. Тимченко, Д. А. Кришко, С. О. Попов, М. О. Кравченко, Ю. В. Чугай // 36. наук. ст. "Галузеве машинобудування, будівництво". – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 3 (38). – Т.2. – С. 359-367.
8. Тімченко Р. А., Кришко Д. А. Особенности совместного расчета системы «основание – фундамент – верхнее строение» высотных зданий // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг: КНУ, 2014. – Вип. 36. – С. 117-122.
9. Применение математического моделирования для оценки напряженно-деформированного состояния системы „основание – фундамент – верхнее строение” в сложных инженерно-геологических условиях / Р. А. Тимченко, Д. А. Кришко, С. О. Попов, А. П. Сухан // 36. наук. ст. "Строительство. Материаловедение. Машиностроение". Серия: Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении. – Дн-ск: ПДАБА, 2014. – Вип. 78. – С. 263-269.
10. Федоровский В. Г., Безволев С. Г., Дунаева О. М. Методика расчета фундаментных плит на нелинейно-деформируемом во времени основании // Нелинейная механика грунтов: Тр. IV Рос. конф. с иностр. участием. – СПб., 1993. – Т.1. – С. 81–86.
11. Пат. 13794 Україна, МПК 6 Е 02D 27/00. Фундамент будівлі, споруди: 13794 Україна, МПК 6 Е 02D 27/00 Тімченко Р. О. (Україна). – № u 2005 10214; Заявл. 31.10.2005; Опубл. 17.04.2006, Бюл. № 4. – 6 с.

12. Тімченко Р.О. Проектування і розрахунок урівноважуючих плитних фундаментів: Навч. посібн. для студентів будівельних спеціальностей. – Кривий Ріг, Мінерал, 2005. □ 82 с
13. Тимченко Р. А., Кришко Д. А. Работа плитных фундаментов-саморегуляторов (ПФС) на неравномерно-деформируемом основании // Современные проблемы строительства. – Донецк, 2010. – № 9. С. 173-177.
14. Ильичёв В. А., Петрухин В. П., Шейнин В. И. Принципы проектирования оснований и фундаментов высотных зданий, учитывающие их геотехнические особенности // Современное высотное строительство / ГУП «ИТЦ Москомархитектуры». – М., 2007. – С. 255-261.
15. Федоровский В. Г., Колыбин И. В. Расчеты и проектирование оснований и фундаментов // Современное высотное строительство / ГУП «ИТЦ Москомархитектуры». – М., 2007. – С. 255-261.
16. Hanisch J., Katzenbach R., König G. Kombinierte Pfahl-Plattengrundungen. Ernst&Sohn. – 2002. – 222 p.
17. Тер-Мартиросян З. Г., Теличенко В. И., Королев М. В. Проблемы механики грунтов, оснований и фундаментов при строительстве многофункциональных высотных зданий и комплексов // Вестник МГСУ. – 2006. – №1. – С.18–27.
18. Шашкин К. Г. Расчет напряженно-деформированного состояния основания фундаментов и здания с учетом их взаимодействия // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2003. – №4. – С. 15–25.
19. ДБН В.2.2-41:2019. Висотні будівлі. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд, 2019. – 59 с.
20. ДБН В.1.2-12-2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. – К.: Мінрегіонбуд, 2008. – 34 с.
21. ДБН В.2.2-15:2019. Житлові будинки. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд, 2019. – 42 с.
22. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення – К.: Мінрегіонбуд, 2018. – 40 с.

УДК 622.1

М.М. КОНДРАТЕНКО, ст. викл., С.Г. САВЕЛЬЄВ, д-р техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКУ В ПРОЦЕСАХ ПІДГОТОВКИ МЕТАЛУРГІЙНОЇ СИРОВИНИ ДО ПЕРЕДІЛУ

Метою роботи є дослідження можливості застосування і ефективності ультразвукової обробки в процесах підготовки металургійної сировини до переділу.

Розглянуто відмітні особливості ультразвукових хвиль, явища стабільної та нестабільної кавітації, умови їх виникнення. Зазначено про необхідність процесів огрудування тонких концентратів залізорудних матеріалів для забезпечення початкової міцності агрегату дисперсних часточок після глибокого збагачення і важливості застосування зміцнювальних домішок в шихту огрудування. В якості останніх здебільшого використовують бентоніти, які задля поліпшення їх властивостей піддають хімічні або механічні активації.

Відзначено широке розповсюдження використання ультразвукових технологій у народному господарстві взагалі і наявність вдалих методик ультразвукової обробки бентонітів з метою покращення їх в'язучих властивостей зокрема. Ця обробка фактично є різновидом механічної активації. Проаналізовано можливі механізми впливу ультразвукової обробки на зміну властивостей оброблювального матеріалу. Зроблено висновок про можливість отримання позитивного результату ультразвукової активації бентонітів, які використовують при огрудуванні металургійної сировини.

Методи дослідження. В роботі використані загальнологічні методи наукового дослідження – аналіз і синтез, аналогія, узагальнення.

Наукова новизна роботи. На основі проведеного літературного аналізу встановлено, що за відповідних параметрів обробки застосування ультразвуку може дати позитивний ефект у покращенні в'язучих властивостей бентоніту, як зміцнювальної домішки в шихту огрудування.

Практична значущість роботи полягає у необхідності розробки та застосуванні ультразвукових, кавітаційних, бічастотних методів впливу на металургійну шихту в процесах її підготовки до огрудування.

Результати роботи свідчать про те, що застосування ультразвуку за відповідних параметрів обробки може дати позитивний ефект. Подальше проведення досліджень доцільно продовжити у напрямку вивчення прив'язки певних видів бентоніту до режимних параметрів його обробки ультразвуком для використання в якості зміцнювальних домішок у шихту огрудування.

Ключові слова: бентоніт, диспергування, ультразвук, кавітація, монтморилоніт, обкотиші, міцність

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-91-98

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. З початку промислового виробництва згрудкованої сировини для металургійного переділу досить гостро стоїть питання

покращення її міцнісних та термостійких властивостей. За останні 60-70 років було запропоновано безліч варіантів заміни існуючих домішок або покращення їх властивостей.

З одного боку існує проблема пошуку підвищення ефективності використання такої домішки у шихту огрудкування, як бентоніт. З іншого боку – відоме широке використання ультразвуку в самих різноманітних сферах народного господарства в якості інтенсифікатора технологічних процесів та засобу покращення властивостей речовин. Пошук шляхів реалізації поєднання цих двох передумов на сьогоднішній день є актуальним завданням в галузі підготовки сировини до металургійних процесів.

Аналіз дослідження публікацій. Вивчення звуку та його властивостей розпочалося з давніх давен. Піфагор, Аристотель, Ф. Савар, Д. Джоуль, П. Кюрі, Ж. Кюрі, Ф. Гальтон, П.Н. Лебєдев, П. Ланжевен, Г.В. Пірс, Р. Вуд, К. Дуссик, Л.Д. Розенберг – ось далеко не повний перелік імен вчених, які зробили значний внесок у розвиток акустики – науки про звукові коливання [1]. У кожному епоху немало уваги приділялося вивченню звукових явищ та можливості їх практичного застосування. І зараз, у ХХІ сторіччі майже не залишилось галузі людської діяльності, де б не застосовувався ультразвук. Фармацевтика, медицина, ветеринарія, біологія, географія, екологія, косметологія, агрономія, тваринництво, сільське господарство, хімічна та харчова промисловості, машино- та приладобудування, метало- та матеріалознавство, металургія, збагачення корисних копалин, гальванотехніка, нанотехнології, рибна та легка промисловості, автоматизація та будівництво – у всіх цих галузях можливо застосування ультразвукових приладів та технологій.

Ультразвук – хвилеподібно розповсюджуваний коливальний рух часточок середовища, що характеризується низкою відмітних особливостей в порівнянні з коливаннями чутного діапазону [2]. У будь-якому суцільному середовищі – газі, рідині, твердому тілі – в разі виведення молекул чи атомів із положення рівноваги, саме пружні сили, діючі на них з боку сусідніх часточок, будуть повертати їх у положення рівноваги. При цьому часточки будуть виконувати коливальні рухи, які розповсюджуватимуться у вигляді пружних коливань, і у суцільному середовищі являтимуть собою хвилеподібний процес. Через наявність у будь-якому середовищі прагнення до зменшення вільної енергії звукові коливання згасатимуть після одноразового виведення із стану рівноваги частинки середовища. Тому для виникнення та існування у часі будь-яких хвильових процесів потрібне постійне джерело (випромінювач) – збудник коливань з потрібними параметрами частоти та інтенсивності.

За загальноприйнятою класифікацією коливання із частотою від 0 до 20 Гц називають інфразвуковими; діапазон від 20 Гц до $16 \div 20$ кГц утворює чутні для людського вуха звуки; вище цієї частоти розташовано діапазон ультразвукових коливань, а коливання з частотою понад 10^8 Гц отримали назву гіперзвуку [3]. Верхня межа частоти залежить від матеріального пружного середовища, в якому коливання можуть розповсюджуватись лише за умови, що довжина хвилі буде більше міжатомної відстані. На основі досліджень встановлено, що існує ультразвук з частотою понад 100 МГц. Коливання ж з більшою частотою згасають настільки, що поглинаються безпосередньо у поверхні випромінювача. На практиці застосовують ультразвукові коливання з частотою до 25 МГц, бо коливання з більшими частотами можуть розповсюджуватись лише у кристалах [4, 5].

Розглянемо низку відмітних особливостей, які має ультразвук [2].

Довжина будь якої хвилі λ обернено пропорційна частоті коливань f , а швидкість хвилі v дорівнює їх добутку: $v = \lambda f$. Тому у порівнянні зі звуковими коливаннями, ультразвук, який має набагато більшу частоту f , за однакової швидкості розповсюдження v відрізняється набагато коротшою довжиною хвилі λ . Ультразвукові коливання у різних середовищах з довжиною хвилі $1 \div 10$ мм за своїми властивостями аналогічні світловим променям. Вони також можуть заломлюватись та віддзеркалюватись у відповідності до законів оптики. Це дозволяє не лише фокусувати коливання, але й формувати направлене випромінювання у потрібному напрямку та зосереджувати його в потрібному об'ємі.

Розповсюдження ультразвуку можливе у будь-яких матеріальних середовищах незалежно від прозорості, щільності, електропровідності, магнітних властивостей, тощо. Крім того, сучасні технології найбільш часто реалізують гетерогенні процеси між двома чи більшою кількістю неоднорідних середовищ (рідина – газ, рідина – рідина, рідина – тверде тіло, тощо). Але саме в рідких середовищах вплив ультразвукових технологій має найбільш високу ефективність через

значно більший, ніж у газів, питомий хвильовий опір (для води в 3500 разів більше, ніж для газів). Тому за однакових параметрів (амплітуда коливань) із ультразвукової системи найбільша акустична потужність випромінюється саме у рідину [6].

Потужність хвилі пропорційна квадрату частоти, і тому в ультразвукових коливаннях має дуже великі значення – сягає сотень кіловат; інтенсивність (енергія, що розповсюджується через одиницю площі за одиницю часу) також величезна – $1 \div 1000 \text{ Вт/см}^2$. За такої інтенсивності ультразвукової хвилі енергія механічних коливань, розповсюджуваних всередині матеріальних тіл, дуже велика. Перепади звукового тиску перевищують десятки МПа та мають знакозмінні значення: стиснення змінюється розрідженням і навпаки – від 20 000 до 100 000 000 разів за секунду. При цьому часточки середовища коливаються з малими амплітудами (частки мікрона) і величезними прискореннями – близько $10^5 \cdot g$.

У рідинах завдяки отриманому порушенню однорідності середовища у фазі розрідження в найбільш слабких місцях починається виділення розчинених тут газів з утворенням бульбашок, які стабілізуються моношаром органічних речовин. Бульбашки спочатку лінійно, а, зі збільшенням інтенсивності хвиль, не лінійно коливаються з частотою ультразвуку відносно свого рівноважного радіусу, тому самі стають джерелами ультразвукових коливань. Це явище називають стадією стабільної кавітації. З подальшим збільшенням інтенсивності ультразвукового джерела утворюються швидко зростаючі парогазові бульбашки, що миттєво скорочуються в об'ємі та лускаються – настає колапс. Ця стадія називається стадією нестабільної кавітації, яка характеризується розігрівом парогазової суміші у бульбашках до $8\,000 \div 12\,000 \text{ }^\circ\text{K}$, створенням тисків понад 10 000 атм, високою радіальною швидкістю стінок бульбашки, більшою за швидкість звуку (340 м/с). На місті кульки, що луснула, утворюється ударна хвиля, подібна до точкового вибуху [8-10], виникає мікроточковий електричний розряд високої напруги (десятки мільйонів вольт). Все це породжує швидкі мікропотоки та течії. Ультразвукова кавітація забезпечує максимальний енергетичний вплив як на власне рідини, так і на тверді тіла у них [7].

В основу застосування ультразвуку покладено можливість введення всередину речовини величезних енергій, що дозволяє підвищувати ефективність безлічі різних технологічних процесів [11], створювати нові матеріали, отримувати нові речовини, вирішувати багато питань технологічного контролю і вимірів.

Так, в роботі [12] виконано детальний огляд методів переробки корисних копалин із застосуванням ультразвукових коливань. При переробці корисних копалин ультразвукові коливання використовують для руйнування мінеральної речовини і поверхневих плівок (при подрібненні і дезінтеграції мінералів), інтенсифікації процесу магнітної сепарації, флотації, обезводненні та сушіння продуктів збагачення.

Використання ультразвуку для подрібнення і диспергування мінералів вважається особливо перспективним тоді, коли необхідно отримувати невеликі кількості матеріалу високої дисперсності або подрібнювати дорогі продукти. Процес ультразвукового подрібнення мінералів відбувається в основному за рахунок ерозії кавітації [9].

Кавітаційні процеси прискорюють процеси дезінтеграції та диспергування мінералів, емульгування флотреагентів і деструкції адсорбційних шарів реагентів, які знаходяться на поверхні часточок концентратів, інтенсифікують процеси очищення поверхні рудних частинок від плівок і налиплих забруднень, підвищують швидкість дифузії рідкої частини пульпи у пори та тріщини, що утворюються на поверхні мінеральних плівок завдяки кавітаційному руйнуванню [13].

Під дією потужного ультразвукового випромінювання в рідині виникають акустичні потоки, які інтенсивно перемішують пульпу, зменшують товщину ламінарного шару біля кордону з твердими тілами і сприяють усуненню дифузійних обмежень. Цей процес відіграє велику роль при ультразвуковому очищенні поверхні рудних часток від забруднень мінерального характеру [14].

При флотації мінералів у воді, заздалегідь оброблених ультразвуком, підвищується витягання мінералів в пінний продукт в порівнянні з флотацією без попередньої обробки води [15].

У зв'язку із залученням до сфери металургійного переділу бідних залізних руд, що заздалегідь піддаються збагаченню, залізорудний концентрат, особливо глибокого збагачення, є дрібним матеріалом, непридатним для безпосереднього проплавлення в доменних печах [16]. Згрудкування – обов'язкова стадія підготовки шихти при виробництві обкотишів, призначена для забезпечення початкової міцності агрегату дисперсних часточок [17]. Згрудкування пиловатих залізних руд і тонких концентратів перед доменною плавкою дозволяє суттєво покращити тех-

ніко-економічні показники роботи доменних печей, збільшити їх продуктивність. В наш час промисловістю найчастіше використовуються два методи згрудкування: агломерація залізних руд і концентратів і виробництво залізрудних обкотишів з концентратів [18]. Спікання тонких концентратів магнітної сепарації та флотації на агломераційних стрічках викликає зниження продуктивності установок і отримання низькоякісного агломерату. Тонкий концентрат навіть після попереднього огрудування створює значний опір проходженню газів, що примушує працювати з низьким шаром шихти на стрічці за мінімального розвитку регенерації тепла і за низької вертикальної швидкості спікання. Надмірна тонкість концентратів, яка є недоліком для агломерату, виявляється їх великою перевагою при огрудуванні. Найбільш міцні обкотиші може бути отримано саме з дуже тонких концентратів [19].

Сирі обкотиші повинні мати достатню міцність для запобігання деформації і руйнуванню під час транспортування до обпалювального агрегату та термостійкістю, тобто властивістю не руйнуватися під час обпалювання. Для підсилення цих властивостей до шихти перед огрудуванням вводять домішки [18].

За своїм складом зміцнювальні домішки можуть бути мінеральними (бентонітові глини, гашене вапно, крейда, хлористий кальцій, хлористий натр, сульфат заліза, залізні та марганцеві глинисті руди) і органічними (лужно-спиртова барда, торф, соєва мука, крохмаль, тощо) [20].

У промисловому виробництві обкотишів в якості зміцнюючих домішок використовують головним чином бентоніти – глини, що відрізняються тонкою дисперсністю і великою спроможністю набрякати при зволоженні, збільшуючись у об'ємі у 15÷20 разів. Для збільшення міцності обкотишів перед орудкуванням у шихту вводять 0,5÷1,5 % цієї глини. Вибір бентоніту зумовлений його властивістю утворювати гелі з надзвичайно розвиненою питомою поверхнею (600÷900 м²/г), яка приблизно у 7 разів більша за поверхні часточок інших сортів глини [18]. Під дією розклинювального ефекту молекул води бентоніт розпадається на дрібні часточки, що сильно гідратуються, завдяки чому об'єм бентоніту зростає у вищезазначену кількість разів. Заповнюючи простір між рудними часточками, колоїдизований бентоніт суттєво підвищує зчеплення в об'ємі концентрату [21]. Бентоніт збільшує пористість сирих обкотишів, що сприятливо відбивається на швидкості видалення вологи під час сушки обкотишів без зниження їх міцності.

Найбільшу гідрофільність, пластичність, водонепроникність і властивість набрякати мають глини з одновалентними катіонами – лужні натрієві та калієві бентоніти. Вони набрякають у 10 разів сильніше за кальцієві. У водних розчинах лужні бентоніти утворюють 70÷90 % колоїдних часточок розміром менше 0,015 мм, а лужноземельні – лише 30÷40 %.

Відома процедура хімічної активації природних лужноземельних бентонітів, яка полягає в обробці їх лужними розчинами, завдяки чому вони перетворюються в штучні лужні бентоніти. Це відбувається завдяки властивості глинистих мінералів віддавати у водний розчин позитивно заряджені іони замість поглинених катіонів. Ця реакція іонного обміну протікає в еквівалентних кількостях і в більшості випадків обернена [20].

В той же час відомі та широко використовувані на практиці механічні методи активації бентонітів, під час яких активність їх часточок різко збільшується. Класичним прикладом такого впливу є тонке здрібнення, шліфування та помел. В роботі [22] таким чином оброблялися Хакаські бентонітові глини: БП1Т₁ – бентоніт Чорногорського родовища, активований содою за фабричною технологією на ОАО «Хакбент» та БМ2Т₂ – бентоніт Чорногорського родовища в природному стані (з кар'єру). Після активації, яка відбувалася в енергонапруженому планетарно-відцентровому млині АГО-2, вміст часточок з розміром < 1мкм збільшився на 25 %. У своїх часточках матеріал «запасав» енергію, що надходить до нього під час механічної активації. Кількість цієї енергії залежить від природи і потужності діючих на нього сил. В статті [23] зазначено про велику увагу, що приділялась вивченню структурно модифікованих глинистих мінералів після механічної деформації за допомогою планетарного шарового млина, оскільки це викликає фізичні та хімічні зміни в оброблених матеріалах. В роботі [24] повідомлялося про вплив зменшення розмірів часточок монтморилонітів на їх властивості.

Як було показано вище, аналогічний вплив на гетерогенну систему має також і ультразвукова обробка. Збільшуючи міжфазну поверхню реагуючих елементів, ультразвукові коливання забезпечують надтонке диспергування, яке не реалізовується іншими способами. Це є одним з механізмів інтенсифікації процесів в рідких середовищах. Кавітація, яка виникає під дією коли-

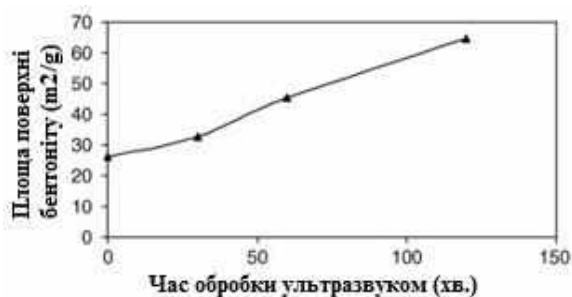
вань в рідині, та найпотужніші мікропотоки, що її супроводжують, звуковий тиск і звуковий вітер впливають на пограничний шар і «змивають» його. Таким чином, усувається опір перенесенню реагуючих речовин та інтенсифікується технологічний процес. Гетерогенні процеси ультразвукового емульгування (диспергування рідин в рідинах) і диспергування (отримання тонкодисперсних суспензій) пов'язані зі збільшенням поверхні взаємодії і тому лежать в основі інтенсифікації безлічі інших процесів [2].

Бетоніти використовують у дуже широкому спектрі галузей народного господарства: виноробство та виробництво соків і олій (оклеювання для висвітлення вин та соків, екстракція олій); сільське господарство (меліорація та адсорбція при проведенні польових робіт); ливарне виробництво (в'язучий елемент для приготування формувальних та стрижневих сумішей, у проти пригарних покриттях); виготовлення речовин побутової хімії (поглинаючі властивості та домішки до миючих засобів для пом'якшення води, текстильних виробів); земляні роботи (зміцнення стінок свердловин і траншей); корми для тваринництва (харчові домішки, що збільшують показники); екологічні програми (для очищення стічних і оборотних вод, для гідроізоляції вододойм, для очищення питної води, для адсорбції забрудників) [25].

Постановка задачі. Проаналізувати і оцінити можливість ефективного використання ультразвуку для покращення в'язучих властивостей бентоніту, використовуваного у якості зв'язуючої домішки в процесах підготовки сировини до металургійного переділу.

Викладення матеріалу та результати. В роботі [23] вивчався впливу часу обробки ультразвуком на розмір часток і колоїдну стабільність сировини з Саудівської Аравії. Зі збільшенням часу обробки ультразвуком від 0 до 120 хв. збільшувалася питома поверхня зразків бентоніту з 26,8 до 64,6 м²/г (рис. 1).

Рис. 1. Питома поверхня бентоніту як функція часу обробки ультразвуком



В роботі [26] було розроблено звукохімічний метод, за яким виготовлено нанобентоніт з новою морфологією нанодропинок. Зразок бентоніту було отримано від Merck. Суспензія бентоніту готувалася в етанолі й оброблялася високо інтенсивним ультразвуковим зондом, зануреним безпосередньо у розчин, з різною потужністю на протязі 0,5, 1, 2, 4 годин. Ультразвук викликає хімічні зміни через явища кавітації, які включають утворення, зростання і миттєве імпульсивне згортання бульбашок в рідині, що може створювати локальні гарячі точки з температурою приблизно 5 000 °С, тиском приблизно 500 атм і тривалістю декілька мікросекунд. Багатохвильовий ультразвуковий генератор (Sonicator 3000; Misonix, Inc., Farmingdale, Нью-Йорк, США), оснащений перетворювачем/приймачем і титановим осцилятором (рупором) діаметром 12,5 мм, працюючий на 20 кГц з максимальною вихідною потужністю 600 Вт, використовувався для створення ультразвуку при 25 °С. Найкраща морфологія і розміри часточок визначалися у зразка, який оброблявся на протязі 4 годин з потужністю ультразвуку 50 Вт. На рис. 2 показано зображення зі скануючого електронного мікроскопу (SEM) контрольного зразка бентоніту, отриманого за тих же температурних умов, але лише при перемішуванні та без ультразвукової обробки (рис. 2а) та нанобентоніту, отриманого методом ультразвукового руйнування (рис. 2б). Гістограма розмірів часток нанобентоніту (рис. 2с) показує, що розмір часток знаходиться в діапазоні від 5 до 50 нм. На зображенні, отриманому з електронного мікроскопу, що просвічує (ТЕМ), нанобентоніт має дрітязну або волокнисту структуру і дуже ефективно диспергує у воді (рис. 3). Проте, площа поверхні у нанобентоніту виявилася меншою (11,08 м²/г), ніж у контрольного зразка бентоніту (24,08 м²/г), а середній діаметр пор – більшим (2,34 нм), ніж у не обробленого зразка (1,97 нм). Автори пояснюють це набагато меншою кількістю пор у нанорозмірному бентоніті. Для вивчення термічної стабільності нанобентоніт було прожарено за температури 800 °С на протязі 4 годин, після чого зразок іще раз досліджували. Авторами було зроблено висновок про те, що прожарювання, мабуть, призводить до повного розкладання і руйнування з'єднання, а також до змін як морфології, так і наноструктури.

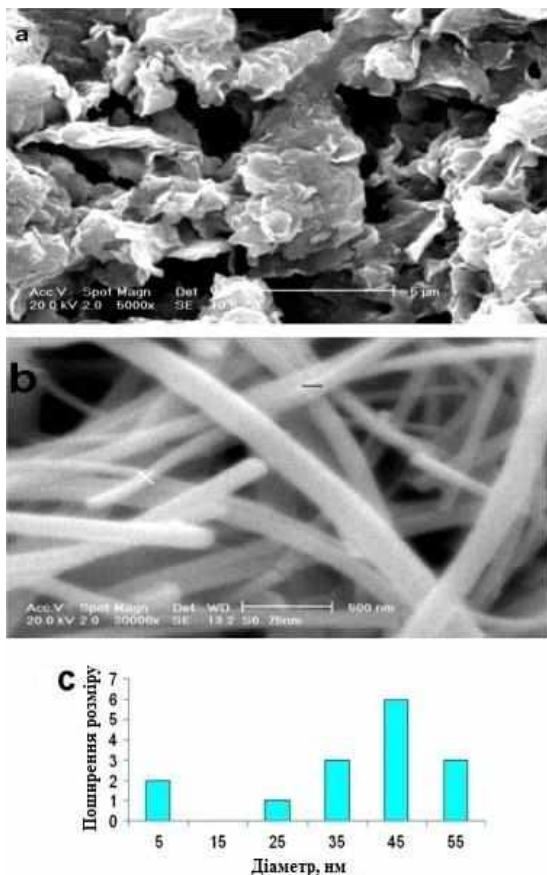


Рис. 2. SEM-фотографії: *a* – об'ємний бентоніт; *б* – нанобентоніт; *в* – гістограми розмірів часток нанобентоніту

Вивчали пластинчасті частки мікронного і субмікронного розмірів товщиною < 10 нм отримані шляхом ультразвукової обробки суспензій термічно спученого вермикуліту у воді та у перекису водню на протязі < 12 годин [27]. Використання H_2O_2 давало більш дрібні часточки, ніж H_2O , але в обох середовищах відшаровування та зменшення розмірів часточок спостерігалось лише після однієї години обробки ультразвуком.

В роботі [28] описано водні суспензії натрієвого монтморилоніту (1,80 і 0,60 мас. %), які витримувалися впродовж трьох місяців і оброблялися ультразвуком впродовж різного часу. Після тривалої обробки ультразвуком в концентрованій суспензії спостерігалось поступове збільшення розміру найбільших часток, збільшення середньоарифметичного і медіанного розміру часток, а також зменшення відсоткового вмісту часток діаметром менше 1,5 мкм. З іншого боку, у розбавленій суспензії все відбувалося абсолютно навпаки. У розбавленій суспензії обробка ультразвуком призводила до утворення дрібних набряклих часток в результаті відшаровування великих набряклих тактоїдів. У концентрованій суспензії набря-

кання глини не було повним впродовж тримісячного періоду витримки. В результаті ультразвукової обробки тактоїди розшарувалися, а набрякання часток глини стало ефективнішим.

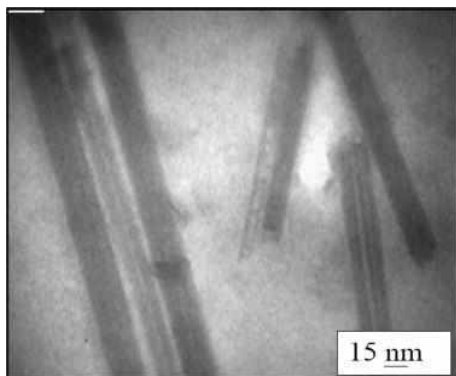


Рис. 3. ТЕМ-зображення нанобентоніту

В інституті прикладної фізики АН Молдови для застосування глин Молдовського видобутку для оклеювання вин та соків з метою їх висвітлення і депротейнізації було розроблено технологію виготовлення активованої високодисперсної суспензії бентоніту [29]. Експерименти проводились на чотирьох різних дослідних установках, але кращі результати були отримані на бічастотній установці. Дослідження [30] підтверджують доцільність застосування бічастотної кавітації. Одночасна дія вібрацій різних частот на фізико-хімічні процеси обробки значно збільшує ефек-

тивність дій кавітацій. Досліди [29] виконувались на зразках бентоніту з первинними розмірами часток $\sim (200 \div 300)$ мкм. Концентрація твердої фази в суспензії бентоніту складала 5 %. Розміри часток і міру дисперсності суспензії визначали методом електронної мікроскопії. При диспергуванні бентоніту ультразвуковою кавітацією найбільш суттєвий вплив чинить тривалість обробки. Її збільшення супроводжується інтенсивним зменшенням розмірів часток бентоніту до досягнення тонкої постійної дисперсії (починаючи з 12 хв. обробки) незалежно від використовуваних амплітуд коливань. Електронно-мікроскопічний аналіз показав, що в оброблюваній суспензії містяться частки різних розмірів. Проте для досягнення 100 % гомогенної тонкої суспензії потрібна амплітуда коливань вище 20 мкм та тривалість обробки більше 12 хв. Основний недолік ультразвукового методу полягає в тому, що він не дозволяє обробляти бентоніт у великих об'ємах. Метод гідродинамічної та гідроакустичної кавітації дозволяє диспергувати і гомогенізувати рідину і тверді частки у великих кількостях. Згідно з аналізом отриманих результатів з підвищенням тривалості обробки розміри часток бентоніту зменшуються: з гідродинамічним апаратом – до $35 \div 40$ мкм, з пульсуючим ротором – до $8 \div 15$ мкм. Результати дослідження диспергування бентоніту під впливом гідроакустичної бічастотної кавітації представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Розміри часток бентоніту залежно від тиску і тривалості дії гідроакустичної бічастотної кавітації

Тиск в зоні гідроакустичної кавітації P , атм	Тривалість дії гідроакустичної кавітації τ , хв.					
	Контроль	10	20	30	40	50
	Розмір часточок d , мкм					
4	200÷250	52	18	10	6	5
5	200÷250	36	12	5	4	3
6	200÷250	28	7	3	0,5	0,4
7	200÷250	24	5	1,4	0,4	0,4
8	200÷250	22	4	1,0	0,4	0,4

Вивчення відсоткового вмісту часток з розміром $(0,3 \div 2,0)$ мкм залежно від тиску рециркуляції і часу обробки під впливом гідроакустичної бічастотної кавітації свідчить, що однорідна за розмірами часток суспензія складає близько 100 % при тиску $7 \div 8$ атм і тривалості обробки $(40 \div 50)$ хв. (табл. 2).

Таблиця 2

Відсоткова залежність розмірів часточок, переважаючих в суспензії бентоніту після кавітаційної бічастотної обробки

Тиск в зоні бічастотної обробки P , атм	Тривалість кавітаційної обробки τ , хв.				
	10	20	30	40	50
	Максимальний розмір часток d , мкм відсотковий вміст часток з розмірами в межах $(0,3 \div 2,0)$ мкм				
4	$\frac{52 \div 5}{6}$	$\frac{18 \div 3}{22}$	$\frac{10 \div 1}{40}$	$\frac{6 \div 0,5}{55}$	$\frac{5 \div 0,5}{58}$
8	$\frac{22 \div 2}{15}$	$\frac{4 \div 1}{49}$	$\frac{2,0 \div 0,5}{87}$	$\frac{1,6 \div 0,4}{96}$	$\frac{0,5 \div 0,3}{98}$

Бічастотне кавітаційне диспергування дозволяє зменшити витрату бентоніту при освітленні вина в 6 разів. Отримана суспензія складається з води, нанорозмірних газових бульбашок і твердих часток бентоніту, площа контакту яких з продуктами обробки на $2 \div 3$ порядки вище, ніж при класичному методі.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Проведений аналіз свідчить про перспективність застосування ультразвукового методу активації зв'язуючої дії бентоніту при огрудуванні тонко дисперсних металургійних шихт. У всіх досліджених джерелах інформації застосування ультразвукових коливань давало неабиякі результати зі зміни морфологічних та фізичних властивостей оброблюваних матеріалів. Різниця значень параметрів ультразвукового впливу, початкового та кінцевого розмірів часточок досліджуваних матеріалів, часу обробки, тощо скоріш за все пояснюються застосуванням у дослідженнях бентонітів з різним складом і початковими властивостями, їх видобутком із різних родовищ.

Застосування ультразвуку за відповідних параметрів обробки може дати позитивний ефект. Подальше проведення досліджень доцільно продовжити у напрямку вивчення прив'язки певних видів бентоніту до режимних параметрів його обробки ультразвуком для використання в якості зміцнювальних домішок у шихту огрудування.

Список літератури

1. Ультразвуковые приборы "УЗО". <http://www.ultrazvu.com>.
2. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности. **Хмелев В.Н., Сливин А.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Шалунов А.В.** – Бийск: Издательство АлтГТУ. – 2010. – 176 с.
3. **Радж Балдев, Раджендран В., Паланичани П.** Применения ультразвука. М.: Техносфера, 2006. – 576 с.
4. **Шутилов В.А.** Основы физики ультразвука / **В.А. Шутилов.** – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1980. – 280 с.
5. **Розенберг Л.Д.** Источники мощного ультразвука / под ред. Л.Д.Розенберга. – М.: Наука, 1969. – 380 с.
6. **Кикучи Е.** Ультразвуковые преобразователи / **Е. Кикучи.** – М.: Мир, 1972. – 424 с.
7. **Эльпинер, И.Е.** Биофизика ультразвука / **И.Е. Эльпинер.** – М.: Наука, 1973. – 384 с.
8. **Розенберг Л.Д.** Фокусирующие излучатели ультразвука. В кн.: Физика и техника мощного ультразвука. Т. 1. Источники мощного ультразвука. – М.: Наука, 1967.
9. **Агранат Б.А., Башкиров В.И.** Критерий оценки интенсивности ультразвуковой кавитации. "Доклады АН СССР", 1968, 179, № 4.
10. **Розенберг Л.Д.** Энергетические соотношения при ультразвуковой кавитации. В сб.: "Ультразвуковая техника", вып. 6. – М.: НИИмаш, 1964.

11. **Новицкий, Б.Г.** Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии) / Б.Г. Новицкий. – М.: Химия, 1983. – 192 с.
12. **Губин Г.Г.** Обобщение и анализ возможности использования ультразвуковых колебаний при переработке полезных ископаемых / **Г.Г. Губин, Т.П. Ярош, Л.В. Склад** // Збагачення корисних копалин: Наук.-тех. зб. – 2016. – Вип. 62 (103). – С. 132-143.
13. Ультразвук в обогащении полезных ископаемых / **В.А. Глембоцкий, М.А. Соколов, И.А. Якубович и др.** – Алма-Ата: Наука Каз. ССР, 1972. – 229 с.
14. Ультразвук в гидрометаллургии / **Б.А. Агранат, О.Д. Кириллов, Н.А. Преображенский и др.** – М.: Металлургия, 1969.
15. **Агранат Б.А., Хавский Н.Н., Хан Г.А., Пантелеева Н.Ф., Эльберт А.В.** Флотация в воде, обработанной ультразвуком // Интенсификация процессов извлечения металлов из руд в ультразвуковом поле. – М.: Металлургия, 1969.
16. **Коротич В.И.** Теоретические основы окомкования железорудных материалов. – М.: Металлургия, 1966.
17. **Кокорин Л.К., Лелеко С.Н.** Производство окисленных окатышей. Екатеринбург: Уральский центр ПР и рекламы, 2004. – 280 с.
18. Теоретические основы производства окускованного сырья: Учебное пособие для высших учебных заведений. **Ковалёв Д.А., Ванюкова Н.Д., Иващенко В.П. и др.** – НМетАУ. – Днепропетровск: ИМА-пресс. – 2011. – 476 с.
19. **Вегман Е.Ф.** Окускование руд и концентратов. М.: Металлургия. 1968. – 259 с.
20. Сырье для черной металлургии: Справочное издание: в 2-х т. Т.1 Сырьевая база и производство окускованного сырья (сырье, технологии, оборудование) / М.Г. Ладыгичев и др. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 896 с.
21. **Коротич В.И.** Основы теории и технологии подготовки сырья к доменной плавке / **Коротич В.И.** – М.: Металлургия, 1978. – 208 с.
22. **Лесив Е.М.** Механохимическая активация каолиновых и бентонитовых глин для формовочных смесей и противопопригарных красок: автореф. дис. канд. тех. наук: спец. 05.16.04 «Литейное производство» / **Е.М. Лесив.** – Челябинск, 2007. – 21 с.
23. **Mekhamer W.K.** The Colloidal Stability of Raw Bentonite Deformed Mechanically by Ultrasound. J Saudi Chem Soc. 2010, 14(3), 301–306.
24. **Christidis, G.E., Dellisanti, F., Valdre, G., Makri, P.,** 2005. Clay Miner. 40, 511–522] i [Bastida, J., Kojdecki, J., Pardo, M.A., Amoros, P., 2006. Clays Clay Miner. 54, 390–401.
25. **Максютова О.** Бентонит и его применение / TheChemicalJournal // – 2017 – №12. – С. 20-25.
26. **Darvishi Z., Morsali A.** Synthesis and Characterization of Nano-bentonite by Sonochemical Method. Ultrason-Sonochem. 2011, 18, 238–242.
27. **Nguyen A.N., Reinert L., Lévêque J.-M., Beziat A., Dehaut P., Julia J.-F., Duclaux L.** Preparation and Characterization of Micron and Submicron-sized Vermiculite Powders by Ultrasonic Irradiation. Appl Clay Science. 2013, 72, 9–17.
28. **Lapides I., Yariv Sh.** The Effect of Ultrasound Treatment on the Particle-size of Wyoming Bentonite in Aqueous Suspensions. J Mater Sci. 2004, 39, 5209–5212.
29. Приготовление высокодисперсных суспензий бентонита в бичастотном кавитационном поле / **П.Г. Думитраш, М.К. Болога, Т.Д. Шемякова** // [Электронная обработка материалов](#). 2015. – Том 51 (№1), – с. 85-91.
30. **Маргулис М.А., Хавский Н.И.** О механизме одновременного воздействия двух частот акустических колебаний на физико-химические и химические эффекты. Всес. симпозиум «Акустическая кавитация и применение ультразвука в химической технологии» (Славское, 26 февр. – 1 марта 1985 г.). Тезисы докладов. Славское, 1985, с. 93–94

УДК 004.942

Ж.Г. РОЖНЕНКО, канд.техн. наук, О.К. ДАНИЛЕЙКО, ст. викл.,
Г.В. КОЛОМІЦ, асист., А.В. ЯТЧУК, студ.
Криворізький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРІВ НА БАЗІ ARM CORTEX В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЦІ

Мета. Проведений аналіз ринку мікропроцесорів показав поширення використання пристроїв мікроконтролерів на основі ARM Cortex. У роботі на прикладі контролера STM32, побудованого на основі ARM Cortex, розглянуто використання мікропроцесорів у електромеханічних системах. Для більшості сучасних електромеханічних систем необхідні пристрої, що будуть об'єднувати різноманітні пристрої в єдину мережу для обміну даними. В роботі проведено огляд номенклатури мікропроцесорів різних моделей та виробників та обрано найбільш прийнятний варіант відповідно до висунутих вимог.

Також було проведено вибір периферійних пристроїв для роботи в досить поширеній локальній мережі промислової автоматики Modbus.

Методи дослідження. При вирішенні задачі використовуються загальні методи дослідження електромеханічних систем та побудови програм керування для мікроконтролерів, побудови локальних мереж промислової автоматизації.

Наукова новизна. Розроблено програму для прийому та передачі даних до мережі за протоколами Modbus RTU та Modbus TCP для мікроконтролера STM32. Розроблені макети для аналізу роботи мікропроцесора STM32 названих в мережах.

Практична значимість. Можливість використання одного з найбільш поширених сучасних 32-х розрядних мікроконтролерів фірми STMicroelectronics в локальних мережах промислової автоматики з використанням інтерфейсів RS-485 та Ethernet мережевого протоколу Modbus. Використання контролерів STM32 дозволяє зменшити витрати на розробку обладнання при збільшенні швидкодії пристроїв.

Результати. Проведено аналіз сучасного ринку мікроконтролерів, можливостей щодо програмування та конфігурування мікроконтролера; обрано програмне забезпечення, що пришвидшує процес роботи та покращує якість проекту в цілому; проведено вибір обладнання для роботи мікроконтролера з протоколами Modbus; створено відповідні програми керування, що дозволяють обмінюватись даними між різними пристроями за протоколами Modbus TCP та Modbus RTU.

Ключові слова: мікропроцесори, мікроконтролери, ARM Cortex, передача даних, розрядність, пам'ять, програмування, промислові мережі, Keil, HAL, Modbus TCP, Modbus RTU.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-98-106

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. В сучасній електромеханіці та промисловості в цілому широке застосування мають різноманітні напівпровідникові прилади, процесори, контролери та програмовані реле. Якщо більш детально розібратись в їх будові, то стане зрозуміло що їх «серцем» є мікропроцесори. Номенклатура мікропроцесорів дуже різноманітна й охоплює безліч найменувань. Але посеред великої кількості можна виділити мікропроцесори на базі ARM Cortex та AVR Atmel. На даний момент переважна кількість готових приладів побудована саме на даних мікропроцесорах. В даній статті розглянуто основні технічні характеристики, переваги, недоліки та приклади використання мікропроцесорів. За останні роки вартість мікропроцесорів значно зменшилась, тому у вартості готово виробу їх доля дуже мала. Найбільш трудомістким є розробка друкованих плат, корпусів, периферії та звичайно розробка програмного забезпечення.

Розроблено макет для роботи мікропроцесора STM32 в мережах Modbus TCP та Modbus RTU. Складність полягає в тому, що «з коробки» STM32 працює лише з інтерфейсом SPI (англ. Serial Peripheral Interface - послідовний периферійний інтерфейс) та UART (англ. Universal Asynchronous Receiver-Transmitter - універсальний асинхронний приймач-передавач). Цілком логічно, що даних технологій недостатньо і виникає необхідність в додатковій периферії – платах розширення. В даній статті проведено вибір необхідної периферії для роботи з Modbus [1].

Аналіз досліджень і публікацій. Аналіз сучасного ринку мікроконтролерів. Загальні поняття про архітектуру ARM

Архітектура ARM – це мікропроцесорна архітектура RISC (Reduced Instruction Set Computing), що розробляється компанією ARM Limited [1]. ARM (Advanced RISC Machines) - один з найбільших в світі розробників і ліцензіарів архітектури RISC-процесорів (ARM), орієнтованих на використання в портативних пристроях з автономним живленням, а також в серверах і комп'ютерах. Станом на 2020 рік сімейство ARM процесорів є найпопулярнішим серед інших ЦПУ. Компанія ARM спочатку була заснована як спільне підприємство між Acorn Computers, Apple Computer і VLSI Technology. З 2016 року належить японській телекомунікаційної та інвестиційної корпорації SoftBank. Центральний офіс знаходиться в Кембриджі, Великобританія. Офіси ARM розташовані по всьому світу, включаючи Францію, Індію, Швецію і США [1].

Процесори архітектури ARM переважно використовуються в енергоефективних пристроях.

Процесори архітектури ARM за ліцензією випускають такі всесвітньо відомі компанії: Apple, Atmel, Broadcom, Freescale, Marvell, Nvidia, Qualcomm, Samsung, Texas Instruments, VIA, Міландр, Елвіс, STMicroelectronics ARM limited та інші [1]. Особливістю ARM є те, що це не просто один процесор. Як правило, в нього входять: контролер оперативної пам'яті, графічний прискорювач, відеодекодер, аудіокодек і модулі бездротового зв'язку. Таку систему прийнято називати однокристальною.

На сьогоднішній день ARM налічують кілька процесорних поколінь: ARM9. Чіпи ARM9 можуть досягати тактової частоти 400 МГц. Ці чіпи морально застаріли, але як і раніше корис-

туються попитом. Наприклад, в бездротових роутерах і банківських термінала. Набір простих команд такого чіпу дозволяє працювати з декількома Java-додатками [2]. ARM11. Процесори ARM11 мають більш повний набір простих команд, які розширюють їх функціонал і мають відносно високу тактову частоту (близько 1 ГГц). Завдяки невисокому енергоспоживанню і низькій собівартості чіпи ARM11 встановлюють в смартфонах початкового рівня [2]. ARMv7. Сучасні чіпи архітектури ARM належать до сімейства ARMv7. Розроблені безпосередньо ARM Limited процесорні ядра належать до лінійки Cortex і більшість виробників однокристальних систем використовують їх без істотних змін [2]. ARM Cortex-A8. Історично першим процесорним ядром сімейства ARMv7 було Cortex-A8, яке є основою таких відомих на свій час SoC як Apple A4 (iPhone 4 та iPad) і Samsung Hummingbird (Samsung Galaxy S і Galaxy Tab). Дане рішення демонструє приблизно вдвічі вищу продуктивність у порівнянні з попереднім ARM11, але і більш високе енергоспоживання, що робить даний чіп нині вкрай непопулярним [2]. ARM Cortex-A9. Слідом за Cortex-A8 компанія ARM Limited представила нове покоління чіпів - Cortex-A9, яке зараз є найпоширенішим і займає середню цінову нішу[3].. Продуктивність ядер Cortex-A9 зросла приблизно втричі в порівнянні з Cortex-A8, та з'явилася можливість об'єднувати їх по два або навіть чотири на одному чіпі [1]. ARM Cortex-A5 і Cortex-A7. При проектуванні процесорних ядер Cortex-A5 і Cortex-A7 компанія ARM Limited добились компромісу між мінімальним енергоспоживанням ARM11 і прийнятним швидкодією Cortex-A8. Також є можливість об'єднання ядер по два-чотири - багатоядерні чіпи Cortex-A5 і Cortex-A7 [2]. ARM Cortex-A15. Процесорні ядра Cortex-A15 стали логічним продовженням Cortex-A9 зі збільшеною швидкодією.

Незважаючи на те, що аббревіатура ARM розшифровується як «Advanced RISC Machine» («передова RISC-машина»), з самого початку це була не зовсім типова RISC-архітектура [1]. З одного боку, для RISC'a вона мала не багато регістрів загального призначення, зараз у більшості різновидів архітектури їх 31 штука, проте програмісту доступні лише 16 з них, причому три регістри мають спеціальні функції; таким чином, «справжніх» регістрів загального призначення з точки зору програміста всього 13, в той час як цілий ряд «справжніх» RISC-процесорів мають їх більше сотні.

З іншого боку, унікальною особливістю цієї архітектури була можливість виконання будь-якої команди при дотриманні заданої умови, відсутня не тільки у інших RISC, а й у CISC-процесорів (безумовно команди в наборі ARM з'явилися лише у версії ARMv5) [1]. Крім того, в командах обробки даних в ряді випадків можливе об'єднання виконання основної операції (наприклад, складання) із зсувом.

Команди читання і запису пам'яті у ARM розташовують розвиненим набором видів адресації, який перевершує за своїми можливостями не тільки RISC, а й основну масу CISC-процесорів. Сучасні 32-розрядні процесори архітектури ARM здатні обробляти 8-, 16- та 32-розрядні цілі числа, а процесори архітектури ARMv8-A - 64-розрядні. Можливість обробки дійсних чисел є не обов'язковою і досягається за допомогою субпроцесорів (які розташовані на одному кристалі з власне центральним процесором і з точки зору прикладного програміста не відрізняються від нього). Старші моделі здатні працювати з віртуальною пам'яттю, оскільки мають необхідний для цього пристрій управління пам'яттю (MMU) [3]. Простіші вироби не мають MMU, але в деяких випадках мають пристрій захисту пам'яті (MPU), що не дозволяє реалізувати віртуальну пам'ять, але забезпечує необхідну підтримку апаратного захисту одних виконуваних процесором завдань від інших.

Постановка задачі. Розробка макету для роботи мікропроцесора STM32 в мережах Modbus TCP та Modbus RTU. Складність полягає в тому, що «з коробки» STM32 працює лише з інтерфейсом SPI (англ. Serial Peripheral Interface - послідовний периферійний інтерфейс) та UART (англ. Universal Asynchronous Receiver-Transmitter - універсальний асинхронний приймач-передавач). Цілком логічно, що даних технологій недостатньо і виникає необхідність в додатковій периферії – платах розширення. В даній статті буде проведено вибір необхідної периферії для роботи з Modbus.

Викладення матеріалу та результати. Найбільш цікавими з технічної та економічної точки зору є мікроконтролери на базі ядра ARM, а саме STM32. Саме на базі STM32 побудовано велика кількість плат які тестуються, вони спрощують створення нових пристроїв. Взаємодія з кожним блоком мікроконтролера відбувається за допомогою регістрів [6].

Для програмістів, мікроконтролер є об'ємом пам'яті. У мікроконтролері розміщені також ОЗП, FLASH і EEPROM, але і програмні регістри. Кожному апаратному регістру відповідає комірка пам'яті. Так, аби вписати дані в регістр або розвіднити його значення, програмісту необхідно звернутися до відповідної комірки адресного простору [6].

Кожен з регістрів має свій номер - адресу. Адреса регістра позначається 32-бітовим числом поданих в шістнадцятковій системі числення. Шляхом записи за адресою регістра певної комбінації одиниць і нулів, які зазвичай представлені в шістнадцятковому вигляді, здійснюється настройка і управління тим чи іншим вузлом в МК [6].

Відомо, що людина має деякі особливості сприйняття. Так наприклад, символічні назви сприймаються краще, ніж адреси пам'яті. Це досить помітно, коли використовується велика кількість комірок пам'яті. У мікроконтролерах при використанні ARM кількість регістрів перевищує тисячі. Щоб покращити роботу, необхідно провести позначення символічними покажчиками. Це позначення проводиться на рівні з назвою CMSIS [6].

ARM CMSIS - це незалежний від виробника рівень апаратної абстракції для серії ядер Cortex-M, а також інтерфейс відладчика (англ. Debugger). CMSIS надає послідовні і прості інтерфейси для ядра, його периферії і операційних систем реального часу [6].

Стандартна бібліотека периферії - це набір низькорівневих драйверів. Кожен драйвер надає користувачеві набір функцій для роботи з периферійним блоком. Таким чином користувач використовує функції, а не звертається безпосередньо до регістрів. При цьому рівень CMSIS виявляється прихованим від програміста [6].

Існує декілька способів програмування та конфігурації даних мікроконтролерів. Програмний код може бути написаний на таких мовах програмування: Асамблер, C/C++, Pascal, BASIC та декілька візуальних мов. На даний момент більшість розробників працюють з C/C++ через більшу зручність та наглядність. Щодо конфігурації, то прийнято використовувати програмі-конфігуратори, які дозволяють працювати не напряму з регістрами пам'яті, а використовувати символічні імена. Тобто на даний момент створено велику кількість рішень, що дозволяють значно спростити та пришвидшити програмування та розробку пристроїв в цілому.

Створення програми реалізації мережевого протоколу Modbus для мікроконтролерів STM32. Особливо важливим при розробці мікроконтролерних систем постає питання зв'язку окремих частин її між собою та з керуючими комп'ютерами, тобто локальних мереж. На жаль, на відміну від програмованих логічних контролерів, мікроконтролери «на борту» мають тільки невелику кількість спеціалізованих інтерфейсів зв'язку, що значно обмежує використання їх у системах промислової автоматики та керування.

Тому актуальним питанням є розробка програмного забезпечення орієнтованого на поширені в сучасних системах мережеві протоколи. Так бudo прийнято рішення створити програму реалізації мережевого протоколу Modbus для мікроконтролерів STM32.

Modbus - це універсальний протокол, для забезпечення комунікаційного зв'язку, широко використовуваний в промисловій автоматизації. Даний протокол забезпечує зв'язок по типу майстер-slave, для нього характерна простота, відкритість і масовість [11].

Саме завдяки цим особливостям даний протокол широко використовується з 1979 року. Сучасна автоматизація випускає велику кількість датчиків, контролерів і модулів, що працюють на базі протоколу Modbus RTU. Він дозволяє забезпечувати якісне управління обладнанням і контроль за його безперебійним функціонуванням на підприємствах різного призначення.

Нагадаємо, що в структурі Modbus передбачено тільки один головний пристрій зі статусом «master», що задає команди і є ведені зі статусом «slaves». Взаємозв'язок між master та slave здійснюється за ініціативою master. Тобто контролюючий пристрій посилає сигнал або робить запит на отримання даних від підлеглого по типу: «запит-відповідь». При цьому кожне повідомлення від майстра, спрямоване до slave є пакетом даних, що складається з адреси slave пристрою, коду функції, даних і контрольної суми.

Використання даного протоколу дозволяє реалізувати один загальний формат передачі повідомлень. Протокол Modbus реалізується в 3-х режимах: RTU, ASCII, TCP [11].

Реалізація цих протоколів з використанням мікроконтролерів STM32 значно розширює їх сферу застосування. Дані рішення дозволяють знизити вартість готових пристроїв де є необхідність роботи в промислових мережах. А необхідність в таких пристроях виникає досить часто, особливо під час часткового оновлення обладнання на промислових підприємствах. При таких

модернізація сучасне обладнання, що має підключення до мережі працює сумісно з застарілим обладнанням, що не має таких мережових можливостей. Тому реальна необхідність в таких пристроях дійсно існує.

В статті розглянутий приклад створення мережі на основі комунікаційного інтерфейсу RS485 та протоколу Modbus RTU. Налаштування та перевірку програми зроблено на платі розробника STM32F103C8T6 «Blue pill» з відповідним контролером. Для програмування «Blue pill» використовувався зовнішній програматор ST-Link V2.

Мікроконтролери STM32 не мають у своєму складі інтерфейсу RS-485, тому до контролера треба підключити модуль MAX485, UART-RS485, який є проміжним між звичайним виходом UART мікроконтролера та мережею RS485 (рис. 1).

Характеристики модуля:

мікросхема перетворювача – MAX485;

вхідний інтерфейс – UART;

вихідний інтерфейс – RS485;

напруга живлення: 5В [15].

Даний модуль може бути безпосередньо підключений до більшості типів мікроконтролерів за стандартним UART інтерфейсом. Не зважаючи на те, що напруга живлення модуля 5 вольт, він може бути підключений до мікроконтролерів з напругою живлення 3,3 вольта без проміжних перетворювачів рівнів.

При використанні протоколу Modbus для підключення тільки одного пристрою, можна використати інтерфейс RS232. Для підключення його до комп'ютера можна використати USB-UART міні-перехідник на мікросхемі CP2102 (рис. 1).

При використанні інтерфейсу RS485 треба звернути увагу на керування мікросхемою приємопередавача (рис. 2).

Таким чином, треба передбачити керування входами DE та RE при переході від прийому до передачі. Схема з'єднання модуля та плати мікроконтролера наведена на рис. 3 (виводи порту PA5 та PA7 використовуються для керування приємопередавачем).



Рис. 1. Модуль MAX485 UART-RS485

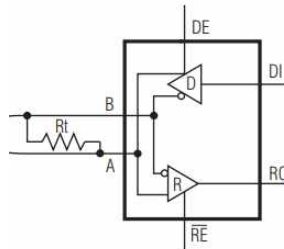


Рис. 2. Схема приємопередавача RS485

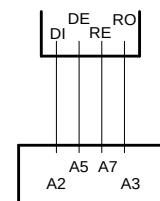


Рис. 3. Схема з'єднання модуля та плати мікроконтролера

В проєкті використаємо конфігуратор Cube MX та середовище розробки проєкту Keil MDK-ARM V5.27, проєкт орієнтовано на бібліотеку HAL.

Запустимо Cube MX.

Стандартно обираємо потрібний процесор (STM32F103C8T6).

Послідовно налаштовуємо для розділу SYS обираємо Debug – Serial Ware (рис. 4).

Для розділу RCC обираємо Crystal Ceramic Resonator – зовнішній кварц (рис. 5).

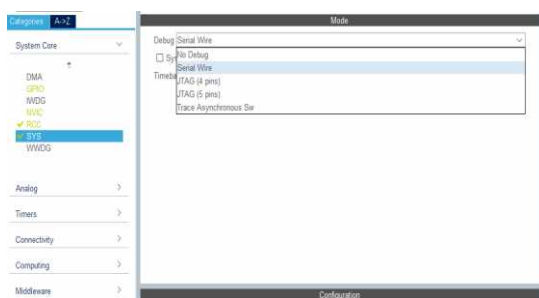


Рис. 4. Налаштування Debug

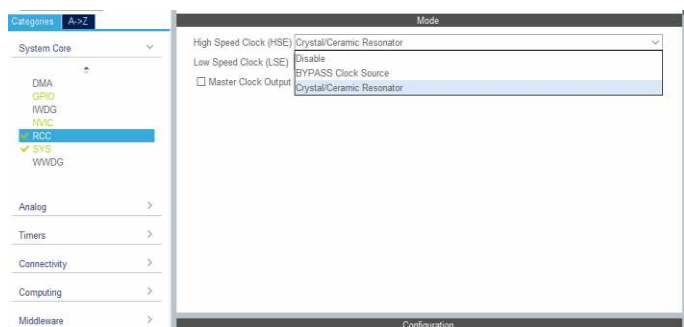


Рис. 5. Налаштування резонатора

Налаштовуємо USART2 (рис. 6).
 Налаштуємо контакти PA5 та PA7 на вихід. Таким чином призначення контактів мікроконтролера наведені на рисунку 7.
 Відповідно до зовнішнього кварцу налаштуємо синхронізацію (рис. 8).

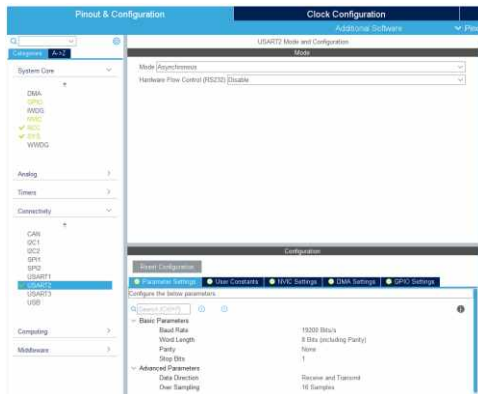


Рис. 6. Налаштування порту USART2

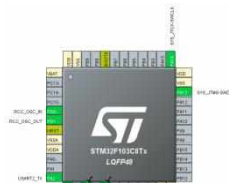


Рис. 7. Призначення контактів мікроконтролера

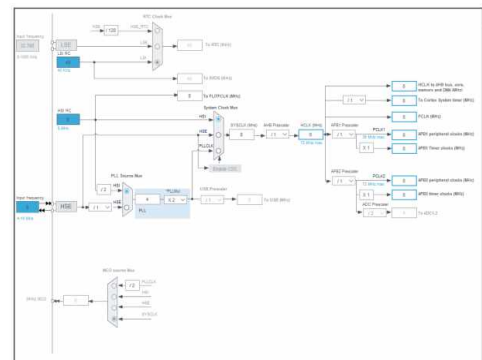


Рис. 8. Налаштування синхронізації

Налаштуємо властивості проекту (рис. 9).
 Після генерації отримаємо проект для Keil, в який підключено всі додаткові файли (рис. 10).

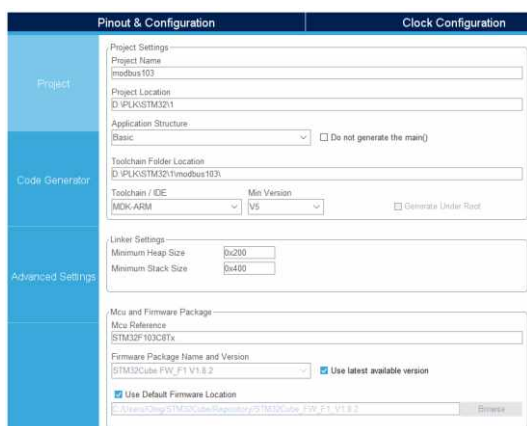


Рис. 9. Властивості проекту

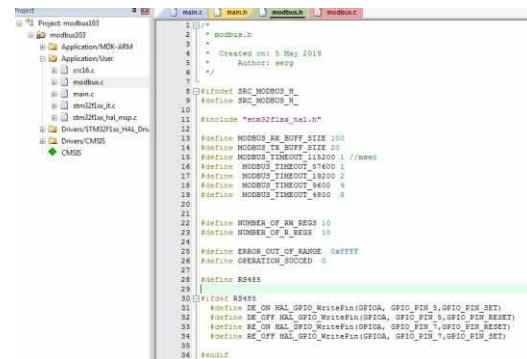


Рис. 10. Структура проекту та файл modbus.h

У файлі src16.c розміщені функції розрахування контрольної суми, у файлі modbus.c функції протоколу modbus.

У секції `#ifdef RS485` визначені контакти керування передавачем (DE) та приймачем (RE), слід звернути увагу, що вони потрібні бути у проті фазі.

У файлі main.c в головній функції `void main(void)` за допомогою функції `i32SetModbusAdress(5);` // 5 adres device

задається адрес slave пристрою (нашому прикладі 5), а за допомогою функції `i32ModbusSetUart(&huart2);` // number UART

номер використаного UART порту (у нашому прикладі 2).

У нескінченній частині (цикл `while (1)`) треба запустити функцію мережевого обміну – `vModbusProtocol()`. Для читання значення з регістру використовується функція `u16GetModbusRwReg(r)` де `r` номер відповідного регістру, для запису – `u16SetModbusRwReg(r, d)`, де `r` номер відповідного регістру, а `d` – змінна в яку це значення заноситься.

Для прикладу читаємо число з регістру 2, збільшуємо його на 3 та записуємо його в регістр 3.

Аналізуємо стан регістру 0, та якщо він дорівнює 12 записуємо у регістр 1 число 10, у протилежному стані записуємо число 25 (рис. 11).

У якості ведучого пристрою обираємо програмований логічний контролер Овен ПЛК-100. Зупинимось тільки на налаштуванні мережі в ПЛК. Зрозуміло, що ПЛК є майстер пристроєм. Тому при конфігурації додаємо ModBus (Maser) пристрій з інтерфейсом RS485-1 пристроєм (рис. 12).

```

main.c main.h modbus.h modbus.c odc.c
91 /* USER CODE END Sysinit */
92
93 /* Initialize all configured peripherals */
94 MX_OSIO_Init();
95 MX_USART2_UART_Init();
96 /* USER CODE BEGIN 2 */
97 i32SetModbusAddress(5); // 5 adre device !!!!!!!!!!!!!!!
98 i32ModbusSetDart(shuart2); // number UART !!!!!!!!!!!!!!!
99 /* USER CODE END 2 */
100
101 /* Infinite loop */
102 /* USER CODE BEGIN WHILE */
103 while (1)
104 {
105     /* USER CODE END WHILE */
106     vModbusProtocol();
107     r1i=ul6GetModbusRvReg(0);
108     // r1o=r1i+3;
109     ul6SetModbusRvReg(1, r1o);
110     // r2i=ul6GetModbusRvReg(2);
111     r2o=r2i+3;
112     ul6SetModbusRvReg(3, r2o);
113
114
115
116 if (12 == ul6GetModbusRvReg(0)) // with register0 read number !!!!!!!!!!!!!!!
117 {
118     ul6SetModbusRvReg(1, 10); // in register 1 write number 10 !!!!!!!!!!!!!!!
119 }
120 else
121 {
122     ul6SetModbusRvReg(1, 25); // in register 1 write number 25 !!!!!!!!!!!!!!!
123 }
124 }
125

```

Рис. 11. Циклічна частина програми

```

PLC100.R
-Discrete input 8 bit[FIX]
-Discrete output - relay[FIX]
-Discrete output - relay[FIX]
-Discrete output - relay[FIX]
-Discrete output - relay[FIX]
-Discrete output - relay[FIX]
-Discrete output - relay[FIX]
-Special output[FIX]
-ModBus (Master)[VAR]
  AT %QD8.0: DWORD; (* Last address *) [CHANNEL (Q)]
  AT %QW8.1: WORD; (* Last error *) [CHANNEL (Q)]
  RS-485-1[SLOT]

```

Рис. 12. ModBus (Maser) пристрій

Base parameters					
Index	Name	Value	Default	Min.	Max.
1	Communication speed	19200	11520		
2	Parity	NO PARITY	NO PARITY C...		
3	Data bits	8 bits	8 bits		
4	Stop length	One stop bit	One stop bit		
5	Interface type	RS485	RS485		
6	Frame oriented	RTU	ASCII		
7	Framing time ms	0	0	0	32000
8	Visibility	No	No		

Рис. 13. Налаштування RS485-1 [SLOT]

Зрозуміло, що треба налаштувати параметри RS485-1 [SLOT], які відповідають налаштуванню USART2 мікроконтролера (рис. 13).

Після цього треба налаштувати Slave пристрій, для чого додаємо Universal Modbus device з відповідними параметрами налаштування, з яких треба задати адресу Slave пристрою – 5 для нашого прикладу (рис. 14, 15) .

```

PLC100.R
-Discrete input 8 bit[FIX]
-Discrete output - relay[FIX]
-Discrete output - relay[FIX]
-Discrete output - relay[FIX]
-Discrete output - relay[FIX]
-Discrete output - relay[FIX]
-Discrete output - relay[FIX]
-Special output[FIX]
-ModBus (Master)[VAR]
  AT %QD8.0: DWORD; (* Last address *) [CHANNEL (Q)]
  AT %QW8.1: WORD; (* Last error *) [CHANNEL (Q)]
  RS-485-1[SLOT]
  Universal Modbus device[VAR]
    AT %QD8.1.0: BYTE; (* Command (0x0 - Start) *) [CHANNEL (Q)]
    AT %QW8.1.1: WORD; (* Last error *) [CHANNEL (Q)]
    RS-485-1[SLOT]

```

Рис. 14. Universal Modbus device

Base parameters					
Index	Name	Value	Default	Min.	Max.
1	ModuleIP	10.0.0.223	10.0.0.223		
2	Max timeout	150	150	10	
3	TCPport	502	502		
4	NetMode	Serial	Serial		
5	ModuleSlaveAddress	5	5	0	255
6	Work mode	By poll time	By poll time		
7	Polling time ms	100	100	10	10000
8	Visibility	No	No		
9	Amount Repeat	0	0	0	100
10	Byte Sequence	Trace_mo...	Trace_mode		

Рис. 15. Налаштування Universal Modbus device

Після цього залишається додати два Register output module з адресами регістрів 0 та 2 та регістри Register input module з адресами регістрів 1 та 3 (рис. 16, 17).

```

PLC100.R
-Discrete input 8 bit[FIX]
-Discrete output - relay[FIX]
-Discrete output - relay[FIX]
-Discrete output - relay[FIX]
-Discrete output - relay[FIX]
-Discrete output - relay[FIX]
-Discrete output - relay[FIX]
-Special output[FIX]
-ModBus (Master)[VAR]
  AT %QD8.0: DWORD; (* Last address *) [CHANNEL (Q)]
  AT %QW8.1: WORD; (* Last error *) [CHANNEL (Q)]
  RS-485-1[SLOT]
  Universal Modbus device[VAR]
    AT %QD8.1.0: BYTE; (* Command (0x0 - Start) *) [CHANNEL (Q)]
    AT %QW8.1.1: WORD; (* Last error *) [CHANNEL (Q)]
    RS-485-1[SLOT]
    Register output module[VAR]
      AT %QW8.1.0.0: WORD; (* *) [CHANNEL (Q)]
    Register input module[VAR]
      AT %IW8.1.1.0: WORD; (* *) [CHANNEL (I)]
    Register output module[VAR]
      AT %QW8.1.2.0: WORD; (* *) [CHANNEL (Q)]
    Register input module[VAR]
      AT %IW8.1.3.0: WORD; (* *) [CHANNEL (I)]

```

Рис. 16. Налаштування Register output module та Register input module

Base parameters					
Index	Name	Value	Default	Min.	Max.
1	Register...	0	0		
2	Command	Write multiple registers(0x10)	Preset singl register (0x...		
8	Visibility	No	No		

Рис. 17. Налаштування Register output module адресом регістра 0

Слід звернути увагу, що для запису у регістр використовується 16 функція Modbus, а для читання – 3.

Після завантаження проекту у ПЛК отримуємо стан мережевих змінних (рис. 18, 19).

```

PLC100.R
├─Discrete input 8 bit[FIX]
├─Discrete output - relay[FIX]
├─Discrete output - relay[FIX]
├─Discrete output - relay[FIX]
├─Discrete output - relay[FIX]
├─Discrete output - relay[FIX]
├─Special output[FIX]
├─ModBus (Master)[VAR]
│   └─AT %QD8.0: DWORD; (* Last address *) [CHANNEL (Q)] = 5
│   └─AT %QW8.1: WORD; (* Last error *) [CHANNEL (Q)] = 0
│   └─RS-485-1[SLOT]
├─Universal Modbus device[VAR]
│   └─AT %QB8.1.0: BYTE; (* Command (0xff - Start) *) [CHANNEL (Q)] = 0
│   └─Register output module[VAR]
│       └─AT %QW8.1.0.0: WORD; (* *) [CHANNEL (Q)] = 12
│   └─Register input module[VAR]
│       └─AT %IW8.1.1.0: WORD; (* *) [CHANNEL (I)] = 10
│   └─Register output module[VAR]
│       └─AT %QW8.1.2.0: WORD; (* *) [CHANNEL (Q)] = 55
│   └─Register input module[VAR]
│       └─AT %IW8.1.3.0: WORD; (* *) [CHANNEL (I)] = 58

```

Рис. 18. Стан мережних змінних

```

PLC100.R
├─Discrete input 8 bit[FIX]
├─Discrete output - relay[FIX]
├─Discrete output - relay[FIX]
├─Discrete output - relay[FIX]
├─Discrete output - relay[FIX]
├─Discrete output - relay[FIX]
├─Special output[FIX]
├─ModBus (Master)[VAR]
│   └─AT %QD8.0: DWORD; (* Last address *) [CHANNEL (Q)] = 5
│   └─AT %QW8.1: WORD; (* Last error *) [CHANNEL (Q)] = 0
│   └─RS-485-1[SLOT]
├─Universal Modbus device[VAR]
│   └─AT %QB8.1.0: BYTE; (* Command (0xff - Start) *) [CHANNEL (Q)] = 0
│   └─Register output module[VAR]
│       └─AT %QW8.1.0.0: WORD; (* *) [CHANNEL (Q)] = 33
│   └─Register input module[VAR]
│       └─AT %IW8.1.1.0: WORD; (* *) [CHANNEL (I)] = 25
│   └─Register output module[VAR]
│       └─AT %QW8.1.2.0: WORD; (* *) [CHANNEL (Q)] = 135
│   └─Register input module[VAR]
│       └─AT %IW8.1.3.0: WORD; (* *) [CHANNEL (I)] = 138

```

Рис. 19. Стан мережних змінних

Як видно з наведених рисунків значення повністю відповідають наведеному вище алгоритму, а використані програмні та апаратні рішення повністю дієздатні та їх можна використовувати за основу при побудові готових пристроїв, в яких є необхідність роботи в мережах Modbus.

Висновки і напрямки подальших досліджень. Проведено аналіз сучасного ринку мікроконтролерів, наведено дані основних представників та їх порівняльні характеристики; при проектуванні та розробці нових пристроїв слід використовувати мікроконтролери, що мають характеристики, які перевищують ті, що необхідні для проекту на даний момент; в якості досліджуваного обрано мікроконтролер STM32F103C8T6 як такий, що має найбільш привабливі характеристики при досить низькій ціні; проведено аналіз можливостей щодо програмування та конфігурування мікроконтролера, обрано програмне забезпечення, що пришвидшує процес роботи та покращує якість проекту в цілому; використання STM32F103C8T6 дозволяє використовувати велику кількість сумісної периферії, серед яких й ті, що дозволяють працювати в мережах з інтерфейсами Ethernet та RS-485; проведено вибір обладнання для роботи мікроконтролера з протоколами Modbus; створено відповідні програми керування, що дозволяють обмінюватись даними між різними пристроями за протоколами Modbus TCP та Modbus RTU.

Список літератури

1. Справочник по электронным компонентам: Архитектура и система команд RISC-процессоров семейства ARM. [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/micros/arm/index.htm>.
2. Справочник по электронным компонентам: Ознакомительное руководство по ARM-микроконтроллерам Cortex-M3. [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/micros/arm/cortex_arh/index.htm.
3. Pete's Pages ARM Assembly Language Programming — Chapter 2. Inside the ARM M3. [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу: <http://www.peter-cockerell.net/aalp/html/ch-2.html>.
4. ATmega8U2 ATmega16U2 ATmega32U2. [Електронний ресурс]. – 2012. – Режим доступу: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc7799.pdf>
5. Arduino Official Store - Arduino Uno Rev3 [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>
6. PM0056 Programming manual. [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу: https://www.st.com/resource/en/programming_manual/cd00228163-stm32f10xxx20xxx21xxx1xxxx-cortexm3-programming-manual-stmicroelectronics.pdf
7. TN0516 Technical note. [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу: https://www.st.com/resource/en/technical_note/dm00026481-overview-of-the-stm32f0xf100xxf103xx-and-stm32f2xxf30xf4xx-mcus-pmsm-single-dual-foc-sdk-v40-stmicroelectronics.pdf
8. RM0008 Reference manual. [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу: https://www.st.com/resource/en/reference_manual/cd00171190-stm32f101xx-stm32f102xx-stm32f103xx-stm32f105xx-and-stm32f107xx-advanced-arm-based-32bit-mcus-stmicroelectronics.pdf
9. The Insider's Guide To The STM32 ARMBased Microcontroller Hitex (UK) Ltd. [Електронний ресурс]. – 2008. – Режим доступу: <http://www.emcu.it/InsideCORTEX-1221142709.pdf>
10. STM32L4 Ecosystem CubeMX Tool. [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу: https://www.st.com/content/ccc/resource/training/technical/product_training/17/8e/5a/35/36/4e/4e/27/STM32L4_Ecosystem_CubeMX_Tool.pdf/files/STM32L4_Ecosystem_CubeMX_Tool.pdf/jcr:content/translations/en.STM32L4_Ecosystem_CubeMX_Tool.pdf
11. Как общаются машины: протокол Modbus. [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <https://habr.com/ru/company/advantech/blog/450234/>

12. MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1b3. [Електронний ресурс]. – 2012. – Режим доступу: https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf
13. ENC28J60 Data Sheet Microchip 1b3. [Електронний ресурс]. – 2004. – Режим доступу: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39662a.pdf>
14. CP2102/9 Data Sheet Silicon Labs. [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу: <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/CP2102-9.pdf>
15. Datasheet MAX481/MAX483/MAX485/MAX487–MAX491/MAX1487 Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers. [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1487-MAX491.pdf>

УДК 622.765

А.Ю. КРИВЕНКО, канд. техн. наук, ст. викл., Т.А. ОЛІЙНИК, д-р техн. наук., проф.
Криворізький національний університет
Т.А. КРИВЕНКО, викл., Гірничий фаховий коледж КНУ

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МАСОПЕРЕНОСУ ПРИ ЗНЕШЛАМЛЕНІ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СУСПЕНЗІЇ

Мета. Дослідження питань гідравлічного збагачення залізорудної сировини в радіальних згущувачах типу МД9, а також розв'язок їх методами математичного моделювання.

Методи дослідження. Використання методів дослідження, таких як: теорії ймовірності, теорії інформації й по-доби, математичного моделювання, загальноприйнятих законів гідравліки й гідродинаміки.

Наукова новизна. Дослідження потоку пульпи з живильного пристрою апарата, дозволяє одержати залежності швидкості руху потоку пульпи й вмісту твердого від параметрів пристрою подачі вихідного живлення. Отримані залежності дозволяють у значній мірі зменшити негативний вплив затопленого струменя на гідравлічне збагачення залізорудної сировини. Застосовуючи відомі закони гідродинаміки, була побудована математична модель гідравлічного поділу залізорудної сировини на виході з пристрою живлення апарата, відповідно до якої при виборі структури моделі використовуються теоретичні передумови. Розрахунковими формулами отримана залежність швидкості переміщення часток твердої фази потоку живлення пульпи від конструктивних особливостей радіального згущувача. Представлені залежності дозволяють варіювати необхідними параметрами процесу з урахуванням конструктивних особливостей апарата й пристрою подачі живлення, з метою одержання згущеного продукту заданої якості.

Практична значимість. Удосконалення технології збагачення залізних руд за рахунок підвищення ефективності гравітаційного збагачення в радіальних згущувачах типу МД9, у розробці нового способу формування вихідного живлення апарата.

Результати. Проведене математичне моделювання шляхом застосування теоретичної моделі гравітаційного гідравлічного поділу залізорудної сировини в радіальному згущувачі. У результаті цього отримані рівняння, які дозволили суттєво скоротити число параметрів, які впливають на протікання досліджуваного процесу. Обчислювальний експеримент, за результатами моделювання процесу гідравлічного гравітаційного поділу залізорудної сировини у радіальному згущувачі типу МД9, дозволив вивчити зміну відповідних параметрів і вплив їх на процес знешламлення. Як наслідок, на практиці виникають питання про знаходження кількісних співвідношень. Для рішення цих питань необхідно проведення експериментальних досліджень на реальних радіальних згущувачах, що функціонують, з метою збору матеріалу для оцінки величин параметрів, які входять у математичні моделі.

Ключові слова: дешламатор, дешламація, МД9, радіальний згущувач.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-106-111

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. На сучасних ГЗК досягти якісних показників сепарації рудної й породної складових при збагаченні руд неможливо без якісної підготовки здрібнених продуктів до магнітного збагачення. Для створення оптимальної умови для магнітного збагачення руди на ГЗК використовується дешламація рудної суспензії. Аналіз роботи знешламлюючих апаратів показав, що ефективність процесу поділу часток пульпи визначається параметрами, які залежать від властивостей матеріалу що поділяється, властивостей розділового середовища, конструкції й принципу дії застосовуваного апарату.

Підвищення якості магнетитових концентратів гірничо-збагачувальних комбінатів забезпечує їх значну конкурентоспроможність на внутрішньому й на зовнішньому ринках. Досягти це

можна за рахунок підвищення розділових характеристик процесу дешламації на різних етапах процесу збагачення руди.

Процес збагачення знешламлюючих апаратів ініціюється потоком вихідного живлення. Спадний потік вихідного живлення у прийомній ємності апарата обмежує приріст якісних показників пісків через збіг двох векторів. Вектора руху часток твердої фази й вектора гравітаційної складової, який спрямований у низ. Таке формування вихідного живлення визначає неповний винос дрібних породних часток з нижньої частини апарата.

Аналіз досліджень і публікацій. Рішення проблеми підвищення якості збагачуваного продукту при знешламленні, в основному було зв'язано, зі зміною конструктивних особливостей самого збагачувального апарата, зміни температури пульпи, її щільності. Увага гідравлічним процесам усередині самого чана апарата, масопереносу рідин, сепараційним процесам приділялося недостатньо [1-3].

Постановка задачі. Сепараційні характеристики дешламатора перебувають у прямої залежності від масопереносу часток твердої фази у прийомній ємності апарата: конструктивні особливості, швидкість, напрямок вихідного живильного потоку, глибина розвантаження, швидкості висхідних потоків усередині чана апарата [4,5]. Отже, завданням досліджень є вивчення динаміки масопереносу часток твердої фази з урахуванням впливу зазначених факторів.

Одним з можливих шляхів дослідження поведінки часток в знешламлюючому апараті є математичне моделювання, застосовуючи яке можна буде вивчити поведінку частки в живильному потоці й самого живильного потоку в цілому на виході із пристрою подачі живлення, а також досліджувати особливості протікання операції знешламлення в широкому інформаційному діапазоні [6]. Такі дослідження дають можливість знайти оптимальні умови її проведення. Крім того, математична модель може бути включена як складений елемент в алгоритм керування процесом знешламлення.

Виклад матеріалу та результати. Ефективність процесу знешламлення підвищується при більш тривалій взаємодії часток вихідної сировини із двофазним середовищем у прийомній ємності апарата [7,8]. Зміна просторової орієнтації потоку живлення приводить до зміни траєкторії руху часток твердої фази [9,10]. Це обумовлює можливість виносу породних часток у злив, при цьому мінімізуючи можливість їх влучення в зону згущеного продукту, тим самим збільшуючи якість концентрату.

Після виходу потоку суспензії із горизонтального живильного пристрою, відбувається її рух до периферії згущувача. Струмінь суспензії вносить у навколишній простір чана апарата потік твердої фази. Відбувається поширення твердої фази та додання її компонентам певного прискорення. Потік живлення розбивається о навколишнє двофазне середовище й утворюється затоплений струмінь. Затоплений струмінь, що утворюється, поширюється по чану апарата. Він захоплює при цьому набагато більшу площу, ніж струмінь живлення при стандартноприйнятій подачі – вертикальній зі спадним живленням [4]. Таким чином, час знаходження часток у зоні поділу апарата буде більше у порівнянні зі спадною подачею вихідного живлення.

Горизонтальна подача вихідного живлення дозволяє:

максимально використовувати простір знешламлюючого апарату - збільшити площу осадження твердої фази суспензії;

змінити траєкторію руху часток залізородної пульпи для максимальної їхньої взаємодії з висхідними потоками пульпи усередині апарата. Це дозволить збільшити можливості відмиву тонких та породних часток.

При роботі знешламлюючого апарата, у верхню ємність апарата надходить пульпа витратою Q_0 , яка під впливом гідравлічного стовпа висотою h надходить до живильного пристрою. Цей пристрій забезпечує горизонтальний вихід пульпи в апарат. Далі, у чані під впливом сил гравітації відбувається осадження твердих часток, які утворюють на дні ванни згущений продукт, що видаляється через Q_2 . Верхній шар пульпи в чані - освітлений шар (Q_1) видаляється через злив апарату.

При стаціонарному режимі операції знешламлення мають місце закони збереження. Виконується наступна рівність

$$Q_0 = Q_1 + Q_2, \quad (1)$$

де Q_0 – витрата пульпи, що надходить до апарату, $\text{м}^3/\text{з}$; Q_1 – витрата освітленого продукту, що

надходить у злив, $\text{м}^3/\text{з}$; Q_2 – витрата згущеного продукту, $\text{м}^3/\text{с}$.

Аналогічно виконується рівність за обсягом твердого продукту, що переробляється

$$c_0 \cdot Q_0 = c_1 \cdot Q_1 + c_2 \cdot Q_2, \quad (2)$$

де c_0, c_1, c_2 – зміст твердого продукту в пульпі живлення, зливі й згущеному продукті, відповідно, частки од.

Вирішуючи систему рівнянь (1) і (2) щодо витрат, знаходимо

$$Q_1 = Q_0 \frac{c_2 - c_0}{c_2 - c_1}; \quad Q_2 = Q_0 \frac{c_0 - c_1}{c_2 - c_1}. \quad (3)$$

Під впливом гідравлічного стовпа висотою h пульпа виходить із живильного пристрою з деяким прискоренням. Скористаємося рівнянням Бернуллі для нестисливої рідини

$$g \cdot h = (1 + \xi) \frac{v_0^2}{2}, \quad (4)$$

де h – висота стовпа пульпи, м; g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$; v_0 – швидкість пульпи на виході із пристрою живлення, $\text{м}/\text{с}^2$; ξ – коефіцієнт втрат.

З рівняння (4) знаходимо

$$v_0 = \sqrt{\frac{2gh}{1 + \xi}}. \quad (5)$$

Формула (5) визначає об'ємна витрати пульпи на вході в апарат

$$Q_0 = 2\pi \cdot R \cdot d_0 \cdot v_0, \quad (6)$$

де R – радіус напрямних пристрою живлення, м; d_0 – відстань між напрямними пристрою живлення, м.

Тоді, враховуючи (5), формула (6) має вигляд

$$Q_0 = 2\pi \cdot R \cdot d \cdot \sqrt{\frac{2gh}{1 + \xi}}. \quad (7)$$

Витрата зливу розраховується по формулі

$$Q_1 = \pi(R_0^2 - r_0^2)v_1, \quad (8)$$

де R_0 – радіус ванни апарата, м; r_0 – радіус труби зануреної у ванну апарата, по якій подається пульпа, м; v_1 – швидкість зливу, що проходить через поперечний переріз ванни апарата, $\text{м}/\text{с}$.

Знаходимо витрату згущеного продукту по формулі

$$Q_2 = \pi \cdot R_1^2 \cdot v_2, \quad (9)$$

де v_2 – швидкість згущеного продукту, що виходить із апарат, $\text{м}/\text{сек}$; R_1 – радіус отвору, м.

Підставляючи формули (7), (8) і (9) в (3), знаходимо

$$v_1 = \frac{2R \cdot d_0}{R_0^2 - r_0^2} \sqrt{\frac{2gh}{1 + \xi}} \cdot \frac{c_2 - c_0}{c_2 - c_1}, \quad (10)$$

$$v_2 = \frac{2R \cdot d_0}{R_1^2} \sqrt{\frac{2gh}{1 + \xi}} \cdot \frac{c_0 - c_1}{c_2 - c_1}. \quad (11)$$

Формули (10) і (11) дозволяють визначити залежності швидкостей як від конструктивних параметрів дешламатора, так і від вимог, що задаються до самої операції дешламації. Швидкість осадження твердих часток, що надходять у ванну дешламатора, пов'язана з величинами швидкостей (10) і (11).

Диференціальне рівняння, що описує процес осадження твердих часток, які надходять у ванну дешламатора, у векторній формі має вигляд

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{g} + \vec{F}_{Ap} + \vec{F}_c, \quad (12)$$

де $\vec{v}$ – вектор швидкості частки, $\text{м}/\text{с}$; m – маса частки, кг; g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$; $\vec{F}_{Ap}$ – сила Архімеда, Н; $\vec{F}_c$ – сила опору, Н.

Диференціальне рівняння (12) у проекціях на вертикальну вісь, спрямовану вниз, можна записати в наступному виді

$$m \frac{dv_y}{dt} = mg - F_{Ap} - F_c. \quad (13)$$

При цьому повинна виконуватися початкова умова

$$v_y(t=0) = -v_1. \quad (14)$$

Проекцію сили Архімеда можна записати у вигляді

$$F_{Ap} = \Delta \cdot V_T g, \quad (15)$$

де Δ – щільність рідини, у яку занурена частка, кг/м^3 ; V_T – об'єм частки, м^3 .

Враховуючи, що

$$m = \delta \cdot V_T, \quad (16)$$

де δ – щільність частки, кг/м^3 .

Формулу (15) представимо у вигляді

$$F_{Ap} = m \frac{\Delta}{\delta} g. \quad (17)$$

Проекція сили опору може бути записана як пропорційна проекції швидкості, тобто підкоряється закону Стокса

$$F_c = k(v_y + v_1), \quad (18)$$

де $k = 3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot d$; μ – динамічна в'язкість, $\text{Па}\cdot\text{с}$; d – діаметр частки, м.

Гідравлічна крупність частки буде записана у вигляді

$$\theta = \frac{1}{18} \frac{(\delta - \Delta) \cdot g \cdot d^2}{\mu}. \quad (19)$$

Враховуючи формули (17), (18) і (19), рівняння (14) запишеться у вигляді

$$\frac{dv_y}{dt} = \left(1 - \frac{\Delta}{\delta}\right)g - \left(1 - \frac{\Delta}{\delta}\right)\frac{g}{\theta}(v_y + v_1). \quad (20)$$

Для дослідження результатів треба привести рівнянні (20) до безрозмірного виду

$$\frac{d\hat{v}_y}{d\tau} = 1 - \hat{v}_y - \hat{v}_1, \quad (21)$$

де $\hat{v}_y = \frac{v_y}{\theta}$, $\hat{v}_1 = \frac{v_1}{\theta}$, $\tau = \frac{t}{\Delta t}$; $\Delta t = \theta / g \cdot \left(1 - \frac{\Delta}{\delta}\right)$ – гідравлічна одиниця часу, с.

При цьому початкова умова (14) набуває вид

$$\hat{v}_y(\tau=0) = -\hat{v}_1. \quad (22)$$

Розв'язок рівняння (21) має вигляд $\frac{d\hat{v}_y}{1 - \hat{v}_y - \hat{v}_1} = d\tau$, звідси

$$-\ln(1 - \hat{v}_y - \hat{v}_1) = \tau + c, \quad (23)$$

де c – довільна постійна.

Якщо $c=0$.

Тоді розв'язок рівняння (23) має вид

$$\hat{v}_y = 1 - \hat{v}_1 - e^{-\tau}. \quad (24)$$

Частка буде підніматися доти, поки її швидкість не стане рівною нулю. Час підйому частки знаходиться: $1 - \hat{v}_1 - e^{-\tau} = 0$, тобто

$$\tau_0 = -\ln(1 - \hat{v}_1). \quad (25)$$

Вирішуємо задачу Коши

$$\begin{cases} \frac{d\hat{y}}{d\tau} = 1 - \hat{v}_1 - e^{-\tau}, \\ \hat{y}(\tau=0) = 0 \end{cases} \quad (26)$$

де $\hat{y} = \frac{y}{\Delta l}$, $\Delta l = \theta \cdot \Delta t$ – гідравлічна одиниця довжини, м.

Інтегруючи рівняння (26) знаходимо

$$\hat{y} = (1 - \hat{v}_1) \cdot \tau + e^{-\tau} - 1. \quad (27)$$

Час підйому частки обмежене глибиною занурення живильного пристрою h_0 у ванну апарата. Для знаходження часу досягнення часткою поверхні, вирішуємо рівняння

$$1 - e^{-\tau} - (1 - \hat{v}_1) \cdot \tau = \hat{h}_0, \quad (28)$$

де $\hat{h}_0 = h_0 / \Delta l$.

Рівняння (28) є нелінійним і допускає тільки чисельний розв'язок. Частка зможе осідати тоді, коли буде виконана умова

$$\tau_0 \leq \tau_1, \quad (29)$$

де τ_1 – розв'язок рівняння (28).

Таким чином, умова (29) дозволяє виділити частки, які будуть осаджуватися у ванні знешламлювача, якщо вони перебувають вище пристрою подачі вихідного живлення. Можна обчислити час досягнення дна ванни дешламатора. Якщо відомий час підйому частки, обумовлений формулою (25), то висота її підйому за цей час h' знаходиться згідно (27), тоді

$$\hat{h}' = 1 - e^{-\tau_0} - (1 - \hat{v}_1) \cdot \tau_0. \quad (30)$$

де $\hat{h}' = h' / \Delta l$.

Час осадження частки з висоти $h' + h_1$

$$\hat{v}_1 \cdot \tau - \pi \cdot \ln ch\left(\frac{\tau}{\sqrt{\pi}}\right) = \hat{h}' + \hat{h}_1. \quad (31)$$

Тоді загальний час осадження частки знаходимо по формулі

$$\tau = \tau_0 + \tau', \quad (32)$$

де τ' – розв'язок рівняння (31), або в натуральних одиницях виміру буде мати такий вигляд $t = (\tau_0 + \tau') \cdot \Delta t$.

Частки, що попадають у потік пульпи нижче горизонтального живильного пристрою, захоплюються потоком униз. Швидкість осадження цих часток можна визначити розв'язком задачі Коши

$$\frac{d\hat{v}_y}{d\tau} = 1 - \hat{v}_y + \hat{v}_2, \quad (33)$$

$$\hat{v}_y = \hat{v}_2. \quad (34)$$

Цей розв'язок має вигляд

$$\hat{v}_y = 1 + \hat{v}_2 - e^{-\tau}. \quad (35)$$

Час осадження частки, що попадає в потік пульпи нижче горизонтального живильного пристрою, перебуває шляхом розв'язку завдання Коши

$$\frac{d\hat{y}}{d\tau} = 1 + \hat{v}_2 - e^{-\tau}, \quad (36)$$

$$\hat{y}(\tau = 0) = 0. \quad (37)$$

Розв'язок задачі Коші (36), (37) має вигляд

$$\hat{y} = (1 + \hat{v}_2) \cdot \tau + e^{-\tau}. \quad (38)$$

Знаходимо час осадження частки

$$(1 + \hat{v}_2) \cdot \tau + e^{-\tau} = \hat{h}_1. \quad (39)$$

Рівняння (39) є нелінійним і допускає тільки чисельний розв'язок.

Розрахунки швидкості часток рудної маси розміром $-0,071 \pm 0$ мм при щільності $2,6 - 4,2$ г/см³, згідно з рівняннями (10, 11, 19) показує, що значення швидкості частки взаємозалежна з геометричними параметрами часток, а також їх щільністю. Динаміка зміни швидкості частки, стосовно до магнетитової руди, має параболічну залежність щільності від геометричних параметрів.

Висновки. Стосовно до збагачуваної руди, при відомих значеннях параметрів знешламлення, які характеризуються обсягом подачі пульпи живлення, типом апарата, швидкістю висхідних потоків, представляється можливим прогнозувати поділ компонентів твердої фази пуль-

пи живлення й показників знешламлення в цілому, виходячи із гранулометричного складу рудної маси, а також стадії технологічного процесу. Отже, режим вихідного живлення апарата повинен забезпечувати максимальне відділення часток, що містять корисний компонент, від породних часток.

Список літератури

1. Козин В. З. Экспериментальное моделирование и оптимизация процессов обогащения полезных ископаемых / В. З. Козин. – М. : Недра, 1984. – 112 с.
2. Барский Л. А. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых / Л. А. Барский, В. З. Козин. – М. : Недра, 1978. – 486 с.
3. Шохин В. Н. Гравитационные методы обогащения / В. Н. Шохин, А. Г. Лопатин. – М. : Недра, 1980. – 400 с.
4. Тихонов О.Н. Введение в динамику массопереноса процессов обогатительной технологии / О.Н. Тихонов. – Л.: Недра, 1973. – 240 с.
5. Барский М.Д. Гравитационная классификация зернистых материалов / М.Д. Барский, В.И. Ревнивцев. – М.: Недра, 1974. – 232 с.
6. Остапенко П.Е. Обогащение железных руд / П.Е. Остапенко. – М.: Недра, 1977. – 272 с.
7. Остапенко П.Е. Теория и практика обогащения железных руд / П.Е. Остапенко. – М.: Недра. 1985. – 270 с. МГТУ – 2000. – С. 1–6.
8. Рубинштейн Ю.Б. Математические методы в обогащении полезных ископаемых / Ю.Б. Рубинштейн, Л.А. Волков. – М.: Недра, 1987. – 296 с.
9. Лященко П.В. Гравитационные методы обогащения / П.В. Лященко. – Гостотехиздат, 1940. – 359 с.
10. Деркач В.Г. Специальные методы обогащения полезных ископаемых / В.Г. Деркач. – М.: Недра, 1966. – 338 с.

UDC 622.73:519.216.3

D.V. SHVETS, Senior Lecturer
Kryvyi Rih National University

THEORETICAL-PROBABILITY APPROACH TO ANALYSE THE IRON ORE GRINDING PROCESS

Purpose. To estimate the stochastic properties of the primary iron ore grinding output variables.

Research methods. Getting real-time information on the stochastic properties of the initial iron ore materials using the operation monitoring of the iron ore characteristics at the primary grinding.

Scientific novelty. Using a theoretical-probability approach to assess the properties of the primary iron ore grinding output variables based on information on the stochastic properties of the initial iron ore materials.

Practical value. The theoretical-probability approach to assess the stochastic properties of the output variables of the primary grinding iron ore materials allows for better control over the processing of iron ore raw materials at the concentrating factories, reducing the variability of the grinding parameters, improving the quality of iron ore concentrate and competitiveness in the global market.

Results. The formulas on the numerical characteristics of the output variables of the primary grinding characterize the average values and variance of the average values depending on the stochastic properties of iron ore at the input of the primary grinding process—iron content and hardness. The expressions on the probabilities of the output variables hitting within the specified intervals are provided. In modeling, the theoretical-probability approach enables to evaluate the stochastic properties of the primary iron ore grinding output variables—drain density of the classifier at the primary grinding and classification and iron content of an ore at the primary magnetic separation by linking them with the stochastic content of iron in iron ore and its hardness at the input of the primary grinding process. The research results define and facilitate management task of the primary grinding process in view of stochasticity of its variables.

Key words: iron ore, theoretical-probability approach, grinding.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-111-117

The problem and its connection with scientific and practical tasks. Iron ore mining and processing rank very high in the economy and industry of Ukraine. About 20% of the world's iron ore resources are on the territory of Ukraine and the annual production of iron ore materials in Kryvybas surpasses 60 million tons [1].

The key reason that affects the quality of the concentrate outputs at the concentrating factories is the stochasticity of the iron ore properties supplied to the primary grinding. Among the significant properties of iron ore can be defined hardness and iron content. The wide variations in the properties of iron ore at the primary grinding affect the subsequent stages of ore processing and the quality of the concentrate. Therefore, the stability of the concentrate quality is required, which is principal in the heat of competition.

Thus scientific research and practical implementation in this scope are especially relevant in the current conditions of the concentrating factories.

Analysis of the recent research. Chemical analysis methods and operational control tools based on nuclear physics [2-6], magnetometric [7-10] and ultrasonic methods [11, 12] are currently used for monitoring the properties of iron ore at the concentrating factories. The results of chemical analysis mostly characterize the already passed processing of raw materials and do not provide operational control over the current characteristics of iron ore. The operational methods for monitoring the properties of iron ore allow to receive timely information on the iron content of an ore and its hardness, and to increase the information on grinding process.

Setting the task. Estimating the stochastic properties of the primary iron ore grinding output variables based on information on the stochastic properties of the original iron ore through operational control of the iron ore properties offers a possible solution to the problem. Hence a theoretical- probability approach to estimate the stochastic properties of the primary iron ore grinding output variables, which is aimed at increasing the efficiency of the control over the processing of iron ore products at the concentrating factories, would be highly beneficial.

Research material and results. To find the general case of the law of distribution functions for two random variables, we primary consider the functional transformation of two random variables (X_1, X_2) into a set of two random variables (Y_1, Y_2) which is given by the functions

$$\begin{aligned} Y_1 &= Y_1(X_1, X_2) \\ Y_2 &= Y_2(X_1, X_2) \end{aligned} \quad (1)$$

Note an inverse transformation

$$\begin{cases} X_1 = X_1(Y_1, Y_2) \\ X_2 = X_2(Y_1, Y_2) \end{cases} \quad (2)$$

Let us consider the case when transformations (1) and (2) are one-to-one, and the functions (1) and (2) are differentiable [13]. The problem is to find the differential distribution function $g(y_1, y_2)$ of a set of random variables (Y_1, Y_2) , if the differential distribution function $f(x_1, x_2)$ of a set of random variables (X_1, X_2) is known. According to the expectation of transformations (1) and (2), each point $Q(X_1, X_2)$ of an elementary area Δs matches one point $W(Y_1, Y_2)$ of the corresponding elementary area $\Delta \sigma$. Then, it follows that $\{(X_1, X_2) \in \Delta s\}$ and $\{(Y_1, Y_2) \in \Delta \sigma\}$ are identical and their probabilities are equal, that is

$$P\{(X_1, X_2) \in \Delta s\} = P\{(Y_1, Y_2) \in \Delta \sigma\}. \quad (3)$$

Defining the distribution function, for a set of two random variables with respect to (3) the following equality holds [14]

$$g(y_1, y_2) = \lim_{\Delta \sigma \rightarrow W} \frac{P\{(Y_1, Y_2) \in \Delta \sigma\}}{\Delta \sigma} = \lim_{\substack{\Delta s \rightarrow Q \\ (\Delta \sigma \rightarrow W)}} \frac{P\{(X_1, X_2) \in \Delta s\}}{\Delta s} \frac{\Delta s}{\Delta \sigma} = f(x_1, x_2) \lim_{\Delta \sigma \rightarrow W} \frac{\Delta s}{\Delta \sigma},$$

where $x_1 = x_1(y_1, y_2)$, $x_2 = x_2(y_1, y_2)$.

From mathematical analysis [13]

$$\lim_{\Delta \sigma \rightarrow W} \frac{\Delta s}{\Delta \sigma} = \left| \frac{\partial(x_1, x_2)}{\partial(y_1, y_2)} \right| = |J|, \quad (4)$$

where $J = \begin{vmatrix} \frac{\partial x_1}{\partial y_1} & \frac{\partial x_1}{\partial y_2} \\ \frac{\partial x_2}{\partial y_1} & \frac{\partial x_2}{\partial y_2} \end{vmatrix}$ is the Jacobian of the transformation (2) at a point W.

then, according to (4), the following formula holds

$$g(y_1, y_2) = f(x_1, x_2) \cdot |J|. \quad (5)$$

Consider the function of two variables

$$Y = \varphi(X_1, X_2). \quad (6)$$

Let $f(x_1, x_2)$ be a differential function of random variables and their distributions (X_1, X_2) . We introduce Y_1 equals X_1 , then

$$\begin{cases} y = \varphi(x_1, x_2) \\ y_1 = x_1 \end{cases}. \quad (7)$$

Suppose the inverse transformation is known

$$\begin{cases} x_1 = y_1 \\ x_2 = \psi(y, y_1) \end{cases}. \quad (8)$$

Suppose that the transformations (7) and (8) are one-to-one, and the functions are differentiable. Then, the formula (5) determines the distribution function $g(y, y_1)$ of random variables (Y, Y_1) . The Jacobian of the transformation (4) is given by

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial x_1}{\partial y_1} & \frac{\partial x_1}{\partial y} \\ \frac{\partial x_2}{\partial y_1} & \frac{\partial x_2}{\partial y} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ \frac{\partial x_2}{\partial y_1} & \frac{\partial x_2}{\partial y} \end{vmatrix} = \frac{\partial \psi(y, y_1)}{\partial y}. \quad (9)$$

Therefore, according to (5),

$$g(y, y_1) = f(y_1, \psi(y, y_1)) \cdot \left| \frac{\partial \psi(y, y_1)}{\partial y} \right|. \quad (10)$$

Since $y_1 = x_1$, according to (10)

$$g(y, x_1) = f(x_1, \psi(y, x_1)) \cdot \left| \frac{\partial \psi(y, x_1)}{\partial y} \right|. \quad (11)$$

To find the distribution function of the random variable Y , we integrate (11) on the argument x_1 in infinite limits [15]

$$g_1(y) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x_1, \psi(y, x_1)) \cdot \left| \frac{\partial \psi(y, x_1)}{\partial y} \right| dx_1. \quad (12)$$

If the random variables X_1 and X_2 are independent, then the distribution function of two random variables is equal to the product of the distribution functions of individual random variables included in the set, that is

$$f(x_1, x_2) = f_1(x_1) \cdot f_2(x_2). \quad (13)$$

According to (13), the formula (12) is

$$g_1(y) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(\xi) \cdot f_2(\psi(y, \xi)) \cdot \left| \frac{\partial \psi(y, \xi)}{\partial y} \right| d\xi. \quad (14)$$

The formulas (14) and (12) imply the numerical characteristics of a random variable Y . Then, the mathematical expectation Y is defined as

$$M[Y] = \int_{-\infty}^{\infty} y \cdot g_1(y) dy. \quad (15)$$

Consider (12) and (14), then the formula (15) is written as

$$M[Y] = \int_{-\infty}^{\infty} y \left[\int_{-\infty}^{\infty} f(\xi, \psi(y, \xi)) \cdot \left| \frac{\partial \psi(y, \xi)}{\partial y} \right| d\xi \right] dy, \quad (16)$$

$$M[Y] = \int_{-\infty}^{\infty} y \left[\int_{-\infty}^{\infty} f_1(\xi) \cdot f_2(\psi(y, \xi)) \cdot \left| \frac{\partial \psi(y, \xi)}{\partial y} \right| d\xi \right] dy. \quad (17)$$

In turn, the variance is

$$D[Y] = \int_{-\infty}^{\infty} (y - M[Y])^2 g_1(y) dy, \quad (18)$$

or considering (12) and (14)

$$D[Y] = \int_{-\infty}^{\infty} (y - M[Y])^2 \left[\int_{-\infty}^{\infty} f(\xi, \psi(y, \xi)) \cdot \left| \frac{\partial \psi(y, \xi)}{\partial y} \right| d\xi \right] dy, \quad (19)$$

$$D[Y] = \int_{-\infty}^{\infty} (y - M[Y])^2 \left[\int_{-\infty}^{\infty} f_1(\xi) \cdot f_2(\psi(y, \xi)) \cdot \left| \frac{\partial \psi(y, \xi)}{\partial y} \right| d\xi \right] dy. \quad (20)$$

The standard deviations of the output variable are defined as the square roots of the variances (19) and (20).

The formulas (12) and (14) calculate the probability for hitting a random variable Y in a given interval $(\underline{y}, \bar{y})$

$$P(\underline{y} < Y < \bar{y}) = \int_{\underline{y}}^{\bar{y}} \int_{-\infty}^{\infty} f(\xi, \psi(y, \xi)) \cdot \left| \frac{\partial \psi(y, \xi)}{\partial y} \right| d\xi dy, \quad (21)$$

$$P(\underline{y} < Y < \bar{y}) = \int_{\underline{y}}^{\bar{y}} \int_{-\infty}^{\infty} f_1(\xi) \cdot f_2(\psi(y, \xi)) \cdot \left| \frac{\partial \psi(y, \xi)}{\partial y} \right| d\xi dy. \quad (22)$$

The iron content of an ore and its hardness K are random variables that the distribution function characterizes as

$$f(\alpha, K). \quad (23)$$

The structural analysis of the primary grinding process as a "black box" allowed in the static case to set a mathematical model of the primary grinding process in multiplicative form

$$\rho_c = \rho_{c0} \cdot \alpha^{m_\alpha} \cdot K^{m_K} \cdot Q_p^{m_{Q_p}} \cdot B_M^{m_{B_M}} \cdot B_K^{m_{B_K}} \cdot \varepsilon_1, \quad (24)$$

$$\beta_{nn} = \beta_{nn0} \cdot \alpha^{n_\alpha} \cdot K^{n_K} \cdot Q_p^{n_{Q_p}} \cdot B_M^{n_{B_M}} \cdot B_K^{n_{B_K}} \cdot \varepsilon_2, \quad (25)$$

where ρ_c is the drain density of the classifier at the primary grinding and classification, kg / m³, α is the iron content of an ore, %, K is the hardness of an ore, Q_p is the iron ore consumption in the mill, t/h, B_M is the water consumption in the mill, m³ / h, B_K is the water consumption in the classifier, m³/h, β_{nn} is the iron content of an ore at the primary magnetic separation, %, $m_\alpha, m_K, m_{Q_p}, m_{B_M}, m_{B_K}$ are the elasticity parameters of the input variables on the drain density of the classifier, $n_\alpha, n_K, n_{Q_p}, n_{B_M}, n_{B_K}$ are the elasticity parameters of the input variables on the iron content of an ore, ρ_{c0}, β_{nn0} are the parameters of the primary grinding process on the drain density of the classifier and classification, and iron content of an ore at the primary magnetic separation; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ are the uncontrolled disturbances.

According to the formulas (24) and (25) the primary iron ore grinding output variables are the iron content of an ore, the hardness of an ore, iron ore consumption, water consumption in the mill, and water consumption in the classifier. In this case, the iron content of an ore and iron ore hardness are disturbing variables, while the iron ore consumption, water consumption in the mill and water consumption in the classifier are control variables. The output controlled variables are the drain densi-

ty of the classifier at the primary grinding and classification, and iron content of an ore at the primary magnetic separation.

Statistical material based on the results of the primary grinding process identifies the parameters of the models (24) and (25) by minimizing the corresponding functional.

Considering the formulas (24), (25), and the fact that the iron content of an ore and its hardness are random variables, we conclude that the output variables—the drain density of the classifier at the primary grinding and classification, and iron content of an ore—are also random variables.

Finding the distribution functions of the output variables (24) and (25), we can represent

$$\rho_c = U_\rho \alpha^{m_\alpha} K^{m_K}, \quad (26)$$

$$\beta_{nn} = U_\beta \alpha^{n_\alpha} K^{n_K}, \quad (27)$$

where $U_\rho = \rho_{c0} Q_p^{m_{Qp}} B_M^{m_{B_M}} B_K^{m_{B_K}}$, $U_\beta = \beta_{nn0} Q_p^{n_{Qp}} B_M^{n_{B_M}} B_K^{n_{B_K}}$.

Then, for the drain density of the classifier at the primary grinding and classification with respect to (23) and (26), the distribution function is

$$g_\rho(\rho_c) = \frac{1}{m_K U_\rho} \int_0^\infty f \left[\alpha, \left(\frac{\rho_c}{U_\rho \alpha^{m_\alpha}} \right)^{\frac{1}{m_K}} \right] \left(\frac{\rho_c}{U_\rho \alpha^{m_\alpha}} \right)^{\frac{1}{m_K}-1} \frac{d\alpha}{\alpha^{m_\alpha}}. \quad (28)$$

For the iron content of an ore at the primary magnetic separation with respect to (23) and (27) the distribution function is

$$g_\beta(\beta_{nn}) = \frac{1}{n_K U_\beta} \int_0^\infty f \left[\alpha, \left(\frac{\beta_{nn}}{U_\beta \alpha^{n_\alpha}} \right)^{\frac{1}{n_K}} \right] \left(\frac{\beta_{nn}}{U_\beta \alpha^{n_\alpha}} \right)^{\frac{1}{n_K}-1} \frac{d\alpha}{\alpha^{n_\alpha}}. \quad (29)$$

Considering the formula (16), the mathematical expectations of the drain density of the classifier at the primary grinding and classification and iron content of an ore at the primary magnetic separation with respect to (28) and (29) are written as

$$M[\rho_c] = \frac{1}{m_K U_\rho} \int_0^\infty \eta \int_0^\infty f \left[\alpha, \left(\frac{\eta}{U_\rho \alpha^{m_\alpha}} \right)^{\frac{1}{m_K}} \right] \left(\frac{\eta}{U_\rho \alpha^{m_\alpha}} \right)^{\frac{1}{m_K}-1} \frac{d\alpha}{\alpha^{m_\alpha}} d\eta, \quad (30)$$

$$M[\beta_{nn}] = \frac{1}{n_K U_\beta} \int_0^\infty \eta \int_0^\infty f \left[\alpha, \left(\frac{\eta}{U_\beta \alpha^{n_\alpha}} \right)^{\frac{1}{n_K}} \right] \left(\frac{\eta}{U_\beta \alpha^{n_\alpha}} \right)^{\frac{1}{n_K}-1} \frac{d\alpha}{\alpha^{n_\alpha}} d\eta. \quad (31)$$

Similarly, according to (19), the variance of the drain density of the classifier at the primary grinding and classification and iron content of an ore at the primary magnetic separation with respect to (27) and (28) is written as

$$D[\rho_c] = \frac{1}{m_K U_\rho} \int_0^\infty (\eta - M[\rho_c])^2 \int_0^\infty f \left[\alpha, \left(\frac{\eta}{U_\rho \alpha^{m_\alpha}} \right)^{\frac{1}{m_K}} \right] \left(\frac{\eta}{U_\rho \alpha^{m_\alpha}} \right)^{\frac{1}{m_K}-1} \frac{d\alpha}{\alpha^{m_\alpha}} d\eta, \quad (32)$$

$$D[\beta_{nn}] = \frac{1}{n_K U_\beta} \int_0^\infty (\eta - M[\beta_{nn}])^2 \int_0^\infty f \left[\alpha, \left(\frac{\eta}{U_\beta \alpha^{n_\alpha}} \right)^{\frac{1}{n_K}} \right] \left(\frac{\eta}{U_\beta \alpha^{n_\alpha}} \right)^{\frac{1}{n_K}-1} \frac{d\alpha}{\alpha^{n_\alpha}} d\eta. \quad (33)$$

The standard deviations of the output variables are defined as the square roots of the variances (32) and (33).

Note that formulas (28) and (29) allow to calculate the probabilities for hitting the random output variables into a given interval.

Next, the probability for the drain density of the classifier at the primary grinding and classification within the specified limits $(\underline{\rho_c}, \overline{\rho_c})$ is given by

$$P(\underline{\rho_c} < \rho_c < \overline{\rho_c}) = \frac{1}{m_K U_\rho} \int_{\underline{\rho_c}}^{\overline{\rho_c}} \int_0^\infty f \left[\alpha, \left(\frac{\eta}{U_\rho \alpha^{m_\alpha}} \right)^{\frac{1}{m_K}} \right] \left(\frac{\eta}{U_\rho \alpha^{m_\alpha}} \right)^{\frac{1}{m_K}-1} \frac{d\alpha}{\alpha^{m_\alpha}} d\eta. \quad (34)$$

The probability for iron content in the product at the primary magnetic separation within the specified limits $(\underline{\beta_{nn}}, \overline{\beta_{nn}})$ is given by

$$P(\underline{\beta_{nn}} < \beta_{nn} < \overline{\beta_{nn}}) = \frac{1}{n_K U_\beta} \int_{\underline{\beta_{nn}}}^{\overline{\beta_{nn}}} \int_0^\infty f \left[\alpha, \left(\frac{\eta}{U_\beta \alpha^{n_\alpha}} \right)^{\frac{1}{n_K}} \right] \left(\frac{\eta}{U_\beta \alpha^{n_\alpha}} \right)^{\frac{1}{n_K}-1} \frac{d\alpha}{\alpha^{n_\alpha}} d\eta. \quad (35)$$

Thus, the formulas (30), ..., (33) result in the numerical data on the primary iron ore grinding output variables which characterize their average values (30), (31) and variance with respect to the average values (32), (33) depending on the stochastic properties of iron ore at the input of the primary grinding process—iron content and hardness. In turn, the formulas (34) and (35) define the probabilities for the output variables hitting into the given intervals.

To sum up, since the dynamics model of the primary grinding process is considered with delays, the obtained formulas account on the dynamics set the delayed output variables offset with respect to the input variables.

Conclusions and directions for further research. In modeling, the theoretical-probability approach enabled to estimate the stochastic properties of the primary iron ore grinding output variables—drain density of the classifier at the primary grinding and classification, and iron content of an ore at the primary magnetic separation by linking them with the stochastic iron content of an ore and its hardness at the input of the primary grinding process.

The results can be available to represent and solve the management task of the primary grinding process in view of stochasticity of its variables in the coming years.

Reference

1. Азарян А. А. Разработка комплексной системы для повышения качественных показателей железной руды / А. А. Азарян, В. Ю. Зубкевич, Д. В. Швець // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2018. – Вип. 47. – С. 68–75. – DOI: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-68-76.
2. Азарян А. А. Гамма-излучение как источник информации для контроля содержания железа в железорудном сырье / А. А. Азарян, Д. В. Швець // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2020. – Вип. 50. – С. 153–159. – DOI: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-153-159
3. Using the intensity of absorbed gamma radiation to control the content of iron in ore / A. Azaryan, A. Gritsenko, A. Trachuk, V. Serebrenikov, D. Shvets // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 3, issue 5 (99). – P. 29–35. – DOI: 10.15587/1729-4061.2019.170341.
4. Azaryan A. Complex automation system of iron ore preparation for beneficiation / A. Azaryan, A. Pikilnyak, D. Shvets // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Issue 8. – P. 64–66.
5. Azaryan A. Research of influence single crystal thickness NaJ (TL) on the intensity of the integrated flux of scattered gamma radiation / A. Azaryan // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 2. – P. 43–46.
6. Development of the method to operatively control quality of iron ore raw materials at open and underground extraction / A. Azaryan, A. Gritsenko, A. Trachuk, D. Shvets // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 5, issue 5 (95). – P. 13–19. – DOI: 10.15587/1729-4061.2018.144003.
7. Азарян А. А. Контроль содержания магнитного железа в пульповых продуктах рудообогатительной фабрики / А. А. Азарян, В. Г. Кучер, Ю. Е. Цыбулевский, Д. В. Швець // International Academy Journal «Web of Scholar». – 2017. – № 1(10). – С. 9–12.
8. Азарян А. А. Разработка измерительного канала для оперативного контроля содержания железа магнитного во взрывных скважинах / А. А. Азарян, А. А. Трачук, А. Н. Гриценко, Д. В. Швець // Центрально український науковий вісник. Технічні науки. – 2019. – № 32. – С. 138–145.
9. Швець Д. В. Розробка системи стабілізації масової долі заліза магнітного у зливні класификатора та дослідження можливості автоматизації процесу подрібнення залізної руди та підготовки її до збагачення / Д. В. Швець // Качество минерального сырья: сб. науч. тр. – Кривой Рог, 2014. – С. 252–264.
10. Азарян А. А. Перспективы построения систем автоматического регулирования процесса магнитной сепарации на базе погружных анализаторов содержания магнитного железа / А. А. Азарян, В. Г. Кучер, Д. В. Швець // Качество минерального сырья: сб. науч. тр. – Кривой Рог, 2017. – С. 214–228.
11. Investigation of the effect of characteristics of gas containing suspensions on the parameters of the process of ultrasonic wave propagation / Morkun V., Morkun N., Tron V., Hryshchenko S. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 6, Issue 5 (90). P. 49–58. DOI: <https://org/10.15587/1729-4061.2017.118943>

12. Поркуян О. В., Сотникова Т. Г. Комбинированный метод определения относительного содержания магнетита в твердой фазе железорудной пульпы / Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ". № 12. Харьков. НТУ "ХПИ". 2010. С.29-36.

13. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. В 3 т. Т.1 / Пред. и прим. А.А. Флоринского. – 8-е изд. – М. ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 864с.

14. Зайцев Є.П. Теорія ймовірностей і математична статистика. / Вид. Алерта, 2013. – 440с.

15. Дрогомирецька Х. Т. Теорія ймовірностей та математична статистика/ Х. Т. Дрогомирецька, О. М. Рибицька, О. З. Слюсарчук, Н. В. Пабіривська, Л. В. Гошко, О. В. Веселовська, Д. В. Білонога. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 396 с.

УДК 681.518

М.В. КІЯНОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., Н.М. КІЯНОВСЬКА, канд. пед. наук, доц.
Криворізький національний університет

ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ФУНКЦІЙ ДІАГНОСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ СТАНІВ ОБ'ЄКТІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Тривалий досвід забезпечення працездатності обладнання полягає у використанні в програмах його технічного обслуговування та ремонтного відновлення працездатності (ТОіР) ймовірнісних моделей надійності, що загальмувало на тривалий час активне впровадження методів, технологій та засобів діагностичного забезпечення формування регламентів ТОіР, врахування причин розвитку деградаційних процесів, їх фізичної природи, та видів дефектів обладнання (і тим самим забезпечити їх адекватність). Встановлено, що у більшості випадків існуючі моделі, що пропонуються для сучасних систем технічної діагностики передбачають громіздкі алгоритми та складні системи технічної діагностики.

Мета. Розробка та уніфікація діагностичних моделей, в яких перехідна функція повинна утворити одномірну ознаку технічного стану інваріантно до природи деградаційних процесів.

Методи дослідження передбачають аналіз частотного складу енергетичного спектра коливальних процесів, що генеруються деталями і вузлами механізму в процесі їх продуктивного використання для отримання діагностичної інформації про поточний стан обладнання.

Наукова новизна викладеного матеріалу полягає у тому, що у статті виконано систематизацію і глибокий аналіз всіх відомих у сучасній науці діагностичних моделей, методів та технологій моніторингу працездатності обладнання, ідентифікації його дефектів, прогнозування динаміки зміни технічного стану обладнання з часом. Розглянуто особливості уніфікованої багатопараметричної перехідної функції, що забезпечує інваріантність перетворення діагностичного сигналу в одномірний інтегральний показник технічного стану на підставі оцінки коливального збудження машини від дії дефекту.

Практичне значення проведеного дослідження полягає у знаходженні доказів перспективності діагностичних моделей з однопараметричним (одномірним) інтегральним вихідним параметром технічного стану в програмах діагностичного забезпечення програм ТОіР, які забезпечують розпізнавання і ідентифікацію дефектів на підставі встановленої залежності між появою і зростанням дефекту обладнання та рівнем і темпом зміни спектральної щільності і-ї дільниці енергетичного спектра діагностичного сигналу.

Результати. Забезпечення повного обсягу діагностичної інформації для впровадження адаптивного керування надійністю обладнання «за станом».

Ключові слова: моделі діагностики, визначення технічного стану, перехідні функції, режим реального часу, промислове обладнання, технічна діагностика.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-117-124

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Визначення методів оцінки працездатності у реальному часі з метою вибору найбільш інформативних та промислово придатних для діагностичного моніторингу моделей діагностики, експрес дослідженню процесів спрацювання обладнання, при умові безрозбірної ідентифікації у режимі реального часу його технічного стану і без виводу з експлуатації, що створить умови адекватності у визначенні регламентів та змісту технічного обслуговування та ремонту (ТОіР).

Ефективність досліджень полягає у впровадженні маловитратних стратегій обслуговування обладнання «за станом», що насамперед пов'язане з створенням інформаційної і методичної бази систем моніторингу, необхідної для аналізу вихідних стаціонарних функціональних пара-

метрів і динамічних реакцій машини на робочий процес, з метою визначення її технічного стану в мінімальному прикметникову просторі.

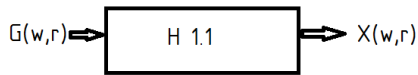
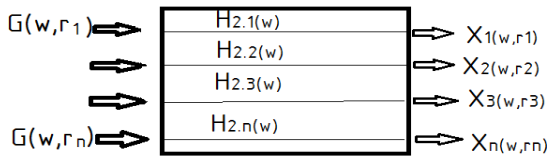
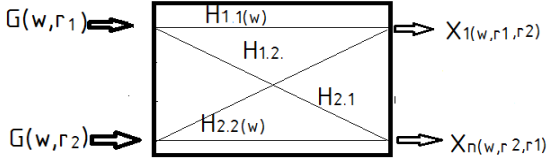
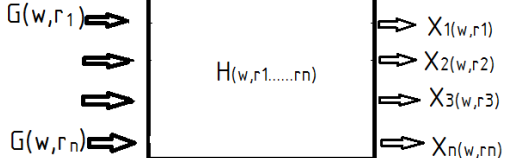
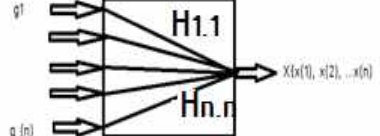
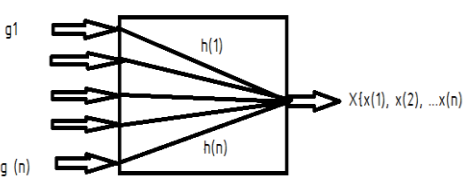
Досягнення мети можливо при використанні обґрунтовано точних передавальних функцій моделей діагностики інваріантних до конструкції об'єкта експлуатації, природи деградаційного процесу, виду дефекту. Метод діагностичного моніторингу повинен стати зручним тим, що об'єкт діагностики в цьому випадку має одномірний простір діагностичних ознак, а сам діагностичний параметр X інтегрально виражає вплив на технічний стан обладнання багатьох його дефектів і несправностей.

Аналіз досліджень і публікацій. При вирішенні задач забезпечення надійності і управління технічним станом промислового обладнання у режимі реального часу, завжди актуальним є формалізація процесів втрати працездатності та відновлення ресурсу. Вибір методів оцінки працездатності обладнання для вирішення задач системи моніторингу технічного стану розглянуто у дослідженнях [1, 5], де в першу чергу обґрунтовано потребу у розробці моделей надійності, що будуються на фізичній природі, динаміці деградаційних процесів, які дозволяють прогнозувати зміни стану обладнання, сприяють зменшенню експлуатаційних витрат на його утримання у ході виробничого використання.

Для цієї ситуації доцільно пропонується відома множина методів вирішення [1,5,6] кожної локальної задачі і, скориставшись результатами досліджень [5], є можливість вибрати метод оцінки працездатності об'єкта. В названих методах використовують різні діагностичні моделі (ДМ) (табл.1).

Таблиця 1

Класифікація діагностичних моделей, що пропонуються для сучасних систем технічної діагностики

Вид діагностичної моделі (ДМ)	Графічна ілюстрація структури діагностичної моделі (ДМ)
1. Одноканальна (ДМ)	
2. Багатоканальна, багатопараметрична з некорельованими діагностичними сигналами	
3. Багатоканальна, багатопараметрична з корельованими діагностичними сигналами	
4. Багатоканальна, багатопараметрична з технологіями «чорного ящика»	
5. Багатоканальна, багатопараметрична з множиною перехідних функцій, що корелюють вихідний сигнал	
6. Багатоканальна, багатопараметрична з одномірною перехідною функцією, що корелює вихідний сигнал	

Застосування названих діагностичних моделей технічно і організаційно складно, потребує високі затрати, через потребу розробки складних, багатопараметричних (через множину методів, що використовуються) систем технічної діагностики для кожного оригінального елемента технічної системи (обладнання) та відповідних деградаційних процесів їх спрацювання.

Постановка задачі. Розробка та уніфікація діагностичних моделей, в яких перехідна функція $h_{ji}(t)$ повинна утворити одномірну ознаку технічного стану (діагностична модель № 6) інваріантно до природи деградаційних процесів, що дозволить використання узагальнюючого параметра технічного стану, інваріантного до конструкції обладнання, деградаційних процесів, що забезпечить розпізнавання технічних станів механізмів обладнання у реальному часі для формування гнучких регламентів обслуговування, об'єм і зміст яких адекватний технічному стану механізму.

Викладення матеріалу та результати. Вимоги до ролі, призначення, специфіки перетворень діагностичного сигналу у діагностичній моделі. Згідно з аналізом всіх відомих в сучасній науці методів вирішення поставлених задач [1,6] в світовій практиці серед засобів і методів контролю технічного стану машинних агрегатів найбільш ефективними є метод контролю порушень передавальних функцій механізмів під дією дефектів виготовлення, монтажу та експлуатації, що розвиваються у часі. Передавальні функції визначаються характером перехідних процесів у структурі механізмів, що здійснюються в ході їх виробничого використання.

Для досягнення мети досліджень, тобто створення промислово придатних технічних систем діагностики, отримання діагностичної інформації, достатньої для впровадження маловитратних стратегій обслуговування обладнання «за станом», насамперед потрібно створення інформаційної і методичної бази систем моніторингу, необхідної для аналізу вихідних стаціонарних функціональних параметрів і динамічних реакцій машини на робочий процес, з метою визначення її технічного стану в мінімальному прикметниковому просторі.

Це можливо при використанні обґрунтовано точних передавальних функцій моделей діагностики інваріантних до конструкцію об'єкта експлуатації, природи деградаційного процесу, виду дефекту. Метод діагностичного моніторингу повинен стати зручним тим, що об'єкт діагностики в цьому випадку має одномірний простір діагностичних ознак, а сам діагностичний параметр X інтегрально виражає вплив на технічний стан обладнання багатьох його дефектів і несправностей, що відповідає діагностичній моделі №6.

У ході продуктивного використання технологічних машин, тобто в умовах їх справного функціонування, загальна перехідна функція їх механізмів знаходиться в межах допусків, але зазнає все більших флуктуацій за рахунок зміни і розузгодження передавальних функцій елементів механізмів, що не контролюються. В умовах експлуатації збурюючі впливи і динамічні характеристики механізму є параметрами, що не спостерігаються.

Швидкість втрати працездатності обладнання промислових виробництв обумовлена інтенсивністю процесів $g(l \dots n)$, що спричиняють накопичення пошкоджень, зношення деталей функціональних вузлів та робочих поверхонь обладнання.

Статистичне вивчення цих процесів, встановлення їх закономірностей, дозволяє отримати ймовірнісні моделі надійності і задовольняє потребу у організації ремонтно-відновлювального обслуговування на базі ймовірнісних оцінок експлуатаційних властивостей. Але це не стало достатньою умовою для мінімізації швидкості спрацювання і витрачання ресурсу обладнання при певних умовах його експлуатації. Досягнення цієї мети можливо лише при розкритті фізичних закономірностей процесів зносу та пошкодження обладнання. У цьому випадку швидкість витрачання ресурсу U при будь якій природі деградаційних процесів і відповідно [5]

$$\gamma = \frac{\partial U}{\partial t} = f(Z_1, Z_2, \dots, Z_n),$$

де Z – параметри, які характеризують вплив конструктивно-технологічних, монтажних, налагоджувальних дефектів, деградаційних процесів та умов експлуатації.

Всі машини структурно-подібних груп є комплексом різнорідних елементів, сполучених в механічні, гідравлічні, пневматичні, електричні, газодинамічні і комбіновані системи. Кожна машина функціонує і взаємодіє із зовнішнім середовищем, породжує безліч фізичних і хімічних процесів, які характеризуються вихідними параметрами. Вихідні параметри можна розділити на робочі (функціональні) і супутні (динамічні, шуми, стук, вібрації, коливання,

люфти і ін.). Вихідні параметри істотно залежать від стану структурних елементів і характеру їх взаємодії. З іншого боку вихідні параметри тісно корельовані з макроструктурою, станами енергетичного навантаження елементів машини і тому служать в ролі непрямих ознак для визначення її технічного стану без розбирання. Вибір вихідних параметрів і включення їх в групу діагностичних, виконується на основі їх відповідності достовірності, інформативності і інших критеріїв.

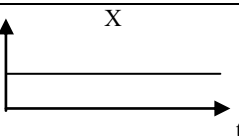
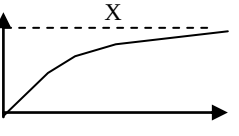
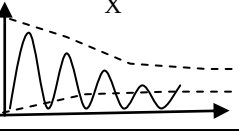
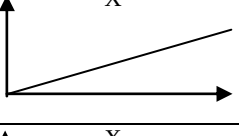
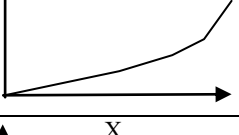
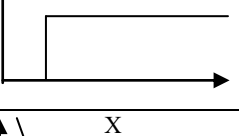
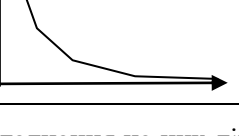
У процесі функціонування механізмів технологічного обладнання при переробці сировини енергія приводу перетворюється в роботу його виконавчих робочих органів. Всі деталі кінематичних і силових ланцюгів механізмів, через які передається і перетворюється енергія приводу знаходяться в режимі динамічної взаємодії. При цьому вважається, що в будь-якому режимі справного функціонування, взаємодія передавальних ланцюгів повинна спромогтися до динамічної рівноваги.

Для отримання інформації щодо впливу деградаційних процесів $g(1 \dots n)$, розглянемо характер протікання процесів, що приводять до зміни технічного стану обладнання (табл. 2).

Розвиток цих процесів вимагає певних енергетичних ресурсів, що обумовлює використання їх енергетичних параметрів у складі діагностичного моніторингу та умови їх інваріантності до різних конструктивних елементів технічних систем.

Таблиця 2

Перехідні процеси у поточних станах механізмів обладнання під впливом конструктивно-технологічних, монтажних, налагоджувальних дефектів, деградаційних процесів та умов експлуатації

Ланцюг механізму	Перехідний процес	Основний параметр технічного стану
Безінерційний		Статична деформація
Інерційний		Теплові деформації
Коливальний		Вібрації
Інтегруючий ідеальний		Знос
Інтегруючий інерційний		Розвиток тріщини втоми
Запізнюючий		Утворення наросту
Диференціюючий інерційний		Зміна шорсткості

При експлуатації механізмів обладнання на них діють різні види енергії (механічна, теплова, хімічна та ін.), але розвиток і активізація процесів інтенсивного спрацювання їх елементів настає коли рівень енергії перевершує деякий критичний. Основним наслідком дії різних

видів енергії є зношення поверхонь, зміна їх геометричної форми, порушення законів функціонування. Частково попередження настання критичних рівнів енергетичного навантаження і, як наслідок, попередження підйому інтенсивності спрацювання механізмів від дії механічних, теплових, хіміко-технологічних навантажень, досягається оперативним контролем функціональних параметрів: температури, тиску, вологості, складу хімічних інгредієнтів середовища, параметрів маслосистем і т.п. Сучасні регламенти процесів експлуатації не орієнтовані на контроль і попередження критичного рівня динамічного навантаження, що не запобігає інтенсивному спрацюванню механізмів.

Контроль енергетичного навантаження елементів механізмів обладнання є найбільш інформативним критерієм швидкості спрацювання їх ресурсу, і тому використання цього критерію як уніфікованого інваріантного засобу контролю процесів спрацювання

Відомо [5,6], що динамічна взаємодія елементів механізму породжує коливальні процеси (табл.2), а їх характеристики будуть корельовані з глибиною розвитку дефекту.

При цьому розвиток дефектів і деградаційних процесів впливає на параметри динамічної системи у вигляді зміни характеру взаємодії елементів, зміни функції примусової сили, передавальної функції механізму.

Збереження параметрів динамічної системи обладнання вимагає підвищення енергетичних витрат на підтримку динамічної рівноваги елементів механізму.

Енергетичні витрати на підтримку умови рівноваги істотно впливають на ККД механізму і технологічної машини загалом, і стають досить інформативним джерелом відомостей про технічний стан елементів механізму, наявність дефектів або розвиток деградаційних процесів.

Відомо [5], що динамічна взаємодія елементів механізму породжує коливальні процеси, а їх характеристики будуть корельовані з глибиною розвитку дефекту.

Під діагностичною реакцією елемента, який контролюється, мається на увазі відгук елемента виражений у виді коливального збудження, від дії $q_i(t)$. Отже об'єктивна діагностична інформація про технічний стан деталей і вузлів механізмів обладнання може бути знайдена в аналізі енергетики процесів їх взаємодії, так як в процесі перетворення енергії джерела в роботу генеруються змінні сили, які збуджують коливання окремих частин машини.

Якщо порівняти ці процеси за швидкістю зміни узагальнюючого параметру, як критерію оцінки процесів спрацювання механізмів, то найбільш інформативними у режимі реального часу є узагальнюючі параметри механізмів як коливальних систем.

З огляду на цей висновок, методи акустичної діагностики – [5, 6] є найбільш чутливі до дефектів функціонування пристроїв, забезпечуючи контроль їх технічного стану оперативно і без розбирання і багато дешевше альтернативних методів.

Метод вібродіагностичного моніторингу зручний тим, що об'єкт діагностики в цьому випадку має одномірний простір діагностичних ознак, а сам діагностичний параметр X інтегрально виражає вплив на технічний стан обладнання багатьох його дефектів і несправностей (відповідно умовам використання діагностичної моделі №6).

Діагностичний сигнал, при концепції безрозбірного контролю, є інтегрованим, тобто таким, що містить діагностичну інформацію про сукупність діагностичних реакцій елементів механізму у вигляді коливальних процесів різної природи. Під діагностичною реакцією елемента, який контролюється, мається на увазі відгук елемента виражений у вигляді коливань, що генеруються ним на вплив на нього чинників виготовлення, збирання, монтажу і експлуатації.

Отже об'єктивна діагностична інформація про технічний стан деталей і вузлів механізмів обладнання може бути знайдена в аналізі енергетики процесів їх взаємодії, так як в процесі перетворення енергії джерела в роботу генеруються змінні сили, які збуджують коливання окремих частин машини.

Для вивчення діагностичних реакцій взаємодії деталей і вузлів механізму необхідно їх описати за допомогою диференціальних (у часі) або алгебраїчних (в частотній області) рівнянь. Однак треба помітити, що реакціями, які контролюються методами безрозбірного контролю є тільки вихідні реакції кінцевих ланок, які є суперпозицією реакцій взаємодії структурних елементів механізму і можуть бути описані через інтеграл Дюамеля

$$X_j(t) = \sum_{j=1}^p x_{ji}(t) = \sum_{j=1}^p \int_0^{\infty} h_{ji}(\tau) q_i(t - \tau) d\tau,$$

де $q_i(t)$ – вплив на i -му вході; $h_{ji}(t)$ – імпульсна перехідна функція, $(t-\tau)$ – період оцінки впливу $q_i(t)$.

Реалізація такого методу апаратними засобами можлива, але вона пов'язана зі значними витратами і тому треба знаходити способи вирішення цієї задачі без збільшення експлуатаційних витрат. Для цього треба вивчити склад чинників (рівень змушуючих сил; пружно-інерційні характеристики елементів системи; дефекти виготовлення, збирання, експлуатації) і міру їх впливу на рівень динамічної реакції механізму.

У такому складі процеси спрацювання механізмів через рівень енергетичного навантаження їх деталей і динамічних реакцій взаємодії ще не вивчалися, але саме такий склад процесів спрацювання задовольняє інформаційну забезпеченість діагностичного моніторингу технічного стану.

Таким чином, динамічні реакції взаємодії елементів можна розглядати як джерело інформації про технічний стан елементом механізму. Вимірюючи параметри динамічних реакцій можна встановити залежність

$$T_i = F(R_i),$$

де T_i – параметр технічного стану; R_i – відповідна реакція взаємодії елементів механізму.

Отже ознака R посилюється або змінюється при появі або розвитку дефектів. Оскільки R – це силова характеристика елемента, який генерує коливання, а їх характеристики будуть корельовані з глибиною розвитку дефекту. Таким чином вихідні параметри діагностичної моделі повинні бути визначені через характеристики коливань, які збільшуються в зв'язку з розвитком дефекту.

На цих умовах забезпечується мінімальна сукупність статичних і динамічних параметрів, яка є інформаційною базою для формалізації методів побудови алгоритмів визначення технічного стану на основі прийнятої діагностичної моделі. У нашому випадку як початкову діагностичну модель краще прийняти модель динамічної взаємодії елементів механізму з допомогою якої працездатний або непрацездатний стан машини визначається значеннями вхідних, внутрішніх і вихідних параметрів.

Перехідна функція $h_{ji}(t)$ повинна утворити одномірну ознаку технічного стану інваріантно до природи деградаційних процесів. Найбільш перспективним методом діагностики є оцінка впливу $q_i(t)$ на рівень динамічної реакції механізму. У такому складі процеси спрацювання механізмів через рівень енергетичного навантаження їх деталей і динамічних реакцій взаємодії ще не вивчалися, але саме такий склад процесів спрацювання задовольняє інформаційну забезпеченість діагностичного моніторингу технічного стану.

Отже ознака R може бути встановлена на початку експлуатації машини і посилюється або змінюється при появі або розвитку дефектів і має циклічний характер, який є гармонізованим з основною частотою робочого процесу машини. Оскільки R – це силова характеристика елемента, який генерує коливання, то вона визначає енергетичні витрати джерела коливань, які збільшуються в зв'язку з розвитком дефекту.

Таким чином енергетичний показник коливальних збуджень у ході динамічної взаємодії елементів може стати уніфікованим, інваріантним (до виду деградаційного процесу, до виду конструкції об'єкта експлуатації) показником технічного стану, але залишається проблема ідентифікації виду дефекту, що забезпечить умову адекватності змісту ремонтного втручання для відновлення працездатності машини.

Характеристики коливань можна встановити, якщо зберегти відомі способи опису механічного об'єкта у часі або частотній області і представити механізм у вигляді динамічної системи з n мірами свободи:

$$M\ddot{x} + K\dot{x} + Cx = G,$$

де M , K , C – симетричні матриці ($n \times n$) коефіцієнтів інерції, демпфування і жорсткості, а x і G – n -мірні вектори координат і діючих сил.

При цьому передбачається, що динамічні реакції взаємодії елементів h_i що змінюються при появі дефекту g_i входять в рівняння в неявному вигляді. Цей висновок ускладнює визначення перехідної функції у контексті оцінки характеру кореляції h_i ($i = 1, 2, \dots, n$).

У такому випадку, якщо динамічну модель механічного об'єкта записати в операторному вигляді

$$X(t) = LG(t),$$

де $X(t)$ – вектор вихідних сигналів; $G(t)$ – вектор вхідних впливів і зберегти незмінними вхідні впливи, то ми будемо реєструвати зміни вихідних сигналів механізму, тобто передавальна функція механізму стає функцією двох аргументів $L[G(t)\Delta S(\omega)]$ і для оцінки технічного стану треба встановити значення аргументу і міри його впливу на оператор системи L .

Реакцію на вхідний вплив можна записати за допомогою системного оператора $X(t) = Ly(r)$. Динамічна реакція буде лінійною якщо

$$L(y_1 + y_2) = Ly_1 + Ly_2 \text{ і } L(\alpha y) = \alpha Ly.$$

У цьому випадку гармонічний вхідний сигнал, проходячи через лінійну систему, залишається незмінним за формою, і набуває лише іншої амплітуди і початкову фазу. У частотній області для лінійних систем вхідний вплив викликає реакцію на тій же частоті, а результат одночасного впливу декількох сил є суперпозицією відгуків на кожен з них. При цьому щодо енергетичних спектрів $S_x(\omega) = S_y(\omega)[H(j\omega)]^2$ передавальна функція. У разі корельованих впливів спектральна щільність потужності реакції на j -му виході має вигляд

$$S_{x_j}(\omega) = \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^p H_{j_k}(\omega) H_{j_l}(\omega) S_{q_k q_l}(\omega),$$

де $H(\omega)$ – комплексно-зв'язана функція, що може бути вивчена експериментально за допомогою спектральної щільності потужності коливань

$$S_i(\omega) = [H_i(\omega)]^2 S_{q_i}(\omega),$$

де H_i – імпульсна перехідна функція елемента, що характеризує відгук елемента на i -й одиничний вплив; $S_{q_i}(\omega)$ – спектр потужності i -го впливу; ω – кругова частота,

$$H_i = \frac{\omega_c^2}{1 - (\omega/\omega_c)^2 + j(\omega/\omega_c) \frac{1}{Q}},$$

де ω – частота i -го впливу (збудження); ω_c – власна частота i -го елемента $\sqrt{c/m}$; Q – добротність джерела коливань $\sqrt{cm/k}$; $S_{q_k q_l}$ – взаємний спектр K -го і l -го впливів.

Таким чином, кількісною мірою появи і зростання дефекту обладнання може бути рівень і темп зміни спектральної щільності i -ї ділянки енергетичного спектра діагностичного сигналу, що є передумовою вибору методу безрозбірної оцінювання технічного стану обладнання.

Складність частотного складу енергетичного спектра зумовлена складністю коливальних процесів, що генеруються деталями і вузлами механізму в процесі їх продуктивного використання. При аналізі енергетичного спектра передбачається, що зародження кожного дефекту, його розвиток виявляється у вигляді частотного компонента різної інтенсивності. Закономірність зміни інтенсивності характеризує характер і темп розвитку дефекту.

Цей метод забезпечує концепцію безрозбірної контролю з використанням інтегрованих показником технічного стану.

Висновки та напрямки подальших досліджень:

проведення дослідження і їх результати забезпечують теоретичне обґрунтування застосування і технічної реалізації спрощених алгоритмів діагностичної ідентифікації технічного стану на підставі використання перехідних функцій $h_{ji}(t)$ діагностичної моделі, які утворюють одинірну ознаку технічного стану інваріантна до природи деградаційних процесів перехідних функцій з можливістю розпізнавання дефектів;

уніфікована багатопараметрична перехідна функція забезпечує інваріантність перетворення діагностичного сигналу в одинірний інтегральний показник технічного стану на підставі оцінки коливального збудження машини від дії дефекту;

складність частотного складу енергетичного спектра зумовлена складністю коливальних процесів, що генеруються деталями і вузлами механізму в процесі їх продуктивного використання. При аналізі енергетичного спектра передбачається, що зародження кожного дефекту, його розвиток виявляється у вигляді частотного компонента різної інтенсивності. Закономірність зміни інтенсивності характеризує характер і темп розвитку дефекту;

кількісною мірою появи і зростання дефекту обладнання може бути рівень і темп зміни спектральної щільності i -ї ділянки енергетичного спектра діагностичного сигналу, що є передумовою вибору методу безрозбірної оцінювання технічного стану обладнання.

Список літератури

1. Тараканов К.В., Овчаров Л.А., Тыришкин А.Н. Аналитические методы исследования систем. - М.: Сов. Радио, 1974. - 240 с.
2. Дедков В.К., Северцев Н.А. Основные вопросы эксплуатации сложных систем. -М.: Высшая школа, 1976. - 406 с.
3. Калиткин Н.Н. Численные методы. - М.: Наука, 1978. - 512 с.
4. Надежность и долговечность машин. / Под ред. Костецкого Б.И. К.: Техника, 1975. - 273 с.
5. Генкин М.Д., Соловьева А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. - М.: Машиностроение, 1987 -288 с.
6. Кіяновський М.В. Діагностичне забезпечення технічного обслуговування та ремонту (ТОіР) гірничо-металургійного обладнання. Навчальний посібник. Кривий ріг. Видавництво ДВНЗ КНУ «Мінерал». 2016. С. 364.
7. Ченцов Н.А. Модели экспертно-диагностической системы технического обслуживания оборудования / Н.А.Ченцов, Г.В.Сопилкин, Е.В.Ошовская, //Прогрессивные технологии и системы машиностроения “Международный сб. научных трудов” Донецк, ДонГТУ, 1995г. Вып.№2, С.73 -82.
8. Биргер И.А. Техническая диагностика -М.: Машиностроение, 1978.-240 с.
9. Вибрация в технике (Справочник): В 6 т. / под ред. В.В.Клюева. М.: Машиностроение, 1978-1981. Т.5,6: Измерение вибраций. - 481 с.
10. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов. / Балицкий Ф.Я., Иванова М.А., Соколова А.Г., Хомяков Е.И. – М.:Машиностроение, 1984. -120 с.

УДК 78.016:331.45

М. В. ДОМНІЧЕВ, О. В. НЕСТЕРЕНКО, кандидати техн.наук, доценти,
О. Ю. БЛИЗНЮКОВА, канд. техн.наук, Криворізький національний університет
Я. В. МАЛЕНКО, канд.біол.наук, Криворізький державний педагогічний університет

ЕЛЕМЕНТИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ОСВІТИ

Мета. Метою даної роботи є проведення аналізу існуючих засобів і способів навчання, визначення основних небезпек та вибір моделей викладання матеріалу.

Методи дослідження. Теоретичний метод дослідження на основі обробки і інтерпретації статистики та порівняння ефективності запропонованих заходів.

Наукова новизна. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Її метою є прикладне дослідження захисту людей від факторів вибухів.

Практична значимість. Запропоновано використання нових інструментів контролю якості освіти з метою покращення викладання прикладних дисциплін.

Результати. Вплив небезпечних факторів вибуху обумовлює різке погіршення стану здоров'я, втрату працездатності та несе загрозу життю людини. Особливо це стосується дітей і молоді.

Значну роль у зменшенні числа загиблих і поранених відіграє питання інформування населення про небезпеки боєприпасів і вибухових пристроїв. Так само, навчання різних груп населення потребує використання різних методів, способів і засобів навчання.

Використання макетів та засобів інтерактивного навчання значно підвищує ефективність засвоєння матеріалів. Використання таких методів і засобів однаково ефективно працює з будь-якою аудиторією незалежно від віку, статі та рівня освіти.

Для збільшення ефективності навчання, пропонується використовувати візуальні інструменти, які можуть налякати – фотографії та відео фрагменти наслідків вибухів. В тому числі з фотографіями і відео постраждалих з різними травмами а також загиблих. Демонстрація наслідків вибуху, призводить до збільшення уваги слухача. В свою чергу, перегляд фото і відеоматеріалів з тяжкими пораненнями є шоком для слухача. Ми вважаємо, що в стані виведення слухачів з психологічної рівноваги, ефективність навчання зростає.

Для контролю ефективності навчання пропонується проводити оцінку якості знань за допомогою опитувань, тестувань та виконання завдань. Опитування дасть оперативну інформацію щодо ефективності навчання і дозволить керувати нею.

Все це дозволить нам створити універсальну модульну навчальну систему, що може гнучко змінюватися в залежності від аудиторії, часу навчання та рівня навченості, який необхідно досягти.

Ключові слова: вибух, шок, навчання, візуалізація, увага, контроль.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-124-130

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. В роботі розглядаються варіанти роботи зі студентською аудиторією спрямовані на збільшення ефективності засвоєння інформації слухачами з питань забезпечення власної та колективної безпеки. Ця робота передбачає використання як класичних методів і засобів у різних комбінаціях, в тому числі і у поєднанні з новими способами і засобами навчання. Поширення та використання електронних засобів навчання у поєднанні з методами оперативного контролю якості засвоєння знань, вмій і навичок дозволяє гнучко та ефективно вирішувати поставлені завдання.

Аналіз досліджень і публікацій. В силу перенасичення інформаційного поля, в якому сьогодні знаходяться здобувачі освіти та часто через відсутність у них розуміння необхідності вивчення та засвоєння матеріалів питань безпеки життєдіяльності, охорони праці та цивільної безпеки, студенти сприймають інформацію, яку їм намагаються донести як щось малоцікаве і непотрібне в їхній професійній діяльності та повсякденному житті.

Разом з тим, неповні знання (або їх відсутність) з вищевказаних дисциплін можуть стати причиною створення небезпечних ситуацій, які будуть призводити до загроз життю і здоров'ю як самої особи так і його оточуючих не лише під час здійснення професійної діяльності так і в побуті.

Така ситуація сприйняття інформації і розстановки пріоритетів навчання сформувалася не одномоментно. На нашу думку, вона є, наслідком свідомої роботи як закордонних так і вітчизняних сил, діяльність спрямована на підлив обороноздатності нашої держави та недопущення її нормального розвитку. В тому числі економічного та соціального.

Для подолання таких негативних тенденцій в освітньому процесі, особливо в сфері навчання населення питанням пов'язаним з безпекою на виробництві та в побуті, нам необхідно визначити шляхи інтенсифікації освітнього процесу та покращення механізмів викладання та засвоєння інформації.

Для полегшення процесу навчання та для його інтенсифікації, можна звернутись до використання такого інструменту як «візуалізація» процесу передачі знань [1], в тому числі і до використання окремих елементів «візуалізації» тих навчальних дисциплін, що необхідні для збереження життя і здоров'я людини, як під час трудового процесу чи надзвичайних ситуацій так і в повсякденному житті [2].

Постановка задачі. Запропонувати варіанти ефективних засобів і способів навчання студентів з урахуванням особливостей викладання питань безпеки життєдіяльності, охорони праці, цивільної безпеки, а також суміжних та пов'язаних з ними дисциплін за допомогою використання засобів візуалізації та методів оперативного контролю якості знань.

Викладення матеріалу та результати. Як відомо, засвоєння знань, в залежності від способу їх отримання відрізняється досить сильно (рис.1). Так, в разі прослуховування інформації (лекційні заняття), ступінь засвоєння слухачем інформації коливається в межах 5%, в той же час відсоток засвоєних знань при «зоровому і слуховому сприйнятті» а також у випадку «демонстрацій» в рази вище (відповідно 20% і 30%).

Тому ми вважаємо важливим інструментом підвищення ступеню засвоєння знань засоби «візуалізації» навчання. А також використання «демонстрацій» навчання.



Рис. 1. Піраміда навчання Дейла

цій» за темою заняття, що проводиться із використанням в тому числі і муляжів та макетів.

Питання збільшення ефективності освітнього процесу та ясного засвоєння знань і необхідні для цього інструменти, способи і засоби розглядалися нами в попередніх наукових роботах [3], а також в наукових роботах наших шановних колег [4-6].

Як відомо [7-8], використання наочного приладдя та засобів мультимедійної освіти, останнім часом знайшло широке поширення в усіх ланках освітнього процесу для більш якісної передачі знань, закріплення необхідних навичок і вмій. Тому, на нашу думку, цілком виправдано та доцільно рекомендувати поєднувати під час навчального процесу можливості, що надають мультимедійні засоби навчання (слайди, відео фрагменти, анімація) та засоби практичного засвоєння матеріалу (прилади, макети, моделі тощо).

Якщо розглядати питання донесення та засвоєння інформації щодо заходів забезпечення безпеки людини та її захисту в разі можливого контакту з вибухонебезпечними предметами [3, 9-10], то доцільним, на нашу думку, буде використання макетів масово-габаритних основних боєприпасів та вибухових пристроїв (за можливості) у комбінації з використанням засобів мультимедіа (малюнки, фото, відео, анімація, графіки у вигляді презентації чи кліпу).

На жаль, в силу певних причин, дуже часто навчальні заклади (за винятком деяких спеціалізованих) не мають в наявності необхідної матеріально-технічної бази для викладання питань вибухобезпеки.

Так, макети боєприпасів та вибухових пристроїв не знаходяться в широкому продажу, а їхній обіг, придбання, зберігання та використання почасти знаходиться в «сірій зоні» через відсутність Закону України «Про зброю» і регулювання цих питань підзаконними нормативно-правовими документами.

На нашу думку, така ситуація не є нормальною для воюючої держави і потребує як скорішого виправлення. Але рекомендації щодо наповненості курсів конкретними видами макетів боєприпасів та вибухових пристроїв, буде розглянуто в подальших роботах. Так само в наступних роботах, буде надано рекомендації щодо шляхів придбання таких макетів та особливостей умов їхнього зберігання та використання.

Виходячи з вищесказаного, ми вважаємо, що ще більшого значення для проведення навчання, набувають питання використання засобів «візуалізації», тобто використання в освітньому процесі малюнків, фото, відео, анімації, графіки тощо.

Навчання наших громадян основним питанням вибухобезпеки, є гостро актуальним для воюючої держави (рис. 2), яка перебуває у стані конфлікту низької інтенсивності з більш сильним супротивником та проблемами в керівництві як силовими структурами так і в цивільній управлінській ланці. На превеликий жаль, на нашу думку, значна частина нашого керівного апарату і населення відрізняється загальним низьким інтелектуальним і морально-вольовим рівнем, що в свою чергу збільшує рівень загроз від дій ворога, в тому числі від загроз використання вибухонебезпечних пристроїв в терористичних цілях для залякування населення та керівництва та розгойдування соціально-політичної ситуації в державі.



Рис. 2. Статистика втрат цивільного населення від вибухів

Для компенсації цього, та з метою збільшення рівня захищеності населення нашої держави від надзвичайних ситуацій, що можуть бути пов'язані з вибухонебезпечними предметами та пристроями, доцільно буде провести навчання азам безпечної поведінки в умовах вибу-

хобезпеки якомога більше населення нашої держави.

В першу чергу, на нашу думку, доцільним буде проводити навчання саме молодшої аудиторії, а саме школярів та студентів, як осіб які потенційно більш схильні до помилок в поведінці з потенційно небезпечними предметами. Також, така аудиторія, на нашу думку, більш відкрита до засвоєння нової інформації і не має комплексу «я все це знаю», «мені воно не потрібно», «зі мною такого ніколи не станеться».

Завдання запропонованого методу навчання - формування у слухачів стійких рефлексів щодо дій у разі появи загрози від вибухонебезпечного предмету того чи іншого типу.

Ми вважаємо, що доцільним буде формування саме рефлексів а не спеціальних вмінь та навичок. Наше завдання (при роботі з непідготовленою аудиторією) навчити їх відповідально ставитися до власної безпеки та безпеки оточуючих а не робити з них фахівців з «гуманітарного розмінування» або «саперної справи».

На нашу думку [3], цьому процесу може сприяти використання в якості візуальних компонентів навчальної програми елементів так званого «шок-контенту», в даному випадку, це будуть фото і відео матеріалів, які демонструватимуть наслідки близького контакту людини з вибухонебезпечними предметами різного типу (рис.3).

Використання таких матеріалів, на нашу думку, потенційно здатне сприяти не лише приверненню й активізації уваги слухачів на питаннях можливих наслідків вибуху, а і створенню певних елементів рефлексій, котрі будуть зберігатися протягом тривалого періоду часу. Звісно, це не є стовідсотковою гарантією від необдуманих і небезпечних для себе самого і оточуючих дій людини в разі контактів з вибухонебезпечними предметами, але, на нашу думку, це дозволить зменшити кількість жертв серед цивільного населення.

Використання наочних попереджувальних матеріалів загального характеру, з наслідками вибухів (рис.4) також допускається, але бажано використовувати їх в комплексі з матеріалами «шок-контенту», оскільки уява людини відмовляється боятися схематичних малюнків (зон ураження, наслідків польоту уламків, безпечних відстаней тощо). Тому аби загострити увагу слухачів, після використання схематичних навчальних матеріалів, буде доцільно або повернутися до матеріалів «шок-контенту» або вставити їх в презентацію після звичайних матеріалів.



Рис. 3. Приклад «шок-контенту» - рука після вибуху детонатору



Рис. 4. Попереджувальний плакат з вибухобезпеки

Але конкретні рекомендації, щодо оптимального алгоритму створення презентаційних матеріалів, будуть нами надані в наступних наукових роботах.

В той же час використання «шок-контенту», на нашу думку зможе забезпечити достатній рівень співпереживань у глядачів, оскільки в самій природі людської психіки, закладено механізми співчуття особинам свого виду, що знаходяться в небезпеці або отримали ушкодження.

Так само, демонстрація «шок-контенту», дозволить вивести слухачів зі стану психологічної рівноваги, що на нашу думку, дозволить більш ефективно впливати на них, досягаючи задекларованих цілей – формування у слухачів відповідної реакції на вибухонебезпечні предмети.

В той же час, на нашу думку, використання лише наочних попереджувальних матеріалів загального характеру, не матиме достатнього впливу на емоційний стан слухачів.

А що гірше, часом форми і методи візуалізації такої важливої інформації перенасичені непотрібними і навіть зайвими деталями, що зменшує ефективність їхнього використання.

Дуже часто автори таких матеріалів не дуже чітко розуміють, що саме вони створюють, в наслідок чого у нас з'являється перенасичений інформацією гібрид статистичної довідки і попереджувального плакату.

Тому, коли ми будемо використовувати засоби «візуалізації» навчального процесу, доцільно буде розділити візуальний контент спрямований на привернення уваги і довідкову інформацію. В залежності від аудиторії і завдання курсу, можна буде комбінувати наповнення навчальної програми тими чи іншими складовими. Та як ми зазначили вище, використовувати навчальні матеріали таким чином, аби максимально вплинути на слухача та привернути його увагу.

Питання обмеження ступеню натуралістичності матеріалів, що будуть використовуватися при навчанні, в залежності від вікової категорії слухачів вимагає деталізації і буде розглянуто в наступних роботах, як і визначення порівняльної ефективності засвоєння матеріалу слухачами в залежності від використання інструментів «шок-контенту» перед початком заняття чи в його кінці.

Обидва варіанти мають як певні переваги так і недоліки, що потребують конкретизації в подальших дослідженнях з визначенням оптимального режиму використання таких матеріалів та ступеню насиченості ними навчальної програми в залежності від конкретних умов (інтенсивність навчального курсу, вік слухачів, рівень попередньої професійної та/або спеціальної підготовки).

В даній роботі, ми пропонуємо також і варіант оперативного управління освітнім процесом, що буде досягатися за допомогою використання під час навчання в тому числі і певних елементів статистики.

Метою такого оперативного управління, буде гнучке коригування матеріалів курсу в залежності від багатьох умов (тривалість навчання, рівень аудиторії, бажані результати навчання тощо).

В попередніх роботах [11], ми вже використовували деякі елементи статистичних досліджень, які показали прийнятний рівень ефективності для досягнення поставлених завдань.

Тому на нашу думку, буде раціонально продовжити практику анкетування слухачів, після проведення занять з метою не лише отримання зворотного зв'язку, а і для визначення ефективності використаної моделі подачі інформації та доцільності наповнення курсу тими чи іншими елементами в залежності від конкретних умов.

Так, з метою виявлення ефективності використання запропонованого комбінованого методу навчання, нещодавно було проведено анкетування (опитування) слухачів після прослуховування ними лекції «Вибухобезпека і вибухозахист».

Лекційне заняття проводилося з використанням не лише наочного приладдя (деактивовані макети деяких боєприпасів) а і з використанням мультимедійних засобів візуалізації – презентація з використанням фотоматеріалів, схем та малюнків, включно з фотографіями наслідків підриву людей на різних боєприпасах.

Після завершення заняття з вибухобезпеки та ознайомлення слухачів з матеріальною частиною лекційного матеріалу (макетами), було проведено анкетування слухачів, для з'ясування якості засвоєння інформації для роботи з наступними групами та визначення ступеню впливу матеріалів (в тому числі і візуальних зразків «шок-контенту») на слухачів та їхніх психологічних реакцій.

Результати, отримані під час анонімного анкетування слухачів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати опитування слухачів

Питання в анкеті	Так	Ні	Не знаю
Стать	13 хлопців та 15 дівчат		
Достатність наявних знань	16	5	7
Лекцію необхідно скоротити	16	4	8
Лекцію необхідно розширити	12	8	8
Чи вплинув «шок-контент»	21	7	-
Чи треба вилучити «шок-контент»	10	8	10
Чи було заняття корисним	26	-	2

Як ми бачимо з таблиці, використання під час доповіді засобів візуалізації, а саме елементів «шок-контенту» мало вплив на 75% слухачів і 93% опитаних вважають заняття з основ вибухобезпеки, яке було прослухано корисним.

В той же час, за вилучення продемонстрованого «шок-контенту» з матеріалів візуалізації виступили лише 36% респондентів, що на нашу думку, свідчить про необхідність та доцільність подальшого використання подібних натурних фото під час навчання.

Питання «розширення» або навпаки «скорочення» обсягів навчального матеріалу показує суперечливі цифри, які треба буде уточнювати в подальших дослідженнях, задля більш точної інтерпретації та визначення оптимального таймінгу і наповненості як візуальним так і вербальними інформаційними компонентами програми занять для різних аудиторій слухачів.

Звичайно, для різних аудиторій такі відсотки будуть відрізнятися. В своїй подальшій роботі, ми хочемо визначити, описати та зафіксувати типові реакції аудиторій в залежності від віку, статі, рівня професійної підготовки та інших змінних.

В свою чергу, це дозволить нам створити «модульну» навчальну програму, яка враховуючи особливості аудиторії буде максимально повно доносити до слухачів інформацію, яка буде засвоюватися з найбільшою ефективністю.

В подальших роботах, ми пропонуємо розглянути також питання порівняльної ефективності використання інструментів «шок-контенту» на початку заняття, під час занять та в кінці заняття а також порівняти ефективність проведення заняття з його використанням та без нього та перевірити ефективність засвоєння знань слухачами, що представляють різні аудиторії.

Для цього необхідно буде розробити, випробувати та затвердити для використання різні за наповненням, засобами візуалізації, презентації та розбити групу слухачів (приблизно рівних за рівнем освіти, віком, досвідом тощо) на декілька контрольних груп та після проведення заняття з використанням різних презентацій, провести анкетування (або тестування/опитування) не лише одразу після проведення заняття, а і через певний проміжок часу (не менше двох тижнів).

На нашу думку, порівнявши та проаналізувавши отримані результати, ми зможемо, з високим ступенем ймовірності, визначити найбільш оптимальний алгоритм проведення занять для різних категорій населення і шляхи, способи і засоби донесення слухачам необхідної інформації, засвоєння якої критично необхідно для уникнення можливих смертельних небезпек в разі можливих контактів з вибухонебезпечними предметами.

Висновки та напрямок подальших досліджень:

визначено необхідність пошуку, розробки та впровадження нових способів і засобів навчання з предметів від яких може залежати життя і здоров'я людей. В тому числі і в наслідок можливих контактів громадян з вибухонебезпечними предметами;

окреслено та розглянуто використання деяких способів і засобів, що на нашу думку, дозволять інтенсифікувати навчальний процес та покращити рівень засвоєння знань слухачами;

розглянуто можливість використання в навчальному процесі засобів і способів стимуляції уваги слухачів за допомогою інструментів візуалізації навчального процесу та варіанти оперативного контролю якості засвоєння знань за допомогою використання елементів статистики;

окреслено напрямки подальших досліджень порівняльної ефективності запропонованих способів і засобів навчання в залежності від багатьох змінних факторів.

Список літератури

1. **Озерян О.Л.** Різні види візуалізації навчальних матеріалів. Навчальний посібник –К.: Національна академія педагогічних наук України. Університет менеджменту освіти, 2014. –39с.
2. **Домнічев М.В.** Вибухонебезпечні предмети, види, вигляд та основи безпечного поводження з ними. Навчальна презентація –Кривий Ріг, : Криворізький національний університет, 2015. –26с.
3. **Домнічев М.В.** Шляхи привернення уваги студентів. Практичні рекомендації. **М.В. Домнічев, О.В. Нестеренко, О.Ю. Близнюкова.** // SCIENCE, SOCIETY, EDUCATION: TOPICAL ISSUES AND DEVELOPMENT PROSPECTS Abstracts of V International Scientific and Practical Conference Kharkiv, Ukraine 2020. – С. 400-405.
4. Шляхи підвищення мотивації студентів для покращення якості навчання. Сайт ТОВ «На Урок» [Електронне джерело] <https://naurok.com.ua/shlyahi-pidvischennya-motivaci-studentiv-dlya-pokraschennya-yakosti-navchannya-82067.html>
5. **Слободянюк Т.Б.** Інтенсифікація навчального процесу у вищій школі. Сайт PSYH.KIEV.UA -- Вісник психології і педагогіки [Електронне джерело] https://www.psyh.kiev.ua/%D0%86%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%B8%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F_%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D1%87%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%83_%D1%83_%D0%B2%D0%B8%D1%89%D1%96%D0%B9_%D1%88%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D1%96
6. **О.С. Пшенична.** Інтенсифікація навчального процесу у вищій школі на основі використання інформаційних технологій. Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах [Електронне джерело] file:///C:/Users/User/AppData/Local/Temp/Pfto_2014_36_85.pdf
7. **К.Л. Багрий.** Наочність у викладанні та її значення в навчальному процесі // Проблеми освіти та методика викладання у вищій школі. Випуск I (61), Чернівці 2016. – С. 260-268.
8. Мультимедійні засоби навчання як вирішальний фактор ефективності навчального процесу. Сайт ІКТ та ТЗН [Електронне джерело] <https://sites.google.com/site/ikttatzne/a-2>
9. **М.В. Домнічев.** Сучасні проблеми викладання вибухобезпеки. **Домнічев М.В., Нестеренко О.В., Білаш В. В.** // Соціально-гуманітарні науки та сучасні виклики. Матеріали II всеукраїнської наукової конференції. – Дніпропетровськ. : ДНУ імені Олеся Гончара, 2017. – С. 32-34.

10. **М.В. Домнічев.** Вибухонебезпечні предмети сучасності, особливості навчання населення. **Домнічев М.В., Нестеренко О.В.** // Журнал «УкрНДІПБ» «Актуальні проблеми моделювання ризиків і загроз виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури» Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції. – Київ, 2016. – С. 162-172.

11. **М.В. Домнічев.** Актуальність самооборони для молоді. Використання елементів статистичного дослідження. **Домнічев М.В., Макарук Л.О.** // «ЕКОЛОГІЯ ЗДОРОВ'Я». Збірник матеріалів регіональної науково-практичної конференції Автотранспортного коледжу ДВНЗ «КНУ» – Кривий Ріг. : 2018. – С 46-48.

УДК621.9.04: 622.012

В.І. КЛЯЦЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., Л.А. БУГАЙ, ст. викл.
Криворізький національний університет

ВПЛИВ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ПОЛІРУВАННЯ НА СТРУКТУРУ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ЗІ СКЛАДНИМ ПРОФІЛЕМ

Мета. Метою даної роботи є дослідження магнітно-абразивного полірування на структуру приповерхневого шару деталей зі складним профілем.

Методи дослідження. На шахтах України разом з класичними вітчизняними конструкціями пневматичних переносних і телескопних перфораторів, масово купуються і впроваджуються в гірничодобувну галузь переносні і телескопні перфоратори моделей YT28, YT24, YT27, YSP45 (Китай). Ці моделі розроблені на давно відомих і традиційних для перфораторів принципах, у яких залежний поворот бурової штанги здійснюється за допомогою храпового механізму і пари гелікоїда. Ефективність роботи переносних і телескопних пневматичних перфораторів визначається конструктивними їх параметрами ударно-поворотного механізму, який є одним з основних вузлів перфораторів і визначає важливі його показники: величину енергії удару, швидкість обертання бура, момент, що крутить. Часті поломки і знос цих деталей, знижують технологічні показники переносних і телескопних пневматичних перфораторів. Були проведені металографічні дослідження структур приповерхневих шарів деталей зі складним профілем після магнітно-абразивного полірування (МАП). Експериментальні дослідження проводились на зразках деталей бурових перфораторів. Магнітно-абразивна обробка проводилась на універсальному токарному верстаті. Дослідження основані на виявленні впливу режимів обробки МАП на структурний аналіз приповерхневого шару деталей зі складним робочим профілем.

Наукова новизна. У результаті проведених досліджень були отримані дані про хімічний склад матеріалів зразків деталей зі складним профілем та їх металографією. Виявлені покращенні структурні зміни в приповерхньому шарі зразків деталей та їх параметрів твердості.

Практичне значення. Проведені дослідження дозволили виявити покращенні структурні зміни в приповерхневому шарі деталей шляхом підбору режимів різання МАП та фераабразивного порошку.

Результати. Встановлено, що після МАП у деталей зі складним робочим профілями, структурний аналіз приповерхневого шару дозволив покращити макро та мікроструктуру.

Ключові слова. Металографічне дослідження, магнітно-абразивне полірування, поверхневий шар деталі.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-130-133

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Гірничодобувне обладнання працює дуже у важких умовах, які призводять до раптовим зупинкам процесів буріння гірничих порід. На шахтах України разом з класичними вітчизняними конструкціями пневматичних переносних і телескопних перфораторів також впроваджуються в гірничодобувну галузь китайські пневматичні перфоратори моделей YT28, YT24, YT27, YSP45. За даними технічної документації по переносним пневматичним перфораторам [13] вказано, що найчастіше виходять із ладу деталі повітряним розподільно-ударним та поворотним механізмами. В роботі [12] описані структурні дослідження деталі «Гвинта поворотного», що входить до складу вузла поворотного механізму китайського пневматичного перфоратора моделі YT28. Працездатність цієї деталі в sprzęженні з іншими деталями вузла поворотного механізму, залежить від багатьох факторів, у том числі і від технологічних, а саме: геометричної точності поверхонь, шорсткості робочих поверхонь та властивостей поверхневого шару[14]. Ці вимоги до шорсткості, точності розмірів та форм зі складними профілями гвинтових робочих поверхонь та властивостей поверхневих шарів прецизійних деталей перфораторів забезпечуються на кінцевих операціях. Тому оптимізація технологічного методу фінішної обробки, який забезпечить вимоги до

шорсткості, точності розмірів та форм зі складними профілями гвинтових робочих поверхонь та властивостей поверхневих шарів прецизійних деталей перфраторів, має важливе практичне значення і є актуальним.

Аналіз досліджень і публікацій. Технологічні вимоги, які застосовуються до фінішної обробки незалежно від технологічного методу обробки, точності розмірів, форм поверхонь, шорсткості та властивостям поверхневих шарів, є своєчасним відображенням процесів, що відбувалися при контакті інструмент та заготовка. Однак, формоутворення поверхонь складного профілю для фінішної абразивної обробки потребують виготовлення дорогого за вартістю спеціального інструменту, у яких профіль ріжучих лез повністю повинен відповідати профілю поверхонь деталі що обробляються. В результаті на окремих ділянках поверхонь, що обробляються виникають геометричні погіршення форми та різні величини параметрів шорсткості, що призводить до зниження показників якості та потребують доопрацювання. Використання гнучких інструментів, ріжучий контур яких формується в процесі обробки під дією магнітного поля, та розробці нових технологій, які дозволяють обробляти матеріали з високими механічними властивостями та без використання великих динамічних зусиль. До таких технологій відноситься магнітно-абразивна обробка (МАО), яка забезпечить отримання шорсткості $Ra = 0,1 \dots 0,4$ мкм. Магнітно-абразивна обробка сприяє отриманню високої якості поверхні та структури приповерхневого шару за рахунок невисокої температури в зоні різання. Формування ріжучого контуру, що складається з частинок ферабразивного порошку при магнітно-абразивній обробці відбувається під дією магнітного поля. Дослідженням впливу магнітного поля на властивості матеріалів та структури їх приповерхневих шарів, були присвячені роботи вітчизняних та закордонних вчених [1, 2, 5-7, 14, 15]. Магнітно-абразивну обробку використовують на фінішних операціях виготовлення відповідальних деталей та ріжучих інструментів, для остаточного формування експлуатаційних властивостей їх поверхонь. В роботах [1, 2, 7, 14, 15] описані результати досліджень з виявлення впливу технологічних методів магнітно-абразивної обробки на експлуатаційні характеристики деталей з циліндричними, конічними, плоскими робочими поверхнями. Виявлені зміни в кристалічних структурах, хімічних складах при поверхневих шарах матеріалів деталей [3, 4, 6, 8-11]. Встановлено, що перераховані зміни призводять до підвищення твердості, напружений стан, до зниження коефіцієнта тертя та підвищення працездатності та зносостійкості деталей машин. На практиці реалізовані тільки схеми магнітно-абразивної обробки по обробці деталей з плоскими поверхнями та циліндричними. Не вирішена задача фінішної обробки в магнітному полі гвинтових та просторово - складних поверхонь деталей [7, 12].

Постановка задачі. Провести магнітно-абразивне полірування поверхонь деталей зі складним робочим профілем. Дослідити макроструктуру та мікроструктуру поверхонь деталей зі складним робочим профілем після магнітно-абразивного полірування.

Викладення матеріалу і результати. В якості об'єкта для досліджень вибрана деталь «Гвинт поворотний» зі шліцьовими гвинтовими канавками, профіль яких вказаний на рис. 1.

Деталь виготовлена зі сталі легованої 20Х. Магнітно-абразивне полірування деталі виконувалось на металорізальному верстаті моделі 16К20. Для магнітно-абразивного полірування деталі був виготовлений спеціальний пристрій з постійними індукторами. Призначені режими обробки при МАП: швидкість обертання деталі , 5м/с; робочий зазор між магнітними індукторами та деталлю – 1мм; абразивний порошок Fe-SiC з зернистістю ,120/80; ЗОР – олеїнова кислота; магнітна індукція 0.8Тл.; час обробки – 45хв.

Дослідження проводились на деталях двох зразків за номерами №1 та №2. Заміри твердості металу на зразках здійснювали на трьох шліцах вибірково в дванадцятьох точках. Отримані результати занесені до таблиці 1.

Результати досліджень виявили: мікроструктура металу на головках та бокових поверхнях шліців має структуру відпущеного мартенситу, мілких глобулярних карбідів рівномірно розпо-

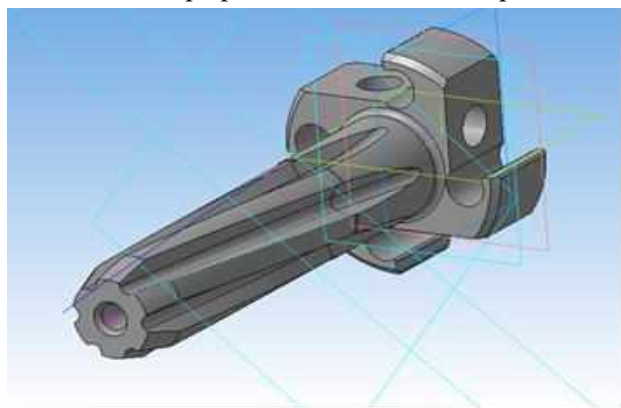


Рис. 1. Деталь «Гвинт поворотний»

ділених по перерізу, а також крупних карбідів у вигляді розірваної сітки, яка оцінена 4, 5 балами за ДСТУ 3953-200 (ГОСТ 5950-2000) «Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали»; твердість металу, яка заміряна на шліцах деталі представлена в табл. 1.

Таблиця 1
Значення твердості трьох шліців на деталях
двох зразків за номерами №1 та №2

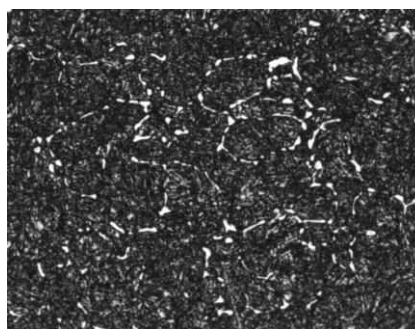
№ проби	№ шліці (умовне маркування)	Значення твердості, HRC
1	1	60, 64, 59, 59
	2	61, 61, 58, 56
	3	62, 57, 62, 62
2	1	60, 57, 60, 58
	2	58, 58, 58, 52
	3	58, 61, 61, 56

оцінена 4, 5 балами ДСТУ 3953-2000 (ГОСТ 5950-2000) «Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали» (рис. 3).



x3

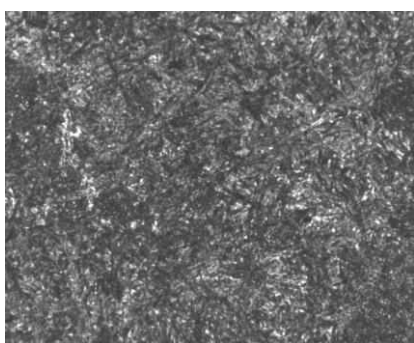
Рис. 2. Макроструктура металу деталі проби №1



x500

Рис. 3. Мікроструктура металу на поверхні деталі проби №1 до глибини $\approx 0,70$ мм

Дослідження виявили до глибини $\approx 1,20$ мм незначні включення мілких глобулярних карбідів, які рівномірно розподілені по перетину шліців (рис. 4). В перехідній зоні структура металу складається з відпущеного мартенситу та часточок бейніту (рис. 5).



x500

Рис. 4. Мікроструктура металу деталі проби №1 до глибини $\approx 1,20$ мм



x500

Рис. 5. Мікроструктура металу в перехідній зоні деталі проби №1

Із приведених результатів досліджень зразків шліцьових поверхонь магнітно-абразивне полірування (МАП) змінило структуру металу, твердість та внутрішні напруження приповерхневих шарів. Відносно малий тиск порошку-інструменту на оброблюємою поверхню та незначний нагрів деталі під час МАП сприяло формуванню поверхневих шарів з мінімальною кількістю дефектів структур.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Застосування в технологічний процес при виготовленні деталей операції магнітно-абразивне полірування, як доповнення до операції шліфування призводить до підвищення зносостійкості поверхонь деталей. Вибір нових режимів різання та умов МАП потребують продовження досліджень.

Список літератури

1. Барон, Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработки изделий и режущих инструментов Л.: Машиностроение. -1986. -172 с.
2. Хомич, Н.С. Магнитно-абразивная обработка изделий: монография / Н.С.Хомич. – Мн.: БНТУ, 2006. – 218с.
3. Болховитинов Н. Б. Атлас макро и микроструктур металлов и сплавов. /Болховитинова Е.Н. - М.: Машиностроение..1964. 162с.
4. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1986 – 544с.
5. Сулима А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин – М.: Машиностроение. 1988. - 240 с.
6. Мешков Ю.Я. Сравнительный анализ двух моделей прочности твердых тел. / Ю.Я. Мешков – Металлофизика и новейшие технологии. Институт металлофизики им. Г.В.Курдюмова НАН Украины, том 27, № 3 март 2005. - 291 с.
- 7.Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки. Минск: Наука и техника,1981.-328с.
8. Структурний аналіз металів. Металографія. Фрактографія: Підручник – К.: Політехніка, 2006. – 328с.
9. Пахольок А.П., Пахольок О.А. Основы материаловедства і конструкційні матеріали: Посібник – Львів: Світ, 2005 – 172с.
10. Чередниченко В.С. Материаловедение. Технология конструкционных материалов [Текст]: учебн. пособие для вузов / под ред. В.С.Чередниченко. – М: Омега – Л. 2009. – 752с.
11. Гуляев А.П. О прочности./ А.П. Гуляев – Металловедение и термическая обработка металлов – М.: Машиностроение, №7 1993.- 2с.
12. Л.А. Бугай Исследование потери эксплуатационных свойств деталей поворотных механизмов переносных и телескопных перфораторов эксплуатируемых в шахтных условиях / Бугай Л.А., Нечаев В.П.// Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2015. – Вип. 40. – С135-138.
13. Хоменко О.Є. Гірниче обладнання для підземної розробки рудних родовищ: Довідковий посібник./ О.Є. Хоменко, М.М. Кононенко, Д.В. Мальцев - Д.: Національний гірничий університет, 2010. – 340 с.
14. Бойко Н.И. Ресурсосберегающие технологии повышения качества поверхностных слоев деталей машин: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. / под. ред. Н.И.Бойко. – М.: Маршрут, 2006. – 198с.
15. Барон Ю.М. Влияние магнитной и магнитно-абразивной обработки на фазовый состав и структуру поверхностного слоя инструментальных сталей. Научный журнал «МЕТАЛЛООБРАБОТКА» №4(70): Издательство «Политехника» Санкт-Петербург, 2012 – 12-17с.

УДК 004.896:681.3:621.311

І.А. КОТОВ¹, канд. техн. наук, доц.

Криворізький національний університет

МОДЕЛІ ДИСПЕТЧЕРСЬКИХ КОМПЕТЕНЦІЙ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОТИВАРІЙНОГО КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМОЮ

Мета. Виклад результатів розробки математичних структурно-логічних моделей продукційної форми подання диспетчерських компетенцій в інтелектуальних системах, які використовуються для автоматизації протиаварійного керування режимами електроенергетичних систем. Аналіз показав, що на сьогоднішній день відсутній єдиний підхід до реалізації універсального засобу подання диспетчерських компетенцій для різних професійних середовищ. Можна констатувати, що потрібна розробка такого формального апарату подання продукційних знань, який забезпечить ефективність рішень і простоту програмної реалізації.

Методи дослідження полягають в об'єднанні математичної моделі електричної мережі і моделі функціонування програмної системи підтримки рішень. У роботі використані методи теорії множин, математичної логіки, теорії автоматів, електроенергетичних систем, теорії графів, математичної статистики. Отримана модель подання продукційних знань має розвинений математичний апарат і теоретичну базу і може бути застосована для аналізу і прогнозування безлічі станів продукційної системи.

Наукова новизна полягає в новій моделі подання продукційних знань, яка заснована на структурі кластерів семантичних мереж. Новизна полягає в нових структурних і логічних моделях продукцій, що забезпечує побудову баз професійних компетенцій у вигляді продукційних мереж. За основу продукції взята модель онтології семантичної мережі. Розроблені правила генерації як елементарних продукцій, так і їх мереж на основі репрезентації семантичних мереж. Розроблено синтаксис продукцій і їх формально-лінгвістичний базис.

Практична значимість роботи полягає в практичній можливості оперативно оцінювати аварійні ситуації і ефективно застосовувати інтелектуальні системи підтримки рішень. Розглянутий підхід до синтезу структури правил не накладає обмежень на вхідний вид експертної інформації. Особливу цінність має можливість застосування отриманих результатів в гірничо-металургійному комплексі.

Результатами роботи є формальні моделі онтологій продукційних мереж, що дозволяє враховувати причинно-наслідкові зв'язки між об'єктами БЗ і моделювати динаміку логічного висновку. Результати дослідження можуть бути використані при реалізації проектів автоматизованих систем диспетчерського керування для особливо відповідальних електроенергетичних систем гірничодобувного і металургійного комплексів.

Ключові слова: аварійний стан, продукція, енергосистема, формалізм, база знань, автоматизація, компетенція

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-133-141

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Складність сучасних технологічних, економічних, соціальних систем досягає сьогодні рівня, що вимагає якісно нових підходів к аналізу та прийняттю управлінських рішень. Дана обставина обумовлена значним ускладненням структурної ієрархії і логікою взаємозв'язку компонентів керованих систем. Внаслідок цього все більш гостро ставиться завдання моделювання і впровадження адекватних і ефективних моделей досягнення оптимальних керуючих рішень. До такого формалізму висуваються жорсткі вимоги щодо адекватності подання, наочності, несуперечності, повноти та теоретичної глибини застосовуваної формальної мови. Наступним етапом на цьому шляху є побудова баз знань (БЗ) для експертних систем різного типу. Відмінною рисою сучасних управлінських завдань є необхідність врахування динамізму, одночасності і паралельності ланцюгів подій. Крім того, високі параметричні розмірності моделей, прийняття рішень в темпі реальних процесів призводять до необхідності відмови від чисто розрахункових методів аналізу. У багатьох професійних середовищах навіть застосування потужних засобів обчислювальної техніки не забезпечує повного рішення за прийнятний час. Створення суто численних моделей призводить до породження статичних формалізмів, зміна структури яких вимагає нового формулювання завдання і переробки програмного забезпечення. Таким чином, є актуальною проблема побудови нових структурно-логічних моделей подання диспетчерських компетенцій в інтелектуальних керуючих системах.

Аналіз досліджень і публікацій. У сучасних умовах, коли збитки від помилкових управлінських рішень мають тенденцію до різкого зростання, недосконалість механізмів подання знань в інтелектуальних системах стає критичною. Ця проблема детально розглянута в роботі [1]. В області побудови систем підтримки управлінських рішень вже давно працюють вітчизняні і закордонні вчені. Тут, перш за все, слід відзначити роботи Башликова А.А., Самойлова В.Д., Любарського Ю.Я., Лор'єра Ж.Л., Таунсенда К., Ульмана Дж. та інших. Проведений аналіз показує, з одного боку, великий інтерес до проблеми побудови та використання баз знань, а, з іншого боку, відсутність єдиних підходів і стійких детермінованих методик її вирішення. Звісно ж, що таке рішення може бути знайдено на шляху об'єднання алгоритмічних підходів і налагоджених евристик.

На основі аналізу ставиться завдання розробки і впровадження принципово нових підходів до опису та управління складними системами. Одним з можливих рішень є розробка евристичних підходів до подання складних об'єктів і моделювання процесів прийняття управлінських рішень [1, 2]. Основою таких підходів є застосування різних мов подання компетенцій в складі систем логічної обробки знань, систем штучного інтелекту і, зокрема, експертних систем. Останні надають потужні засоби обробки експертної інформації і забезпечують можливість детального аналізу ситуації при значній економії обчислювальних ресурсів. Аналіз показує, що найбільш повними можливостями для подання динаміки і логіки складних структур мають продукційні системи подання знань в експертних системах [3]. Безліч інших способів подання знань мають обмеження, складні для сприйняття і важкі в інструментальній реалізації. До таких способів можна віднести числення предикатів, динамічні спискові структури, триплети, семантичні мережі. Логіка предикатів, наприклад, не забезпечує моделювання розвинених структур даних [4]. Можливою формою подання продукційної форми подання знань у професійній галузі є мережі Петрі [5, 6]. В роботі [7] проаналізовані мови мереж Петрі для формалізації опису бізнес-процесів складних систем. Робота [8] аналізує основи математичної логіки як теоретичного базису для побудови моделей продукційних правил. В роботі [9] розглянуто центральні

теми математичної логіки першого порядку, мов, структур і дедукції. В роботі [10] розглянуті лінгвістичні основи семантичної розмітки Корпусу української мови як четвертого етапу подання інформації про одиниці Корпусу. Наведено опис програмного забезпечення. Матеріалом послужив частотний словник публіцистичного стилю обсягом в 40 тис. лексем, створений на вибірці в 16 млн слів українського мовного тексту. Робота [11] викладає підхід до створення інтелектуальних систем, орієнтованих на вирішення комплексних завдань, в основі якого лежать семантичні моделі баз знань і узгоджені з ними семантичні моделі машин обробки бази знань. В роботі [12] доводиться, що продукційна модель досі є одним з найбільш поширених і затребуваних формалізмів подання знань. Розглядається рішення задачі візуалізації продукційних баз знань. Відзначено, що перспективним є використання спеціалізованих нотацій, що розширюють існуючі, зокрема UML. Прикладом подібної нотації є Rule Visual Modeling Language (RVML). В роботі розглянуті основні елементи RVML і програмних засобів, що забезпечують його підтримку. Робота [13] присвячена розробці математичної моделі інкорпорації і успадкування онтологій професійних знань диспетчерського управління електроенергетичними системами, формалізована система еволюційного узагальнення теоретико-множинної моделі базових концептів онтологій. У тому числі розглянуті моделі онтологій, побудовані для продукційної моделі подання знань. В роботі [14] відзначено, що в міру збільшення масштабів експертних систем, заснованих на правилах, ефективність систем стає нагальною проблемою. Найбільш важливим фактором продуктивності при впровадженні виробничої системи є алгоритм перевірки умов. Запропоновано новий метод, заснований на широко використовуваному алгоритмі зіставлення. У статті [15] розглянутий підхід, заснований на продукційній граматиці, для автоматичного створення математичних виразів. Стаття пропонує генератор математичних виразів на основі різних типів виразів.

Постановка завдання. На сьогоднішній день відсутній єдиний підхід до реалізації універсального засобу подання експертних диспетчерських компетенцій. Отже, потрібна розробка такого формального апарату подання продукційних форм диспетчерських компетенцій, який, спираючись на глибоку теоретичну базу, забезпечить ефективність рішень і простоту програмної реалізації. Одним з таких засобів є апарат мереж Петрі. Розглянемо можливості його застосування для побудови логічних моделей прийняття управлінських рішень в продукційних експертних системах. Обмежимося детермінованою мережевою моделлю, що забезпечує розгалужені ланцюжки міркувань. Мережі Петрі дозволяють моделювати паралелізм в роботі продукцій, використовувати оціночні характеристики на кожному етапі міркувань, природним чином представляють вихідну експертну інформацію, забезпечують розширюваність БЗ. Разом з тим, мережі Петрі характеризуються винятковою наочністю і відносною простотою програмної реалізації. Особливо важливим є той факт, що мережі Петрі описують причинно-наслідкові залежності процесів функціонування складних систем. Продукції, побудовані на мережах Петрі, набувають простоту і потужність цих мереж. З іншого боку, мережа Петрі, структурована у вигляді мережі продукцій, може розглядатися як сукупність елементарних мереж правил. З огляду на вищевикладене, можна зробити висновок про те, що системи, що допускають моделювання мережами Петрі, можуть представлятися продукціями на базі цих мереж.

Викладення матеріалу та результати. Розглянемо можливості побудови продукційних мереж подання знань і логічного висновку. В якості моделі продукції пропонується застосовувати наступний формалізм

$$r = \{P, T, I, O\}, \quad (1)$$

де $P = \{P^I, P^O, P'\}$ – кінцева множина позицій продукції; $P^I = \{p_i^I | I = 1, N^I\}$ – кінцева множина вхідних позицій продукції; N^I – кількість вхідних позицій продукції; $P^O = \{p_i^O | I = 1, N^O\}$ – кінцева множина вихідних позицій продукції; N^O – кількість вихідних позицій продукції; $P' = \{p_i' | I = 1, N'\}$ – кінцева множина додаткових позицій продукції ($P' = \{p', p''\}$); N' – кількість додаткових позицій продукції; $T = \{t_k\}$ – кінцева множина переходів продукції; $I: T \rightarrow P^I$ – вхідна функція, що відображає множину переходів продукції в множину вхідних позицій; $O: T \rightarrow P^O$ – вихідна функція, яка відображає множину переходів в множину вихідних позицій.

З наведеного опису випливає, що продукція повинна розглядатися як двочастковий орієнтований граф. На рис. 1 наведені мережі Петрі для продукцій типу «І» і «АБО» відповідно.

Результатом роботи продукції буде деяке нове маркування

$$\mu' = \{\mu_i' | i=1, N\}, \mu' \in R(C, \mu), \quad (2)$$

де $R(C, \mu)$ – множина досяжності на мережі C ; N – кількість позицій мережі C .

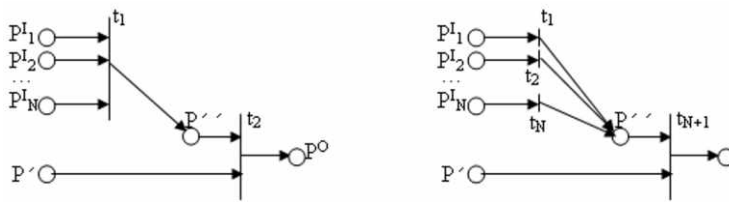


Рис. 1. Продукції, реалізовані на мережах Петрі

Це маркування відповідає умові реалізації всіх дозволених правил. У такій системі можна стверджувати, що система досягла рішення задачі, якщо вона довела логічний процес до одного з термінальних станів. Тоді значення вектору μ' , відповідне термінального

стану, будемо називати відповіддю або рішенням.

Мережі Петрі є асинхронними моделями. При необхідності прив'язки до часу моменти часу представляються у вигляді подій. Таким чином, синхронні (паралельні) системи можуть описуватися в термінах асинхронних моделей. Тому продукції, одержувані на мережах Петрі, дозволяють представляти як асинхронні, так і паралельні процеси. При реалізації продукційних мереж слід враховувати ряд обмежень, що накладаються на сформовану модель: будь-яка позиція не може бути одночасно входом і виходом одного і того ж переходу

$$I(t_i) \cap O(t_i) = \emptyset. \quad (3)$$

В продукціях фішки мають сенс сигналу. Оскільки для j -ї вихідний позиції будь якої i -ї продукції P_{ij}^0 виконується умова $\mu(P_{ij}^0) \leq 1$, то кількість фішок у вхідних позиціях буде обмежено кількістю приєднаних до них зліва продукцій.

Оскільки за один цикл роботи (один прохід перегляду БЗ) кожна продукція спрацьовує тільки один раз, в продукцію введена додаткова позиція p' . Для повторної ініціалізації продукції в цю позицію повинна бути поміщена фішка. При цьому розширені вхідні і вихідна функції будуть мати вигляд

$$I(r) = \{p_i^I, \dots, p_N^I, p'\}, \quad (4)$$

$$O(r) = \{p^0\}. \quad (5)$$

Виконання правила здійснюється відповідно до принципів спрацьовування мереж Петрі. Нехай $M^I = \{\mu_k^I\}$ - вектор всіх можливих маркувань вхідних позицій правила. Тоді

$$M^I \subset R(C, \mu), \quad (6)$$

$$k = 1, N^u,$$

де N^u - загальна кількість можливих маркувань; $\mu_k^I = \{\mu(p_i^I)\}$, $\mu(p_i^I)$ - маркування i -ї вхідний позиції правила, включаючи позицію p' , $i = 1, N^u+1$.

Умову спрацьовування продукції типу "І" можна виразити таким чином

$$(\forall 1_k) (\exists \mu_k^I) (rk \in R, \mu_k^I \in M_k^I): \sum \mu(p_{ki}^I) + \mu(p_k') \geq N_k^I + 1; (p_{ki}^I) \in P_k^I, \quad (7)$$

де R - множина продукцій.

Функція наступного стану, застосована до правилом «І», відобразить маркування μ^I в μ^I : $\mu^I = \delta(\mu^I, r)$. В результаті вектор μ^I отримає все нульові значення елементів, а вектор μ_k^0 матиме вигляд

$$\mu_k^0 = \{\mu_{ki}^0\} (\forall \mu_{ki}^0) (\mu_{ki}^0 = 1), j = 1, N^0.$$

Визначимо оціночні характеристики фішок в вихідних позиціях правила. Прийmemo, що вага кожної фішки в вихідних позиціях p_i^0 є m_p^0 , тоді для продукції типу «І» ця вага визначиться через ваги фішок у вхідних позиціях m_p^I

$$m_p^0 = \prod m_{ip}^I. \quad (8)$$

Мережа Петрі, відповідна продукції типу «АБО», має наступний закон спрацьовування

$$(\forall 1_k) (\exists \mu_k^I) (rk \in \mu_k^I \in M_k^I): \sum \mu(p_{ki}^I) + \mu(p_k') \geq 2; p_{ki}^I \in P_k^I. \quad (9)$$

Функція наступного стану, що застосована до правилу «АБО», також відобразить вектори маркувань вхідних і вихідних позицій в нові стани

$$\mu^I = \delta(\mu^I, r), \quad (10)$$

$$\mu^0 = \delta(\mu^0, r). \quad (11)$$

Слід зазначити специфіку роботи правила типу «АБО». Продукція типу «АБО» вважається

спрацювала, коли спрацював хоча б один перехід з безлічі переходів $t = \{T\}$ і є фішка в службовій позиції p' . Тут також визначимо оціночні характеристики фішок в вихідній позиції. Зберігаючи прийняті позначення для продукції типу «АБО» отримаємо

$$m_p^0 = 1 - \prod (1 - m_{ip}^I). \quad (12)$$

Зазначимо, що під час підрахунку результируючих ваг фішок додаткові позиції не враховуються.

Розглянемо тепер можливість злиття продукцій для побудови продукционной мережі. Така мережа утворюється при злитті вихідних позицій одних продукцій з вхідними позиціями інших. Нехай $P_a = \{p_{a1}, p_{a2}, \dots, p_{an}\}$ і $P_b = \{p_{b1}, p_{b2}, \dots, p_{bm}\}$ - дві множини позицій які зливаються. Спочатку кожна позиція з P_f копіюється m раз, а кожна позиція з P_b - n раз. Позиції копіюються разом з їх маркуванням і інцидентними дугами. Потім кожна пара позицій (p_{ai}^i, p_{bi}^i) замінюється новою позицією $p = p_{ai}^i \cup p_{bi}^i$ з маркуванням $\mu(p) = \mu(p_{ai}^i) + \mu(p_{bi}^i)$ і відповідними інцидентними дугами.

Прийняте трактування змісту і ролі додаткових позицій p' правил виділяє їх з процесу злиття. Перед початком нового циклу в усі додаткові позиції поміщається по одній фішці. При необхідності повторної ініціалізації одного або групи правил заново ініціюються їх додаткові (службові) позиції. У продукционной мережі спрацьовують всі правила, які можуть спрацювати, чим забезпечується паралелізм і адекватність модельованим процесам логічного висновку. Злиття позицій продукцій відповідає операції конкатенації на мережах Петрі. Оскільки кожна з продукцій є мережею Петрі зі своєю мовою, то мова

$$L_1 \dots L_N = \{X_1 \dots X_N | X_1 \in L_1, \dots, X_N \in L_N\}, \quad (13)$$

є конкатенацією мов $L_1, \dots, L_N$, також є мовою мережі Петрі [7]. Узагальнюючи сказане, можна формально визначити мережу продукцій, побудовану на базі мережі Петрі, як множину продукцій, об'єднаних за описаними вище правилами

$$R_C = (R), \quad (14)$$

де $R = \{r_1, \dots, r_N\}$ – множина продукцій мережі, N – кількість продукцій в мережі.

Завдання досяжності для всіх вихідних позицій з множини P^0 зводиться до з'ясування питання спрацьовування правил, обумовлене структурою мережі і їх поточним маркуванням. Завдання досяжності для вхідних позицій обумовлене як початковим маркуванням, так і специфікою зв'язку продукцій. У мережі не можуть виникати тупики в світлі прийнятої інтерпретації маркування. Тому будь-який перехід є потенційно реалізованим і, в принципі, можливе створення певної структури мережі для забезпечення деякого наперед заданого маркування.

Отримані структурно-функціональні моделі дозволяють здійснити уніфікацію математичних моделей продукцій на основі теоретико-множинної інтерпретації. Розробимо уніфіковану структурно-логічну модель продукційної форми репрезентації професійних знань. За основу візьмемо модель кластера семантичної мережі.

Введемо формальне правило подання продукції: продукція R – це множина кластерів

$$N_S^{Clust} = \{N_{Si}^{Clust}, i = 1, n^{Clust}\}$$

семантичної мережі N_S , таких, що

$$\forall (N_{Si}^{Clust}) (N_{Si}^{Clust} \in N_S^{Clust} \wedge N_S^{Clust} \subseteq N_S)$$

і пов'язаних між собою таким співвідношенням

$$R : \bigvee_{i=1}^{n-1} N_{Si}^{Clust} \rightarrow N_{Sn}^{Clust}, \quad (15)$$

де Lop – логічна операція, зв'язка – AND ($\wedge$) або OR ($\vee$), які стосуються перших $n-1$ кластерів семантичної мережі. Операція NOT ($\neg$) застосовується при $n = 1$ і зазвичай в базах знань імплементується в смислову умовну компоненту (антецедент) продукції; $\rightarrow$ – логічна операція імплікації [8, 9].

Вводячи логічні зв'язки кон'юнкції і диз'юнкції, можна записати для продукції типу «І»

$$R : N_{S1}^{Clust} \wedge N_{S2}^{Clust} \wedge \dots \wedge N_{Sn-1}^{Clust} \rightarrow N_{Sn}^{Clust} \text{ або } R : \bigwedge_{i=1}^{n-1} N_{Si}^{Clust} \rightarrow N_{Sn}^{Clust}; \quad (16)$$

для продукції типу «АБО»

$$R: N_{S1}^{Clust} \vee N_{S2}^{Clust} \vee \dots \vee N_{Sn-1}^{Clust} \rightarrow N_{Sn}^{Clust} \text{ або } R: \bigvee_{i=1}^{n-1} N_{Si}^{Clust} \rightarrow N_{Sn}^{Clust}. \quad (17)$$

Під активізацією або актуалізацією семантичної мережі (її кластера, сегмента) будемо розуміти внесення семантичної мережі (або її ідентифікатора) в контрольовану область пам'яті («дошку оголошень») для її участі в операціях інтелектуальної системи [10–12].

Приймемо, що при інтерпретації кластерів семантичної мережі кожен кластер мережі розглядається як одна лінгвістична константа або значення лінгвістичної змінної при будь-яких операціях в рамках діючої формальної системи. Для практичної реалізації обсяг кластерів семантичної мережі може виявитися досить значним, тому доцільно використовувати ідентифікатори кластерів або індекси кластерів, отримані їх динамічної сепарацією з урахуванням відповідних контекстів. Графічна ілюстрація запропонованої моделі продукції приведена на рис.2.

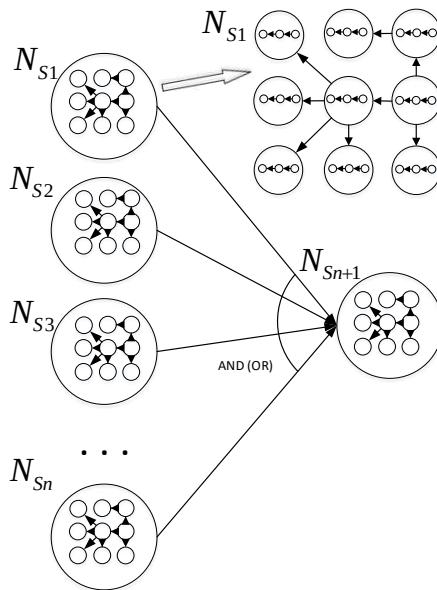


Рис. 2. Модель продукції на основі кластерів семантичної мережі

будови продукції на базі кластерів семантичної мережі.

Основний кінцевий термінальний алфавіт продукції являє собою множину кластерів семантичної мережі рівня бази знань

$$\begin{aligned} \Sigma = A_t = \{ \varepsilon \} \cup N_S^{Clust}, \\ N_{Si}^{Cj} \in N_S^{Cj}, \\ N_S^{Cj} \subseteq N_S. \end{aligned}$$

При побудові продукції необхідно користуватися тільки кластерами з даного алфавіту. Наприклад, для c_1 -го контексту:

$$N_S^{Cj} = \{ N_{Sk}^{Cj} \mid k=1, n_N \},$$

де n_N – кількість кластерів, пов'язаних з c_j -м контекстом.

Як було зазначено вище, формалізуємо основну частину продукції – її ядро.

Введемо інтерпретацію семантичної мережі продукції N_s як мережі кластерів, засновану на формалізмі семантичних мереж:

$$N_s = \langle N_S^{Clust}, I^{Clust}, G^{Clust} \rangle, \quad (19)$$

де $N_S^{Clust} = \{ N_{Si}^{Clust} \mid i=1, n^{Clust} \}$ – множина кластерів (концептів), що утворюють семантичну мережу продукції; $I^{Clust} = \{ i_l \mid l=1, n_l \}$ – множина зв'язків між кластерами N_{Si}^{Clust} (концептами); $G^{Clust} = \{ g_q \mid q=1, n_q \}$ – множина відображень інцидентності множини зв'язків на множину кластерів (концептів).

У формулі (19) компоненти моделі мають такий оригінальний зміст. Зв'язки між кластерами семантичних підмереж $I^{Clust} = \{ i_l \mid l=1, n_l \}$ означають з'єднання повністю ідентичних висловлювань з фактів, що відносяться до різних кластерів. Тобто i^{Clust} можна визначити, як

На рис. 2. проілюстрована детальна схема продукції, що показує наявність семантичних мереж в її вузлах [13].

Спрацьовування продукції (логічна реалізація імплікації) відбувається на основі обчислення (антецедента) – логічних виразів

$$\bigwedge_{i=1}^{n-1} N_{Si}^{Clust} \text{ або } \bigvee_{i=1}^{n-1} N_{Si}^{Clust}.$$

У разі істинності результату виразу в контрольовану область пам'яті («дошку оголошень») заноситься консеквент продукції – N_{Sn}^{Clust} .

Як відомо, в загальному випадку продукційна модель задається кортежем наступного вигляду [14, 15]

$$R = \langle S, L, A \rightarrow B, Q \rangle, \quad (18)$$

де S – клас ситуацій, для яких продукція R є адекватною; L – умова спрацьовування продукції; $A \rightarrow B$ – ядро (структура) продукції; Q – неформальне обґрунтування продукції.

Формалізуємо основну частину продукції – її ядро, взявши за основу запропоновану в роботі концепцію по-

$$\forall (s_i, s_k \mid s_i \in f_i \in N_{S_i}^{Clust}, s_k \in f_k \in N_{S_k}^{Clust}), (s_i = s_k) i^{Clust} : (s_i, s_k) \rightarrow s, \quad (20)$$

де відображення інцидентності має вигляд

$$g_q : C_i = (s), s \in f_i \wedge s \in f_k. \quad (21)$$

Таким чином, синтез продукції в рамках розробленої теоретико-множинної інтерпретації описується, як процедура конкатенації множин кластерів підмножин семантичної мережі БЗ, що відповідають такій умові:

$$\exists (N_{s1}^{Clust}, \dots, N_{n-1}^{Clust}, N_{sn}^{Clust}) (\bigcap_{k=1}^{n-1} N_{sk}^{Clust} = s_{sn}) \vee (\bigcap_{k=1}^{n-1} N_{sk}^{Clust} = s_{an}) \rightarrow N_{s1}^{Clust}, \dots, N_{sn-1}^{Clust}, N_{sn}^{Clust} \in R \quad (22)$$

Після об'єднання кластерів і створення продукції, остання буде являти собою оргграф наступного виду

$$R = G_{Clust}, G_{Clust} = \{V(G_{Clust}), A(G_{Clust})\}, \quad (23)$$

де $V(G_{Clust})$ – множина кластерів семантичної мережі, $V(G_{Clust}) = N_S^{Clust} = \{N_{S_k}^{Clust}, k=1, n_{Clust}\}$; $A(G_{Clust})$ – множина зв'язків між кластерами.

Введемо для об'єднання кластерів G_{Clust} (як для оргграфа продукції) окрему інтерпретацію проходження вершин, яка залежить від умов завдання і, в загальному випадку, може бути довільною

$$I^{Clust} = (P_s^{Clust}, P_e^{Clust}),$$

де P_s^R – інцидентор початкових вузлів (кластерів) дуг продукції, $P_s^R(N_{S_k}^{Clust}, N_{S_{k+1}}^{Clust})$; P_e^R – інцидентор кінцевих вузлів (кластерів) дуг продукції, $P_e^R(N_{S_k}^{Clust}, N_{S_{k+1}}^{Clust}) = s_i^{ci}, s_i^{ci} \in N_{S_n}^{Clust}$.

Тепер загальна формальна модель графа продукції R

$$G^R = \{V(G^{Clust}), A(G^{Clust}), I^R\}, \quad (24)$$

$$G^R = \{V(G^{Clust}), A(G^{Clust}), P_s^R, P_e^R\}.$$

Розробимо формальну мову продукції.

Так як інтерпретація продукції залежить від контексту, то при побудові формальної мови необхідне урахування груп (класів) контекстів. Визначимо множину контекстів для інтерпретації продукції

$$C^R = \{c_i \mid i=1, n_c\}, \quad (25)$$

де n_c – кількість контекстів (предметних областей).

Множина класів контекстів для продукції

$$G^{Rc_i} = \{g_m^{Rc_i} \mid m=1, n_g\},$$

де n_g – кількість класів контекстів.

Тоді кластер семантичної мережі продукції, пов'язаний з c_i -м контекстом:

$$N_R^{ClustC_i} = G_R^{c_i} = \{V(G_{Clust}), A(G_{Clust})\}, N_R^{c_i} \subset N.$$

З огляду на можливість класифікації сегментів (кластерів) семантичної мережі продукції за контекстами g_m^{sci} можна записати

$$N_R^{ClustC_i} = \{\{R_{1gcj}^{ci}\}, \{R_{2gcj}^{ci}\}, \dots, \{R_{mgcj}^{ci}\}, \dots, \{R_{ngcj}^{ci}\}\}, \quad (26)$$

де $\{R_{mgcj}^{ci}\}$ – продукційне правило, утворює сегмент (кластер) семантичної мережі і відповідає класифікаційній ознаці g_m^{ci} .

Прийmemo, що БЗ нормалізована, і виділені кластери мережі не дублюються, тоді властивості продукції повинні бути наступними

$$N_R^{C_i} = R_{1g_m^{c_i}}^{c_i} \cup R_{2g_m^{c_i}}^{c_i} \cup \dots \cup R_{mg_m^{c_i}}^{c_i} \cup \dots \cup R_{ng_m^{c_i}}^{c_i} = \bigcup_{m=1}^{n_g} R_{mg_m^{c_i}}^{c_i}, \quad (27)$$

$$R_{1g_m^{c_i}}^{c_i} \cap R_{2g_m^{c_i}}^{c_i} \cap \dots \cap R_{mg_m^{c_i}}^{c_i} \cap \dots \cap R_{ng_m^{c_i}}^{c_i} = \bigcap_{m=1}^{n_g} R_{mg_m^{c_i}}^{c_i} = \emptyset, \quad (28)$$

$$\forall R_{mg_m^{c_i}}^{c_i} (R_{mg_m^{c_i}}^{c_i} \subseteq N_R^{C_i}), \quad \forall R_{pg_m^{c_i}}^{c_i} \forall R_{qg_m^{c_i}}^{c_i} (R_{pg_m^{c_i}}^{c_i} \neq R_{qg_m^{c_i}}^{c_i}), \quad (29)$$

Вираз (27), по суті, описує продукційну мережу $N_R^{C_i}$ C_i -го контексту, по відношенню до якої можливе здійснення індуктивних або дедуктивних висновків.

$$L(G)_{g_m^{C_i}}^{R_{C_i}} = \langle \Sigma_{g_m^{C_i}}^R, N_{g_m^{C_i}}^R, P_{g_m^{C_i}}^R, S_{g_m^{C_i}}^R \rangle, \quad (30)$$

де G – формальна граматика продукційної мережі; Σ^R – основний кінцевий термінальний алфавіт продукційної мережі; N^R – допоміжний кінцевий нетермінальний алфавіт; P^R – правила підстановки (продукції) формальної граматики мережі: $\exists a, \exists b, (a, b) \in P^R: a \rightarrow b$; S – стартовий нетермінальний символ граматики G ; $N^R \cap \Sigma^R = \emptyset$ і $P^R \subset ((N^R \cup \Sigma^R)^+ \times (N^R \cup \Sigma^R)^+)$.

Тепер задамо правила формальної граматики P на продукційній мережі для мови $L(G)_{g_m^{C_i}}^{R_{C_i}}$:

$$N^P \rightarrow P_{g_m^{C_i}}^R \mid P_{g_m^{C_i}}^R [P_{g_m^{C_i}}^R],$$

$$P^R \rightarrow N_{Ra}^{Clust} N_{Rc}^{Clust},$$

$$N_{Ra}^{Clust} \rightarrow N_{sa} \mid [N_{sa}],$$

$$N_{Rc}^{Clust} \rightarrow N_{sc},$$

де $P_{g_m^{C_i}}^R$ – продукція мережі. Якщо ознакою сегментації є контекстна ознака $g_m^{C_i}$, то $N^{Pci} = N_{mgi}^{Pci}$; N_{Ra}^{Clust} , N_{Rc}^{Clust} – відповідно кластери семантичних мереж, задані як антецедент і консеквент продукції; N_{sa} – семантична мережа, віднесена до кластера мереж антецедента; N_{sc} – семантична мережа, віднесена до кластера мережі консеквента.

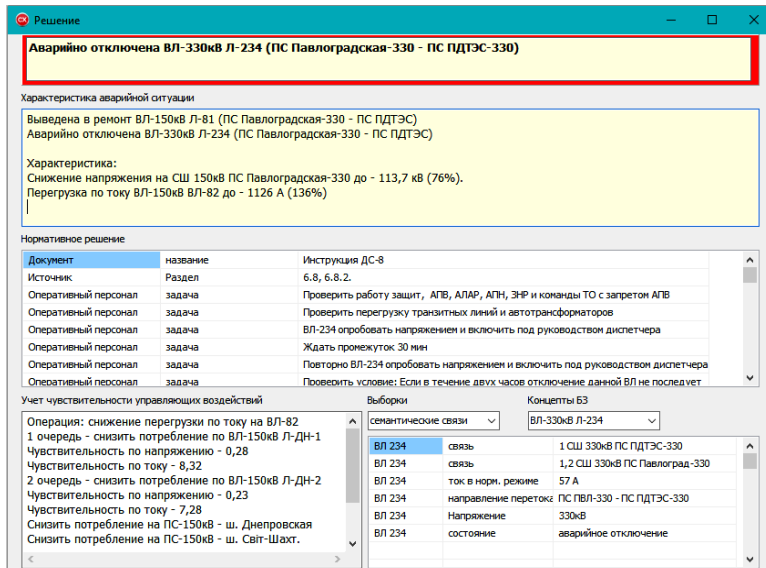


Рис. 3. Форма результатів аналізу аварійної ситуації і генерації протиаварійних рекомендацій

функціонує відповідно до розроблених структурно-логічних моделей і підтверджує їх практичну працездатність в промислових умовах.

Висновки та напрямки подальших досліджень. В результаті дослідження можливості побудови продукційних мереж на базі апарату мереж Петрі та їх програмної реалізації можна зробити висновок про те, що апарат мереж Петрі є простим і досить універсальним засобом опису і програмної реалізації побудованих на його основі ситуаційних моделей. Розглянутий підхід до синтезу структури правил не накладає обмежень на вихідний вид експертної інформації і не вимагає її формалізації. Отримана модель має розвинений математичний апарат і теоретичну базу для аналізу і прогнозування безлічі станів логічної системи. У подальших дослідженнях планується оцінити можливості застосування запропонованих математичних моделей в різних професійних областях і в умовах обмежень різного характеру.

Список літератури

1. Сулейманов В.Н., Котов И.А. Инструментальная реализация модели продукционного представления знаний // В.Н. Сулейманов, И.А. Котов – Энергетика и электрификация – 1991 – № 2 – С. 53 – 55.

На основі розроблених математичних моделей був реалізований програмний комплекс системи підтримки прийняття рішень диспетчерського персоналу для управління режимом енергосистеми в аварійній ситуації. Формування бази знань для програмного комплексу приведено в [16]. Програмна форма результатів аналізу аварійної ситуації і генерації протиаварійних рекомендацій приведена на рис. 3.

На основі аналізу результатів тестування розробленого програмного комплексу СППР можна зробити висновок про те, що СППР відповідає всім вимогам, сформульованим у роботі,

2. **Осипов В.П., Сивакова Т.В., Судаков В.А., Нечаев Ю.И.** Интеллектуальное ядро системы поддержки принятия решений / В.П.Осипов [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша – 2018 – № 205 – 23 с.
3. **Рассел С., Норвиг П.** Искусственный интеллект: современный подход : пер. с англ. / С. Рассел, П. Норвиг; пер. К.А. Птицын – 2-е изд. – М.: Вильямс – 2018 – 1407 с.
4. **Vajgl M., Luksová A., Žáč M.** Knowledge bases built on web languages from the point of view of predicate logics / M. Vajgl, A. Luksová M. Žáč AIP Conference Proceedings 1836, Vol. 020058 – 2017 – 11 p.
5. **Devillers R., Hujsa T.** Analysis and Synthesis of Weighted Marked Graph Petri Nets. In: Khomenko V., Roux O. (eds) Application and Theory of Petri Nets and Concurrency. PETRI NETS 2018. Lecture Notes in Computer Science, vol 10877. Springer, Cham. – 2018 – P. 19-39.
6. **Ochoa M.P., Davila J.** Modeling of an automated integral logistics system using colored petri nets // M.P. Ochoa, J. Davila – Ingeniería y competitividad, Vol. 21, No. 1 – 2019 – 15 p.
7. **Buchs D., Kliekovič S., Linard A.** Petri Nets: A Formal Language to Specify and Verify Concurrent Non-Deterministic Event Systems. In: Carreira P., Amaral V., Vangheluwe H. (eds) Foundations of Multi-Paradigm Modelling for Cyber-Physical Systems. Springer, Cham. – 2020 – pp 177-208.
8. **Detlovs V., Podnieks K.** Introduction to Mathematical Logic / Vilnis Detlovs, Karlis Podnieks – Riga: University of Latvia – 2017 – 238 p.
9. **Leary C.C., Kristiansen L.** A Friendly Introduction to Mathematical Logic. 2nd Edition. Milne Library, SUNY Geneseo, Geneseo, NY – 2015 – 365 p.
10. **Дарчук Н.П.** Можливість семантичної розмітки корпусу української мови (кум) // Н.П. Дарчук – Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Вип. 15, Серія 9. Сучасні тенденції розвитку мов – 2017 – С. 18–28.
11. **Голенков В.В. и др.** Семантическая модель представления и обработки баз знаний / В.В. Голенков, Н.А. Гулякина, И.Т. Давыденко, Д.В. Шункевич – Труды XIX Международной конференции «Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных» (DAMDID/ RCDL'2017), Москва, Россия, 10–13 октября – 2017 – С. 334–341.
12. **Дородных Н.О., Юрин А.Ю., Коршунов С.А.** Средства поддержки моделирования логических правил в нотации RVML / Н.О. Дородных, А.Ю. Юрин, С.А. – Программные продукты и системы / Software & Systems – No. 4(31) – 2018 – С. 667–672
13. **Моркун В.С., Котов І.А.** Моделі інкорпорації професійних онтологій для інтелектуалізації управління режимами енергосистем: монографія / В.С. Моркун, І.А. Котов – Кривий Ріг: Редакційно-видавничий відділ ДВНЗ «КНУ», 2020 – 210 с.
14. **Kang J.A., Cheng A.M.K.** Shortening matching time in OPS5 production systems / J.A. Kang // IEEE Transactions on Software Engineering – 2004 – Vol. 30, Issue 7 – P. 448–457
15. **Milani M.M.R., Hosseinpour S., Pehlivan H.** Rule-Based Production of Mathematical Expressions / M.M.R. Milani, S. Hosseinpour, H. Pehlivan – Mathematics – 2018 – No.6(254) – 19 p.
16. **Morkun V.S., Kotov I.A.** Knowledge base formation for automation of dispatch control over power systems of the mining and metallurgical complex // V.S. Morkun, I.A. Kotov – Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu – №4 – 2021 – P. 103–109

УДК 624.15.001

В.Г. ШАПОВАЛ, д-р техн. наук, проф., Д.О. ШАШЕНКО, канд. техн. наук, доц.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,

І.О. ПОНОМАРЕНКО, здобувач,

Черкаський державний технологічний університет

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИСКРЕТНИХ УТРИМУЮЧИХ СПОРУД

Мета. Визначити єдину методику, яка дозволить розрахувати конструктивні параметри дискретних утримуючих споруд.

Методи дослідження. У роботі виконано теоретичні дослідження геомеханічних процесів з використанням аналітичних і чисельних математичних методів. Аналіз і узагальнення результатів теоретичних досліджень.

Наукова новизна. Запропоновано нову методику, що дозволяє розраховувати конструктивні параметри дискретних протизсувних утримуючих конструкцій при одночасній оцінці стійкості ґрунту, який знаходиться між його елементами.

Практична значимість. Викладені в даній роботі матеріали досліджень дозволяють при проектуванні протизсувних дискретних споруд обґрунтовано розрахувати такі параметри:

- відстань, на якій дискретна утримуюча конструкція взаємодіє із зсувом;
- оцінити стійкість ґрунту в проміжках між залізобетонними елементами конструкції;
- відстані між окремими елементами дискретної утримуючої конструкції;

діаметри окремих елементів дискретної утримуючої конструкції (у разі перетину круглої форми) або розмір меншої сторони окремих елементів дискретної утримуючої конструкції (у разі прямокутного перетину).

Результати. В ході написання цієї статті нами були отримані аналітичні залежності, що дозволяють визначити такі конструктивні параметри системи «протизсувна утримуюча конструкція – сповзаючий ґрунтовий масив»:

стрілу підйому арки вивалу ґрунту між елементами дискретної утримуючої конструкції. Цей параметр необхідний для визначення відстані, на якій дискретна утримуюча конструкція взаємодіє із зсувом;

коефіцієнт стійкості ґрунту в зоні взаємодії дискретної утримуючої конструкції із сповзаючим ґрунтовим масивом; це дозволяє оцінити стійкість ґрунту в проміжках між залізобетонними елементами конструкції;

відстані між окремими елементами дискретної утримуючої конструкції;

діаметри окремих елементів дискретної утримуючої конструкції (у разі перетину круглої форми) або розмір меншої сторони окремих елементів дискретної утримуючої конструкції (у разі прямокутного перетину). Також, отримані аналітичні залежності дають відповіді на питання, чи можливо в даних конкретних умовах використовувати дискретні утримуючі конструкції та визначити область зсуву, в якій відбувається його взаємодія з утримуючою конструкцією.

Ключові слова: зсув, утримуюча конструкція, коефіцієнт стійкості, діаметр елементів, відстань між елементами дискретної утримуючої конструкції.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-141-145

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. В даний час при проектуванні протизсувних утримуючих споруд мають місце такі проблеми [1-3]:

застосування суцільних утримуючих споруд (підпірних стін) – занадто витратний і трудомісткий процес;

при влаштуванні таких споруд виникають проблеми з підрізанням укосу (схилу) і, як наслідок, втратою ним стійкості;

відведення підземних вод.

Альтернативою суцільним протизсувним конструкціям є дискретні утримуючі конструкції [2-4], однак, при їх використанні мають місце такі проблеми:

існує ризик втрати міцності і стійкості ґрунту, який знаходиться між елементами дискретної утримуючої конструкції і, як наслідок – руйнування ґрунту, що знаходиться в зоні впливу утримуючої конструкції – і далі – схід зсуву;

дискретні (особливо багаторядні) утримуючі конструкції створюють для підземних вод бар'яжний ефект. Наслідок – підйом рівня підземних вод і, як наслідок – погіршення стану ґрунту, який знаходиться в зоні впливу утримуючої конструкції – і далі – його руйнування.

В даний час не існує єдиних методик розрахунку конструктивних параметрів протизсувних дискретних утримуючих споруд, які дозволяли б однозначно визначити такі конструктивні параметри:

зону впливу дискретних утримуючих споруд на взаємодіючий з ними сповзаючий ґрунтовий масив, цю зону важливо знати при використанні для стабілізації зсувонебезпечних ділянок комбінації різних методів, наприклад, дискретних утримуючих конструкцій і закріплення ґрунту (методами силіказації, цементації і їм подібних);

коефіцієнт стійкості взаємодіючого з дискретними утримуючими конструкціями ґрунту в проміжках між сусідніми елементами цих конструкцій;

відстані між сусідніми елементами дискретної утримуючої конструкції;

діаметри (або розміри менших сторін) елементів дискретних протизсувних утримуючих конструкцій.

Тому при написанні цієї статті нами переслідувалася мета викласти єдину методику, яка дозволила б розрахувати перераховані вище конструктивні параметри.

Аналіз досліджень і публікацій. В даний час при проектуванні і розрахунку дискретних протизсувних конструкцій необхідно відповісти на такі питання.

Чи можливо в даних конкретних умовах використання дискретних протизсувних конструкцій?

Якщо так, то наскільки стійкий ґрунт в проміжках між утримуючими елементами?

На якій відстані від утримуючих елементів відбувається взаємодія між ними і сповзаючим ґрунтовим масивом (тобто зсувом)?

Який крок розстановки елементів утримуючої конструкції є безпечним?

Який розмір перетину елементів утримуючої конструкції (тобто діаметр перетину круглої форми або менша сторона перетину прямокутної форми) є безпечним?

Оскільки в діючих на території України і деяких інших країн нормативних документах [5-8] на поставлені питання немає однозначних відповідей, сформульована вище проблема потребує вирішення.

Постановка задачі. Метою досліджень результати яких наведені у статті є визначити єдину методику, яка дозволить розрахувати конструктивні параметри дискретних утримуючих споруд.

Викладення матеріалу та результати. Рекомендована нами методика розрахунку конструктивних параметрів дискретних протизсувних конструкцій полягає в наступному:

розрахунок елементів дискретної протизсувної конструкції слід виконувати по ґрунту і матеріалу [9, 10];

розрахунок по матеріалу слід виконувати відповідно вимогам до розрахунку бетонних, залізобетонних, ґрунтоцементних та інших конструкцій, з урахуванням властивостей матеріалу, з якого вони виконані [11];

розрахунок по ґрунту слід виконувати за першою групою граничних станів, а при необхідності і за другою групою граничних станів [9, 10];

в якості вихідних даних слід враховувати будову ґрунтової товщі на всьому протязі зсуву, зокрема її текстурні і структурні особливості.

В якості розрахункових показників слід приймати:

при розрахунку по першій групі граничних станів φ_I і питоме зчеплення c_I ;

при розрахунку по другій групі граничних станів φ_{II} і питоме зчеплення c_{II} , модуль загальної деформації E і коефіцієнт Пуассона ν .

У разі шаруватості текстури ґрунтової товщі розрахункові характеристики ґрунту слід визначати за формулами

$$\left. \begin{aligned} \varphi_I &= \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_{I,i} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}; \varphi_{II} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_{II,i} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \\ c_I &= \frac{\sum_{i=1}^n c_{I,i} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}; c_{II} = \frac{\sum_{i=1}^n c_{II,i} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \\ E &= \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}; \nu = \frac{\sum_{i=1}^n \nu_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де h_i – товщина i - того ґрунтового шару.

При розрахунку параметрів дискретних протизсувних утримуючих конструкцій слід використовувати представлену на рис. 1 розрахункову схему.

Глибину закладення елементів дискретної утримуючої конструкції слід визначати відповідно до вимог діючих на території України нормативних документів.

Величину зсувного тиску слід визначати відповідно до вимог чинних на території України нормативних документів при використанні ламаної поверхні ковзання.

Гранично допустиме значення зсувного тиску слід розраховувати за формулою

$$E_{op} \leq \frac{2 \cdot c_I \cdot H}{K_{u,I}^2} \cdot \{tg^2(\varphi_I) + \sqrt{tg^2(\varphi_I) + K_{u,I}^2}\} \quad (2)$$

де H – потужність ґрунтової товщі в місці розташування утримуючої конструкції, а $K_{u,I}$ – коефіцієнт стійкості ґрунту в області його взаємодії з утримуючою конструкцією (цей параметр вказують у технічному завданні на проектування).

Область зсуву f , в якій відбувається взаємодія зсуву з утримуючою конструкцією, слід розраховувати за формулою

$$f = \frac{\sqrt{E_{op} \cdot tg(\varphi_I) + H \cdot c_I}}{2 \cdot \sqrt{c_I \cdot H}} \cdot b, \quad (3)$$

де b – відстань між утримуючими елементами.

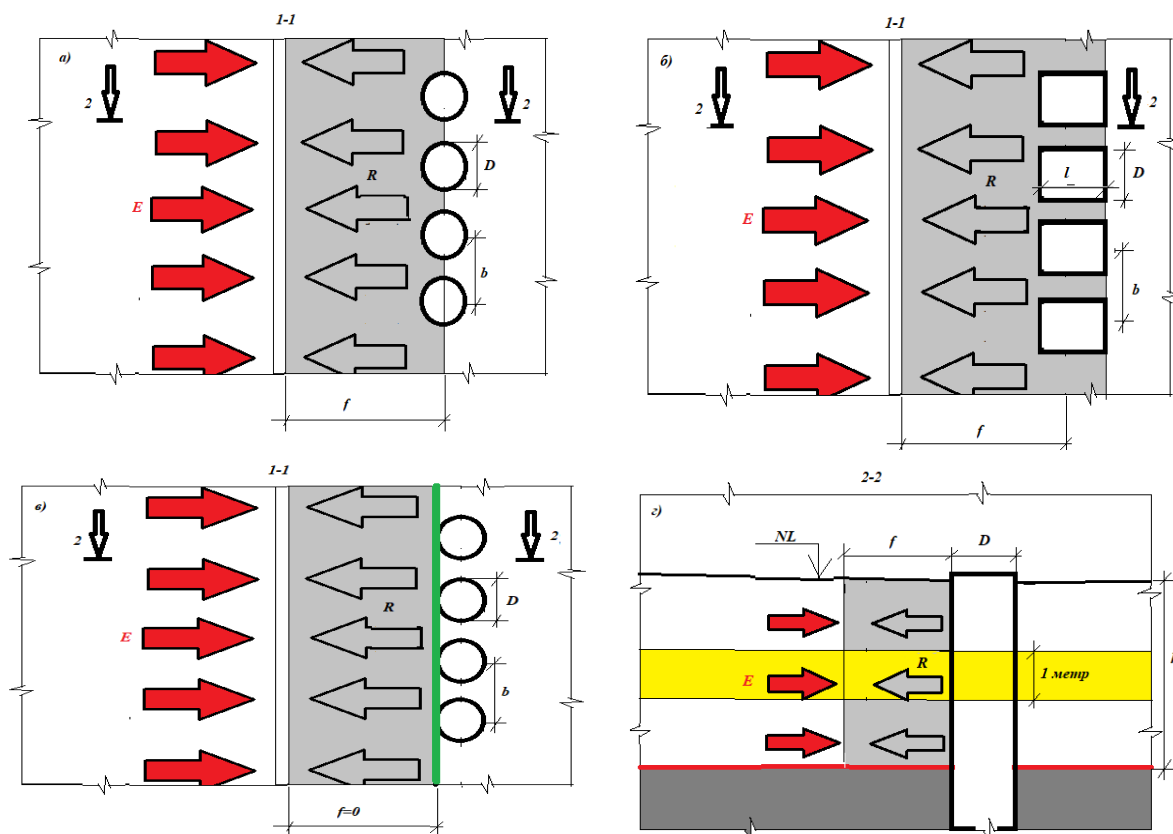


Рис. 1. Розподіл зусиль у зоні взаємодії зсуву з дискретними утримуючими спорудами: *a* – пальова дискретна утримуюча споруда; *б* – контрфорсна дискретна утримуюча споруда; *в* – комбінована дискретна утримуюча споруда з паль та діафрагми; *г* – поперечний переріз

Відстань між сусідніми утримуючими елементами b слід визначати за формулою

$$b = \frac{4 \cdot c_I \cdot D \cdot H}{E_{op}} \cdot \frac{\cos(\varphi_I)}{1 - \sin(\varphi_I)}, \quad (4)$$

де D – діаметр круглого або менша сторона прямокутного поперечного перерізу елементу дискретної протизсувної утримуючої конструкції.

Діаметр круглого або менша сторона прямокутного поперечного перерізу елементу дискретної протизсувної утримуючої конструкції слід визначати за формулою

$$D = \frac{E_{op} \cdot b}{4 \cdot c_I \cdot H} \cdot \frac{1 - \sin(\varphi_I)}{\cos(\varphi_I)}. \quad (5)$$

В цілому, був зроблений висновок про те, що викладена в даній роботі методика визначення конструктивних параметрів дискретних протизсувних утримуючих конструкцій цілком може бути використана при розрахунку конструктивних параметрів дискретних утримуючих споруд.

Її відмінностями від аналогічних методик і перевагами є можливість обґрунтованої відповіді на питання, чи можливо в даних конкретних умовах використовувати дискретні утримуючі конструкції і визначення області зсуву, в якій відбувається його взаємодія з утримуючою конструкцією.

Висновки та напрямки подальших досліджень. В ході написання цієї статті нами були отримані аналітичні залежності, що дозволяють визначити такі конструктивні параметри системи «протизсувна утримуюча конструкція – сповзаючий ґрунтовий масив»:

стрілу підйому арки вивалу ґрунту між елементами дискретної утримуючої конструкції. Цей параметр необхідний для визначення відстані, на якій дискретна утримуюча конструкція взаємодіє зі зсувом;

коефіцієнт стійкості ґрунту в зоні взаємодії дискретної утримуючої конструкції зі сповзаючим ґрунтовим масивом. Це дозволяє оцінити стійкість ґрунту в проміжках між залізобетонними елементами конструкції;

відстані між окремими елементами дискретної утримуючої конструкції;

діаметри окремих елементів дискретної утримуючої конструкції (у разі перетину круглої форми) або розмір меншої сторони окремих елементів дискретної утримуючої конструкції (у разі прямокутного перетину).

Список літератури

1. Билеуш А.И. Оползни и противооползневые мероприятия / А.И. Билеуш. – К. : Наукова думка, 2009. – 560 с.
2. Гинзбург Л.К. Противооползневые сооружения. Днепропетровск: Лира ЛТД, 2007. 188 с.
3. Гинзбург Л.К. Противооползневые удерживающие Конструкции. - М. Стройиздат, 1979. – 80 с.
4. Лapidус Л.С. Укрепление откосов слабых насыпей сваями / Л.С. Лapidус, К.Ш. Шадунц // Вопросы геотехники. Труды ДИИГа. Сб. 5. – Днепропетровск: 1962. – С. 48-55.
5. ДБН В.1.1-24:2009 «Захист від небезпечних геологічних про-цесів. Основні положення проектування». К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. – 108 с.
6. ДБН В.1.1-46:2017 «Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення». К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. – 47 с.
7. ДСТУ-Н Б В.1.1-37:2016 «Настанова щодо інженерного захис-ту територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів», К.: Міністерство ре-гіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. – 43 с.
8. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования СНИП 2.01.15-90 М., 1991 – 39 с.
9. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування.
10. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення.
11. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення.
12. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П., Сдвижкова Е.А. Геомеханика. Учебник. — Киев: ГВУЗ Национальный горный университет, 2015. — 563 с.
13. Сіренко А.П. Критична відстань між утримуючими елементами для зсувних та зсувонебезпечних схилів Чернівецької області / А.П. Сіренко // Екологічна безпека. – 2013. – № 13. – С. 73–76.
14. Sirenko A. P. To the analysis of methods of calculation of stability of use and their classification / A. P. Sirenko, // Екологічна безпека та природокористування = Environmental safety and natural resources : зб. наук. праць / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури ; Ін-т телекомунікацій і глоб. інформ. простору ; гол. ред. : О. С. Волошкіна, О. М. Трофимчук. – Київ : [б.в.], 2019. – Вип. 1(29). – Р. 79 - 86.
15. Угненко Є. Б., Тимченко О. М., Ужвієва О. М., Орел Є. Ф., Сорочук Н. І. Геодезичні дослідження при визначенні зсувних процесів на ділянках шляхів сполучення у гірській місцевості: навч. посібник / Угненко Є. Б., Тимченко О. М., Ужвієва О. М., Орел Є. Ф., Сорочук Н. І. – Київ: Видавничий дім «Кондор», 2019. – 184 с.

АНОТАЦІЇ

УДК 622.275: 622.271.33

Андрєєв Б.М., Бровко Д.В., Хворост В.В., Кононенко В.В., Романенко О.В. Розробка першотравневого родовища в борту діючого кар'єру з використанням комплексів шахти

Мета. Обґрунтування технології підземної розробки Першотравневого родовища в борту діючого кар'єру та оптимальних конструктивних рішень з урахуванням конкретних умов експлуатації. Аналіз досвіду роботи зарубіжних гірничорудних підприємств з відкритим способом розробки, який свідчить про наявність у світовій практиці стійкої тенденції до доопрацювання ділянок родовищ, що характеризуються сприятливими для відкритих гірничих робіт умовами. Обґрунтування обумовленого переходу рудників до ведення гірських робіт по більш складним технологічним схемам, які передбачають застосування поряд з відкритими гірничими роботами підземного способу видобутку.

Методи дослідження. При вирішенні задач застосовується метод кінцевих елементів, що активно використовується в сучасних програмних комплексах для моделювання розвитку запроєктованих рішень, з урахуванням взаємодій та явищ. Вони відрізняються способами завдання вихідних параметрів та мають свої певні інструменти для їх зміни, коригування та аналізу отриманих результатів.

Наукова новизна. Актуальність даної роботи пов'язана із розв'язанням поставленої задачі. Її результатом є встановлення доцільності вести розробку Першотравневого родовища в структурі системи "кар'єр-шахта".

Практична значимість. Дослідження дають змогу оцінити роботу застосування камерних систем за схемою "камера-цілик", систем розробки з обваленням руди, технології з єдиним відкрито-підземним простором. Математичне моделювання дозволяє всесторонньо проаналізувати результати та врахувати недоліки системи при подальших дослідженнях.

Результати. Рекомендована принципова технологічна схема комбінованого відкрито-підземного відпрацювання запасів з підземним транспортним комплексом системи "кар'єр-шахта" для умов Першотравневого родовища з урахуванням фактичної геотехнологічної ситуації та аналізу світового досвіду. Дана технологічна схема передбачає застосування камерних систем за схемою "камера-цілик", систем розробки з обваленням руди, технології з єдиним відкрито-підземним простором, високо-продуктивних варіантів випуску руди і концентраційних горизонтів з електровозною відкаткою.

Ключові слова: кар'єр-шахта, відкрито-підземна технологія, рудник, контактна взаємодія, родовище, моделювання
Andreev B.M., Brovko D.V., Hvorost V.V., Kononenko V.V., Romanenko O.B. Development of the Pershotravnevyy deposit in board of the current quarry with the use of mine complexes

Purpose. Substantiating the technology of underground development of the Pershotravnevyy deposit in board of the existing quarry and optimal design solutions considering the specific operating conditions. Analyzing the experience of foreign mining enterprises in an open pit mining, which shows a steady trend in the world practice to refine areas of deposits and characterizes favorable conditions for open-pit mining. Substantiating the conditioned transition of mines to mining operations according to more complex technological schemes, which provide underground mining along with open - pit mining.

Research methods. The finite element method in up-date software for modeling the development of designed solutions considering interactions and phenomena. They differ in the ways of setting the initial parameters and have the specific tools for changing, adjusting, and analyzing the results.

Scientific novelty. The feasibility of developing the Pershotravnevyy deposit in the "quarry-mine" system is established.

Practical significance. Research enables to evaluate the chamber systems according to the "camera-pillar" scheme, development systems with ore collapse, technologies with a single underground - open pit mining space. Mathematical modeling allows to analyze the results and consider the shortcomings of the system in further research.

Results. The recommended technological scheme on the combined underground - open pit mining of reserves with the underground "quarry-mine" transport system in the Pershotravnevyy deposit considering the geotechnological situation and analysis of world experience. The technological scheme provides chamber systems according to the "camera-pillar" scheme, development systems with ore collapse, technology with a single underground - open pit mining space, high-performance options for ore production and concentration horizons with electric locomotive rolling.

Key words: quarry-mine, underground - open pit mining technology, mine, contact interaction, deposit, modeling

УДК 622.14

Федоренко П.Й., Переметчик А.В., Подойніцина Т.О., Настін П.В. Гірничо-геометричний моніторинг та моделювання надр

Мета. Метою роботи є геолого-промислова оцінка покладу корисних копалин, яка передбачає правильне визначення кількості і якості розвіданих запасів, вимагає збору і обробки такого матеріалу, який був би достатнім для складання технічно правильного і економічно обґрунтованого проекту освоєння родовища. Ці вимоги ставлять перед геолого-маркшейдерським забезпеченням гірничих підприємств все більш складні завдання. Забезпечення правильного освоєння родовища є пріоритетною виробничою задачею, що базується на науково обґрунтованій оцінці гірничо-геометричних характеристик покладу корисних копалин та чіткого уявлення про характер та кількість запасів родовища.

Методи дослідження. Методика дослідження полягає у гірничо-геометричному моделюванні та моніторингу надр на основі прогресивних та класичних способів і методик геометризації масиву корисних копалин та вмшуючих порід. Це включає в себе комплекс заходів, направлених на збір та оцінку вихідної інформації, її оцінку точності, математичне опрацювання та визначення оптимальних та найефективніших методів вирішення задачі геометризації родовища.

Наукова новизна. Застосовано комплекс методів оцінки мережі опробування та оцінки мінливості вмісту корисного компоненту. Ці методи базуються як на статистичних розрахунках, так і на програмних методах, що реалізуються у геоінформаційних системах.

Практичне значення. Застосовані методи дають змогу практично розв'язувати задачі гірничого виробництва, пов'язані з оцінкою запасів родовища корисних копалин, їх генезису, характеру залягання, якості, можливості сортування, прогнозування та промислового освоєння.

Результати. Отримано результати, які дають максимально повне уявлення про характер запасів родовища корисних копалин, можливість промислового освоєння та його послідовність. Показано переваги комплексу методів, що базуються на статистичній оцінці покладу корисних копалин, а також застосування новітніх геоінформаційних систем, що забезпечують можливість якісного і точного підрахунку та оцінки запасів родовища корисних копалин.

Ключові слова: геометризація, гірничо-геометричне моделювання, розвідувальна мережа, методи статистичної оцінки, крайгінг, мінливість геологічних показників, геоінформаційні системи

Fedorenko P.I., Peremetchyk A.V., Podoinitsyna T.O., Nastin P.V. Mining and geometrical monitoring and subsoil modeling

Purpose. A geological and industrial assessment of a mineral deposit, which provides for the correct determination of the quantity and quality of explored reserves, requires the collection and processing of such material, which would be sufficient to draw up a technically correct and economically feasible project for the development of the deposit. These requirements pose more and more complex tasks for the geological and mine surveying support of mining enterprises. Ensuring the correct development of the deposit is a priority production task, which is based on a scientifically grounded assessment of the geometrical characteristics of the mineral deposit and a clear understanding of the nature and quantity of the deposit's reserves.

Research methods. The research methodology consists in mining and geometrical modeling and monitoring of subsoil based on progressive and classical methods and techniques for geometrization of the array of minerals and host rocks. This includes a set of measures aimed at collecting and evaluating the initial information, assessing its accuracy, mathematical processing and determining the optimal and most effective methods for solving the problem of geometrization of the field.

Scientific novelty. A set of methods for assessing the sampling network and assessing the variability of the content of the useful component has been applied. These methods are based on both statistical calculations and software methods implemented in geographic information systems.

Practical significance. The methods used make it possible to practically solve the problems of mining associated with the assessment of reserves of mineral deposits, their genesis, nature of occurrence, quality, possibility of sorting, forecasting and industrial development.

Results. The results obtained, which give the most complete picture of the nature of the reserves of mineral deposits, the possibility of industrial development and their sequence. The advantages of a set of methods based on a statistical assessment of a mineral deposit, as well as the use of the latest geoinformation systems, which provide the possibility of high-quality and accurate calculation and assessment of reserves of a mineral deposit, are shown.

Key words: geometrization, mining-geometric modeling, exploration network, methods of statistical evaluation, kraiging, variability of geological indicators, geographic information systems

УДК 624.1

Швагер Н.Ю., Комісаренко Т.А., Орлов М.С. Забезпечення безпеки працівників шахт у випадку виникнення надзвичайних ситуацій

Мета статті полягає у визначенні ефективності роботи системи позиціонування персоналу, транспорту і моніторингу гірничо-шахтного устаткування виробництва компанії ТОВ «СПБЕК-Майнінг». Шахти повинні бути обладнані системами позиціонування і пошуку працівників, що дозволяють контролювати їх місцезнаходження та здійснювати пошук у діючих гірничих виробках, через завали гірських порід, в тому числі при відсутності електроенергії.

Методи дослідження. У роботі використано статистичний метод дослідження даних технічної документації систем позиціонування, який спрямовано на збір первинного статистичного матеріалу та інтерпретацію даних.

Наукова новизна. Проблема, що піднімається в роботі, обґрунтована невідповідністю систем позиціонування, що використовуються на підприємствах країни, які не відповідають вимогам стандарту, оскільки позиціонування виконується тільки «з точністю до дільниці гірничих виробок», з інтервалами, що не відповідають режиму реального часу.

Практична значимість. Практична реалізація запропонованої системи має переваги перед аналогічними, так як при відповідному покритті гірничих виробок зчитувачами системи становище персоналу і транспорту визначається безперервно з точністю ± 10 м. Система дозволяє створювати автономні пристрої з довгим часом роботи від одного джерела живлення (до 2-3 років) за рахунок малого енергоспоживання пристроїв.

Результати. Система може забезпечувати можливість передачі невеликих обсягів даних в радіоканалі між пристроями і далі, по дротовим і оптичним інтерфейсам, на верхній рівень системи. Система СППТМГШО побудована на базі технології ZigBee і стандарті IEEE 802.15.4. Приймачі даного стандарту дозволяють проводити вимірювання відстані при встановленні зв'язку один з одним методом TWR (two-way ranging). Система СППТМГШО має сертифікат відповідності Серія RU №03033013 про безпеку обладнання "О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах" (ТР ТС 012/2011. Таким чином, більш точні дані про місцезнаходження персоналу дозволять прийняти найбільш оптимальні рішення з надання допомоги постраждалим під час пожежі і при ліквідації аварійних ситуацій.

Ключові слова: система позиціонування, позиціонування, мітка, зчитувач, надзвичайна ситуація, пожежа, гірничавиробка, гірниче устаткування

Shwager N.Yu., Komisarenko T.A., Orlov M.S. Providing the safety of mine workers in case of an emergency

Purpose. To determine the effectiveness of the system of personnel positioning, transport and monitoring of mining equipment manufactured by SPBEK-Mining.

Research methods. The statistical method of research of data of technical documentation of positioning systems which is directed on collection of primary statistical material and interpretation of data is used in the work.

Scientific novelty. The problem that arises in the work is justified by the inconsistency of positioning systems used in the country's enterprises that do not meet the requirements of the standard, as positioning is performed only "to the nearest mine", with intervals that do not meet real time.

Practical significance. The practical implementation of the proposed system has advantages over similar ones, as with the appropriate coverage of mine workings by system readers the position of personnel and transport is determined continuously with an accuracy of ± 10 m. The system allows creating autonomous devices with long operation from one power supply (up to 2-3 years) due to low power consumption of devices.

Results. The system can provide the ability to transmit small amounts of data in the radio channel between devices and further, via wired and optical interfaces, to the upper level of the system. The SPPTMME system is based on ZigBee technology and the IEEE 802.15.4 standard. Receivers of this standard allow carrying out measurement of distance at establishment of communication with each other by TWR method (two-way ranging). The SPPTMME system has the certificate of conformity Series RU №03033013 about safety of the equipment "About safety of the equipment for work in explosive environments" (TR TS 012/2011).

Key words: positioning system, positioning, tag, reader, emergency, fire, mining, mining equipment

УДК 528.4

Куліковська О. Є., Суганяка О.І., Атаманенко Ю. Ю. Гіс-технології для моніторингу і прогнозування розвитку територій кривбасу із урахуванням зонування за ступенем зсувної небезпеки

Мета. Дослідження використання геоінформаційних технологій для моніторингу і прогнозування розвитку територій Кривбасу із урахуванням зонування за ступенем зсувної небезпеки.

Методи дослідження. Поставлена мета та завдання дослідження зумовили використання загальнонаукових підходів, логічних законів побудови висновків, спеціальних методів пізнання. В якості методологічної основи дослідження вжито сполучення «нейромережевий аналіз». При виконанні завдань дослідження спиралося на світовий досвід застосування геоінформаційних технологій для картування та дослідження зсувів. Інформаційною базою дослідження слугували монографії, збірники наукових праць, періодичні фахові видання, Інтернет-ресурси.

Наукова новизна. Сформульовано критерії вибору ефективного геодезичного методу збору просторових даних, який забезпечує оперативне автоматизоване отримання картографічної інформації з заданою точністю і необхідним обсягом інформації для виявлення зсувонебезпечних територій на підставі нейромережевого аналізу.

Практична значимість. Визначається цільовим спрямуванням даного дослідження для потреб фахівців гірничопромислового комплексу Криворізького регіону. Розроблена карта зонування території за ступенем зсувної небезпеки стане допоміжним матеріалом для початку дослідницької роботи з вивчення просторово-часової зміни структури гірничопромислових ландшафтів Кривбасу та, відповідно, передумовою районування гірничопромислових ландшафтів на локальному та регіональному рівнях.

Результати. Встановлено, що не існує стандартів, що регламентують якість застосовуваних вихідних матеріалів для цілей регіонального зонування зсувних явищ. Більше уваги приділяється локальним методам кількісної оцінки зсувних схилів. Доведено, що з розвитком комп'ютерних технологій автоматизація процесу картування і отримання коректних результатів за допомогою нейронних мереж можлива за рахунок підвищення якості вхідних даних. Рекомендовано для створення цифрової моделі рельєфу використовувати сучасні високоточні геодезичні методи, такі як повітряне лазерне сканування, технології гіперспектральних зйомок; для отримання геологічних даних слід користуватися картами крупнішого масштабу або отримувати дані на інженерно-геологічних свердловинах.

Ключові слова. Зонування території, цифрова модель рельєфу, нейромережевий аналіз, нейронні мережі, гірничопромислові ландшафти, ступінь зсувної небезпеки, гірничопромисловий комплекс.

Kulikovsky O. Ye., Suganyaka O. I., Atamanenko Yu. Yu. Gis technologies for monitoring and forecasting development territories of Kryvbas taking into account zoning according to the degree of landslide danger

Purpose. The study of the use of geoinformation technologies for monitoring and forecasting the development of the territories of Kryvbas, taking into account the zoning according to the degree of landslide danger.

Research methods. The goal and objectives of the study led to the use of general scientific approaches, logical laws of drawing conclusions, and special methods of cognition. The combination of "neural network analysis" is used as the methodological basis of the study. When performing the tasks, the study was based on the world experience in the use of geo-information technologies for mapping and landslide research. The information base of the research was monographs, collections of scientific papers, periodical professional publications, and Internet resources.

Scientific novelty. The criteria for choosing an effective geodetic method for collecting spatial data, which provides rapid automated acquisition of cartographic information with a given accuracy and the necessary amount of information to identify landslide-prone areas based on neural network analysis, are formulated.

Practical significance. It is determined by the target direction of this research for the needs of specialists of the mining complex of the Kryvyi Rih region. The created map of zoning of the territory by the degree of landslide danger will be an auxiliary material for the beginning of research work on the study of spatial and temporal changes in the structure of mining landscapes of Kryvbas and, accordingly, a prerequisite for zoning of mining landscapes at the local and regional levels.

Results. It is established that there are no standards regulating the quality of the initial materials used for the purposes of regional zoning of landslide events. More attention is paid to local methods of quantitative estimation of shear slopes. It is proved that with the development of computer technologies, automation of the mapping process and obtaining correct results using neural networks is possible by improving the quality of input data. It is recommended to use modern high-precision geodetic methods, such as aerial laser scanning, hyperspectral survey technologies, to create a digital terrain model; to obtain geological data, you should use larger-scale maps or obtain data from engineering-geological wells.

Key words: zoning of the territory, digital terrain model, neural network analysis, neural networks, mining and industrial landscapes, the degree of landslide danger, mining complex.

УДК 614.894.3

Чеберячко С.І., Чеберячко Ю.І., Дерюгін О.В., Книш І.М., Пищикова О.В. Удосконалення клапанних систем фільтрувальних респіраторів

Мета. Удосконалення конструкції клапанних вузлів для фільтрувальних респіраторів з високим ступенем герметичності.

Методи дослідження. У роботі використано метод традиційного принципу 3D моделювання клапану видихання, а для перевірки герметичності було застосовано удосконалений метод випробувань у відповідності до стандарту ДСТУ EN 149:2017 "Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтрувальні півмаски для захисту від аерозолів. Вимоги, випробування, маркування (EN 149:2001+A1:2009, IDT)".

Наукова новизна. Встановлено, що на час спрацювання клапану видихання при зміні перепаду тиску впливає не тільки еластичність та товщина матеріалу з якого виготовлений клапан, але і конструкція його сідловини, за рахунок збільшення площі прилягання клапану до поверхні сідловини.

Практична значимість полягає у розробці удосконалених моделей клапанних вузлів фільтрувальних респіраторів, які характеризуються незначним часом спрацювання при зміні перепаду тиску та коефіцієнтом підсмоктування, запропонована нова конструкція сідловини з додатковим кільцем для підвищення їх герметичності.

Результати. Проведений аналіз сучасних конструкцій клапанних вузлів фільтрувальних респіраторів, дозволив визначити їх основний недолік, який стосується погіршення герметичності при потраплянні бруду на поверхню сідловини, що призводить до збільшення часу спрацювання клапану при зміні перепаду тиску у процесі дихання. Розроблена удосконалена конструкція клапанного вузла фільтрувального респіатора, яка забезпечує високу герметичність навіть при потраплянні бруду на поверхню сідловини, за рахунок збільшення площі прилягання через введення додаткового кільця та виконання країв сідловини клапану скошеними для зменшення накопичення на їх поверхні пилових частинок. На підставі даних лабораторних випробувань дослідних зразків встановлено, що перепад тиску таких клапанів не збільшився у порівнянні з існуючими конструкціями, а коефіцієнт підсмоктування складає не більше 0,03 %, що дозволяє забезпечити досить високий коефіцієнт захисту фільтрувальних респіраторів.

Ключові слова: клапанний вузол, респіратор, коефіцієнт підсмоктування, коефіцієнт захисту, герметичність.

Cheberyachko S.I., Cheberyachko Yu.I., Deryugin O.V., Knysh I.M., Pyshchykova O.V. Improvement of valve systems of filter respirators

Purpose. Improving the design of valve assemblies for filter respirators with a high degree of tightness.

Research methods. The method of traditional principle of 3D modeling of the exhalation valve is used in the work, and for checking the tightness an improved test method was used in accordance with DSTU EN 149: 2017 "Respiratory protective devices. Filter half masks for protection against aerosols. Requirements, tests, marking (EN 149: 2001 + A1: 2009, IDT)".

Scientific novelty. It is established that the operation time of the exhalation valve when the pressure drop changes is influenced not only by the elasticity and thickness of the material from which the valve is made but also by the design of its saddle, by increasing the area of the valve to the saddle surface.

Practical significance. The development of improved models of valve assemblies of filter respirators, which are characterized by insignificant operating time when changing the pressure drop and suction coefficient, proposed a new design of the saddle with an additional ring to increase their tightness.

Results. The analysis of modern designs of valve assemblies of filter respirators, allowed to determine their main drawback, which relates to the deterioration of tightness when dirt enters the saddle, which leads to an increase in valve timing when changing the pressure drop during respiration. An improved design of the valve unit of the filter respirator has been developed, which provides high tightness even when dirt gets on the saddle, by increasing the fit area due to the introduction of an additional ring and making the edges of the valve saddle beveled to reduce dust accumulation. Based on the data of laboratory tests of prototypes, it was found that the pressure drop of such valves did not increase compared to existing systems, and the suction coefficient is not more than 0.03%, which allows to ensure a fairly high protection factor of filter respirators.

Key words: valve assembly, respirator, suction coefficient, protection coefficient, tightness.

УДК 622:271

Пижик М.М., Піжик А.М., Пашкова І.О. Оптимізація режиму гірничих робіт, продуктивності та границь кар'єру з урахуванням їх взаємозв'язку

Мета. Метою даної роботи є дослідження та розробка нового критерію з обґрунтування та вибору оптимального варіанту режиму гірничих робіт в умовах залізрудних кар'єрів при експлуатації та комплексній розробці родовищ корисних копалин, удосконалення методики оптимізації головних параметрів кар'єрів, їх граничних контурів, режиму гірничих робіт та виробничої потужності з корисних копалин та розкривних порід.

Методи дослідження. В роботі використані наступні методи досліджень: аналіз літературних джерел з проектування головних параметрів кар'єрів, графо-аналітичні методи з визначення варіантів розробки та методи лінійного програмування (метод гілок та меж).

Наукова новизна. Розроблено новий критерій оцінки режиму гірничих робіт, який дозволяє при оптимізації головних параметрів кар'єрів враховувати їх взаємозв'язок. Останнє суттєво змінює алгоритм визначення головних параметрів кар'єрів: відповідно контурів черги розробки за об'ємами промислових запасів та попиту на корисну копалину визначається продуктивність кар'єру за економічними умовами, після чого обирається режим гірничих робіт, який у максимальному ступені забезпечує динаміку відповідних сортів руд та розкривних порід.

Практична значимість. Отримані наукові результати обумовлені удосконаленням методики проектування режиму гірничих робіт та продуктивності кар'єрів при їх оптимізації. Запропонований новий критерій оптимізації границь кар'єру, режиму гірничих робіт та його виробничої потужності з технологічних сортів корисної копалини та розкривних порід може бути рекомендованим до включення проектними організаціями до нормативно-правових документів з проектування гірничо-видобувних підприємств з відкритим способом розробки.

Результати. На підставі виконаного аналізу сучасних розрахункових принципів та методів визначення головних параметрів кар'єру розроблено новий критерій оцінки варіантів розробки та змінено порядок визначення головних параметрів кар'єрів при їх проектуванні. Висока якість проектування головних параметрів кар'єрів за умов використання запропонованої методики їх визначення та високої культури ведення гірничих робіт дозволить суттєво підвищити збіжність результатів, що позитивним чином вплине на техніко-економічні показники гірничого виробництва.

Ключові слова: відкриті гірничі роботи, режим гірничих робіт, границі кар'єру, продуктивність, собівартість, витрати

Pyzhik M.M., Pyzhik A.M., Pashkova I.O. Optimization of mining operations, productivity and pit boundaries with their interconnection

Purpose. To study and develop a new criterion for substantiating and choosing the optimal variant of the mining mode in the conditions of iron ore open pits during the operation and integrated development of mineral deposits, improving the methodology for optimizing the main parameters of open pit mines, their limiting contours, the mode of mining operations and production capacity for minerals and overburden.

Research methods. The following research methods were used in the work: analysis of literary sources on the planning process of the main parameters of open pits, graph-analytical methods for determining development options and methods of linear programming (branch and bound method).

Scientific novelty. A new criterion for assessing the mode of mining operations has been developed, which allows taking into account their interrelation when optimizing the main parameters of open pits. It significantly changes the algorithm for determining the main parameters of open pits: according to the contours of the development queue, according to the volume of industrial reserves and the demand for minerals, the productivity of the open pit is determined by economic conditions, after which a mining mode is selected that maximally ensures the dynamics of the corresponding grades of ores and overburden.

Practical significance. The obtained scientific results are due to the improvement of the methodology for planning the mode of mining operations and the productivity of open pits during their optimization. The proposed new criterion for optimizing the boundaries of a quarry, the mode of mining operations and their production capacity for technological grades of minerals and overburden rocks can be recommended for inclusion by planning organizations in regulatory documents for the planning of open-pit mining enterprises.

Results. Based on the performed analysis of modern design principles and methods for determining the main parameters of a pit, a new criterion for assessing development options has been developed and the procedure for determining the main parameters of open pits in their planning has been changed. With a high quality of planning of the main parameters of open pits, using the proposed methodology for their determination and a high culture of mining operations, it will significantly increase the convergence of results, positively affect the technical and economic indicators of mining.

Key words: open pit mining, mining mode, quarry boundaries, productivity, self-cost, costs

УДК 004.451.25:[622.788:621.867]

Єфіменко Л.І., Тиханський М.П., Тиханська А.М. Нечітке керування процесом підготовки агломераційної шихти з використанням нечіткого регулятора

Мета. Головною метою цієї роботи є вирішення актуального завдання підвищення ефективності процесу шихтування і покращення якості продуктів збагачення за рахунок автоматизації процесу шихтування шляхом побудови автоматизованої системи керування з використанням засобів нечіткої логіки.

Методи дослідження. Для вирішення цього завдання використані методи математичного моделювання для аналізу якості перехідних процесів і швидкодії розробленої системи управління процесом підготовки агломераційної шихти з моделями нечіткої логіки, теорії ідентифікації систем для вибору і обґрунтування структури математичної моделі об'єкта керування. А також методи розроблені в теорії автоматичного керування, механіці, методи обробки випадкових процесів і математичної статистики, а також, аналіз літературних і патентних джерел, наукове узагальнення раніше виконаних досліджень.

Наукова новизна. Пропонується автоматичне керування підготовкою агломераційної шихти за рахунок зміни швидкості руху конвеєрних живильників та за рахунок врахування параметрів які постійно змінюються, що проявляється у вигляді контрольованих і неконтрольованих збурень і перешкод різного походження, а саме хімічного складу матеріалів, вологості, крупності тощо.

При цьому керування відбувається за рахунок використання нечіткого регулятора, налаштування сучасних мікропроцесорних приладів, які автоматично розраховують коефіцієнти настройки регуляторів в залежності від збурюючих факторів. Таким чином, з'явилася можливість раціонального управління режимом підготовки агломераційної шихти з використанням нечіткого регулятора.

Практична значимість. Керування підготовкою агломераційної шихти за рахунок зміни швидкості стрічкового конвеєра з урахуванням параметрів, які постійно змінюються, що проявляється у вигляді контрольованих і неконтрольованих збурень і перешкод різного походження, а саме якості складових компонентів агломераційної шихти.

Авторами запропонована автоматизована система з використанням нечіткого регулятора, що покращує якість перебігу процесу підготовки шихти до спікання.

Результати. Автоматичне управління конвеєрними установками для підготовки агломераційної шихти до спікання з використанням засобів нечіткої логіки дозволяє враховувати збурюючі впливи зумовлені вимірюваними та невимірюваними збуреннями та підтримувати показники якості управління в заданих межах.

Ключові слова: автоматизація, керування, агломерація, агломераційна шихта, стрічковий конвеєр, нечітка логіка, нечіткий регулятор.

Yefimenko L.I., Tykhanskyi M.P., Tykhanska A.M. Fuzzy control of the sintering charge preparation process using fuzzy regulator

Purpose. To solve the urgent problem of increasing the efficiency of the batching process and improving the quality of enrichment products by automating the batching process by building an automated control system using fuzzy logic tools.

Research methods. Mathematical modeling analyzes the quality of transient processes and the speed of the developed control system for the preparation of the sinter batch with models of fuzzy logic, the theory of system identification for the selection and substantiation of the structure of the mathematical model of the control object. The methods developed in the theory of automatic control, mechanics, methods of processing random processes and mathematical statistics, as well as the analysis of literary and patent sources, scientific generalization of previously performed research.

Scientific novelty. It is proposed to automatically control the preparation of the sinter charge by changing the speed of the conveyor feeders and by taking into account the parameters that are constantly changing, which manifests itself in the form of controlled and uncontrolled disturbances and interferences of various origins, namely, the chemical composition of materials, humidity, size, and the like.

Control occurs through the use of a fuzzy regulator, tuning of modern microprocessor devices, which automatically calculate the tuning coefficients of regulators depending on disturbing factors. Thus, it became possible to efficiently control the sintering charge preparation mode using a fuzzy controller.

Practical significance. Management of the preparation of the sinter batch by changing the speed of the belt conveyor taking into account the parameters that are constantly changing, which manifests itself in the form of controlled and uncontrolled disturbances and disturbances of various origins, namely the quality of the constituent components of the sinter batch.

The authors have proposed an automated system using a fuzzy regulator, which improves the quality of the process of preparing the charge before sintering.

Results. Automatic control of conveyor installations for the preparation of sinter charge before sintering using fuzzy logic means allows to take into account the disturbing effects caused by measurable and unmeasured disturbances and maintain control quality indicators within the specified limits.

Key words: automation, control, agglomeration, agglomeration charge, belt conveyor, fuzzy logic, fuzzy controller

УДК 624.131.23:624.15

Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Барон Т.А. Влаштування основ і фундаментів на просідаючих ґрунтах

Мета. Вивчення влаштування фундаментів на ґрунтах, що змінили свої властивості в процесі експлуатації, а також розглянути посилення ґрунтів шляхом підвищення їх несучої здатності, застосування фундаментів, здатних сприймати негативні впливи просідання ґрунтів.

Методи дослідження. В інженерно-геологічних і гідрогеологічних умовах при будівництві використовуються традиційні способи фундування. Аналіз досвіду фундування в геологічних умовах дозволяє запропонувати до застосування нові й ефективні типи фундаментів і сучасні технології. Особливість методу глибинного ущільнення полягає в тому, що відповідно до сумарної епюри розподілу за глибиною тисків від навантаження фундаментів, власної ваги ґрунту і навантаження від сил тертя, що виникають при просіданнях оточуючих ґрунтів, відбуваються зміни в лесовому масиві за його глибиною. При проектуванні фундаментів на лесових породах існує два основних напрямку, особливості яких необхідно враховувати: виняток неприпустимих осідань при розрахунку фундаментів за II групою граничних станів та конструктивні заходи щодо виключення (обмеження) осідань. Зведення будівель на просідаючих ґрунтах займає особливе місце в теорії і практиці будівництва. Це пояснюється, з одного боку, досить чутливою реакцією просідаючих ґрунтів на зовнішні впливи (зміна вологості, додаткового тиску від споруджуваних будинків і споруд та ін.), з іншого – розширюється спектр об'єктів, що будуються (висотні будівлі житлового та громадського призначення, великі виробничі та фабричні споруди, будівельні комплекси та ін.).

Наукова новизна. Вибір раціональної схеми усунення просідаючих властивостей основи в залежності від типу просідання.

Практична значимість. Від прийнятого проектного рішення залежать в значній мірі вартість і матеріаломісткість об'єкта, терміни будівництва, а також його експлуатаційна надійність.

Результати. Раціональні рішення з конструкції основ і фундаментів досягаються на основі сумісного врахування особливостей ґрунтових умов майданчика, закономірностей розвитку просідань, конструкційних особливостей будівель, умов їх експлуатації, наявності можливих джерел замочування.

Ключові слова: просідаючі ґрунти; паливий фундамент; група граничних станів, будівля

Timchenko R.O., Krishko D.A., Baron T.A. Arrangement of bases and foundations on subsidence soils

Purpose. Study of the construction of foundations on soils that have changed their properties during operation, as well as consider the strengthening of soils by increasing their bearing capacity, the use of foundations that can perceive the negative effects of soil subsidence.

Research methods. In engineering-geological and hydrogeological conditions, traditional methods of founding are used during construction. Analysis of the experience of founding in geological conditions allows us to offer new and effective types of foundations and modern technologies for use. The peculiarity of the method of deep compaction is that, in accordance with the total diagram of the depth distribution of pressures from the load of the foundations, the own weight of the soil and the load from the friction forces arising from subsidence of the surrounding soils, changes occur in the loess massif along its depth. When designing foundations on loess rocks, there are two main directions, the features of which must be taken into account: the elimination of unacceptable settlements when calculating foundations according to the II group of limiting states and constructive measures to exclude (limit) settlement. The construction of buildings on collapsible soils occupies a special place in the theory and practice of construction. This is explained, on the one hand, by a rather sensitive reaction of subsidence soils to external influences (changes in humidity, additional pressure from buildings and structures under construction, etc.), on the other hand, the spectrum of those under construction is expanding (high-rise residential and public buildings, large industrial and factory buildings, building complexes, etc.).

Scientific novelty. The choice of a rational scheme for eliminating subsidence properties of the foundation depending on the type of subsidence.

Practical significance. The cost and material consumption of an object, construction time, and also its operational reliability largely depend on the adopted design decision.

Results. Rational solutions to structures of bases and foundations are achieved on the basis of a joint consideration of the peculiarities of the soil conditions of the site, the patterns of development of subsidence, structural features of buildings, their operating conditions, and the presence of possible sources of soaking.

Key words: subsidence soils; pile foundation; limit state group, building.

УДК 622.026

Антонов А.Ю. Особливості впливу активних середовищ на механізм дезінтеграції гірських порід вибухом

Мета. Встановлення залежності якості дроблення гірської маси та її знеміцнення при вибухових навантаженнях від впливу полярності середовища, що контактує з матеріалом в момент вибуху, вивчення нових можливостей використання поверхнево-активних речовин, а також дослідження даного фактору впливу на подальші процеси переробки.

Методи досліджень. Проведений аналіз теоретичних і практичних досліджень впливу середовища на результати навантажень механічного характеру на зразки різних гірських порід і матеріалів підтвердили актуальність даних досліджень, лабораторних експериментів і можливого подальшого промислового випробування задля вивчення впливу ефекту Ребіндера на дезінтеграцію міцних порід при вибухових навантаженнях.

Наукова новизна. Зроблено заділ по вивченню механізму впливу середовищ різної полярності при вибуховому навантаженні різної інтенсивності на результати руйнування. Встановлений екстремальний характер впливу поверхнево-активних речовин на якість дроблення гірських порід. Знайдені нові можливості для ефективного руйнування масиву.

Практичне значення. Проведені експерименти свідчать про те, що впровадження технічних рішень, які забезпечили б створення в момент вибуху з підвищеним вибуховим навантаженням середовища з високим вмістом води, водяної пари або аерозолу з високою концентрацією води, дозволило б зменшити питомі витрати енергії на подальше дроблення і подрібнення матеріалу на 15-25%.

Результати. Встановлено, що ефективність вибухового навантаження гірської маси залежить від полярності середовища, що контактує з матеріалом в момент вибуху. Для гідрофільних мінеральних агрегатів ефективність вибухового руйнування підвищується з ростом полярності середовища. Вплив полярності середовища на результати вибухового руйнування посилюється зі зростанням вибухового навантаження (питомої витрати вибухової речовини) і має деяке оптимальне значення, залежне від властивостей мінеральної системи. При вибуховому руйнуванні гідрофільних мінеральних систем у водному середовищі введення поверхнево-активних добавок (ПАР), які активно адсорбуються на твердій фазі, інтенсифікує процес руйнування. При перевищенні критичної концентрації міцелоутворення ефективність дії ПАР знижується. Подрібнення рудної маси, підірваної в сильнополярному середовищі, протікає з більшою швидкістю і меншим шламоутворенням, ніж маси, підірваної в неполярному середовищі.

Ключові слова: гірські породи, вибухове навантаження, ефект Ребіндера, полярність середовища, знеміцнення порід, поверхнево-активні добавки, кінетика подрібнення.

Antonov A.Yu. Influence of active media on the mechanism of rock disintegration by explosion

Purpose. Establishment of dependence of quality of crushing of rock mass and its weakening at explosive loadings on influence of polarity of the environment in contact with material at the moment of explosion, studying of new possibilities of use of surfactants, and also research of this factor of influence on further processing.

Research methods. The analysis of theoretical and practical studies of the influence of the environment on the results of mechanical loads on samples of different rocks and materials confirmed the relevance of these studies, laboratory experiments and possible further industrial testing to study the effect of Rebinder on the disintegration of strong rocks under explosive loads.

Scientific novelty. A study has been made to study the mechanism of influence of media of different polarity under explosive loading of different intensity on the results of destruction. The extreme nature of the influence of surfactants on the quality of rock crushing has been established. New opportunities have been found for the effective destruction of the array.

Practical significance. The experiments show that the introduction of technical solutions that would ensure the creation at the time of the explosion with a high explosive load environment with a high content of water, water vapor or aerosol with a high concentration of water, would reduce the specific energy consumption for further crushing and grinding material 15-25%.

Results. It is established that the efficiency of the explosive load of the rock mass depends on the polarity of the medium in contact with the material at the time of the explosion. For hydrophilic mineral aggregates, the efficiency of explosive destruction increases with increasing polarity of the medium. The influence of the polarity of the medium on the results of explosive destruction increases with increasing explosive load (specific consumption of explosives) and has some optimal value, depending on the properties of the mineral system. In the explosive destruction of hydrophilic mineral systems in an aqueous medium, the introduction of surface-active additives (surfactants), which are actively adsorbed on the solid phase, intensifies the destruction process. When the critical concentration of micelle formation is exceeded, the effectiveness of surfactants decreases. The grinding of ore mass blown up in a strongly polar medium proceeds at a higher rate and less sludge formation than the mass blown up in a nonpolar medium.

Key words: rocks, explosive load, Rebinder effect, polarity of the medium, rock softening, surfactants, grinding kinetics.

УДК 622.807

Лапшин О. Є., Лапшин О. О., Худик М. В. Підвищення безпеки при проведенні підняттявих виробок в шахтах

Мета. Метою цього дослідження є підвищення безпеки праці при проведенні гірничих виробок в умовах шахт. Для видобутку корисних копалин (залізна руда, кам'яне вугілля, мідні руди) при їх підземній розробці, гірничовидобувні підприємства проходять велику кількість гірничих виробок різного призначення (горизонтальні, верти-

кальні, похилі). Наявність розгалуженої системи гірничих виробок у шахтах створює великі труднощі для створення безпечних та комфортних умов праці за якістю складу шахтної атмосфери. Внаслідок низької ефективності вентиляції у вибоях тупикових виробок можуть відбуватись одиночні та групові гострі професійні отруєння, особливо при проведенні підняттях виробок, оскільки отруйні гази легші за повітря і збираються у верхній частині такої виробки.

Методи дослідження. На основі аналізу умов проведення підняттях гірничих виробок та узагальнення літературних джерел були визначені основні небезпечні і травмуючі фактори, а також описані заходи для зменшення їх негативного впливу на працюючих.

Наукова новизна. Надано характеристику небезпечного пилогазового утворення при проведенні підняттях виробок буро-підричним способом та обґрунтовано метод його знешкодження за допомогою активованої водоповітряної суміші.

Практична значимість. Розроблено конструкцію установки для знешкодження і видалення шкідливих пилогазових утворень після підривання шпурів за межі підняттях виробки. Застосування технічних засобів, які утворюють водоповітряну суміш, дозволяє нейтралізувати отруйні гази протягом регламентованого проміжку часу.

Результати. Наведено кількісні величини і концентрації шкідливих речовин, що утворюються під час підривання шпурів у вибоях виробок, дається аналіз способів і засобів їх неефективного провітрювання. Розроблено пристрій для знешкодження і видалення шкідливих пилогазових утворень з вибою виробки, що дозволяє підвищити безпеку працюючих при проведенні підняттях виробок в умовах шахт. Дається організаційний алгоритм виконання робіт для проведення підняттях виробки в умовах шахт.

Ключові слова: виробка, вибій, повітря, пил, гази, пристрій, вибух, безпека.

Lapshyn O. Ye., Lapshyn O. O., Khudyk M. V. Improving safety during rise workings in mines

Purpose. To improve labor safety when carrying out mine workings in mines. For the extraction of minerals (iron ore, coal, copper ores) during their underground development, mining enterprises go through a large number of mine workings for various purposes (horizontal, vertical, inclined). The presence of an extensive system of mine workings in mines creates big problems for creation of safe and comfortable labor conditions by quality of mine atmosphere composition. Due to the low efficiency of ventilation in the faces of blind drifts, single and group acute occupational poisoning can occur, especially during rise workings, since poisonous gases are lighter than air and are collected in the upper part of such workings.

Research methods. Based on the analysis of the conditions for the rise mine workings and the generalization of literary sources, the main hazardous and traumatic factors were identified, as well as measures were described to reduce their negative impact on workers.

Scientific novelty. The characteristic of dangerous dust and gas formation during the rise workings by the drilling and blasting method is presented and the method of its neutralization by means of an activated water-air mixture is substantiated.

Practical significance. The design of the installation for neutralization and removal of harmful dust and gas formations after blasting of blastholes outside the rise working has been developed. The use of technical means that create a water-air mixture allows you to neutralize poisonous gases within a regulated period of time.

Results. The quantitative values and concentrations of harmful substances, which are formed during the blasting of blastholes in the working faces, are given, an analysis of the methods and means of their ineffective ventilation is given. An installation has been developed for neutralizing and removing harmful dust and gas formations from the working face, which makes it possible to increase the safety of workers when carrying out rise workings in mines. An organizational algorithm is given for the execution of work to carry out the rise workings in the conditions of a mine.

Key words: working, face, air, dust, gases, installation, explosion, safety

УДК 621.771

Чубенко В.А., Ярош Т.П., Хіноцька А.А. Дослідження витрат енергії при холодному прокатуванні тонких листів

Мета. Дослідити витрати енергії при холодному прокатуванні тонких сталевих листів і скласти енергетичний баланс процесу. Сучасний розвиток прокатного виробництва пов'язаний з раціональним використанням енергетичних ресурсів. Технологія виготовлення тонких листів, які в подальшому використовуються в машинобудуванні та будівництві, постійно удосконалюється з метою підвищення продуктивності устаткування, поліпшення якості виробів і зменшення собівартості процесу. При розробці нових технологічних процесів велика увага приділяється енергозбереженню, тому дослідити витрати енергії при холодному прокатуванні тонких листів і скласти енергетичний баланс процесу є задачею актуальною, вирішення якої дозволить контролювати витрати енергії на прокатування.

Методи дослідження базуються на використанні фундаментальних положень теорії обробки металів тиском і розрахункових методів визначення енергосилових параметрів прокатування.

Наукова новизна полягає у тому, що при дослідженні енергетичних складових процесу холодного прокатування було виявлено прихід надлишкової енергії в осередок деформації.

Практична значимість роботи полягає у встановленні раціональних режимів обробки, що дозволяють зменшити витрати енергії на прокатування тонких листів.

Результати. Було детально досліджено осередок деформації при холодному прокатуванні. Встановлено приходні статті енергетичного балансу й енергетичні витрати в осередку деформації на перетворення енергії в кінетичну енергію розкату, нагрівання металу при обробці, потенційну енергію утворення нової поверхні, роботу деформації. При дослідженні враховувались опір матеріалу пластичній деформації та його зміни при холодному обтисненні. Було запропоновано оновлену методику розрахунку енергетичного балансу осередку деформації при холодному прокатуванні тонких листів та перевірено збалансування розрахованого енергетичного балансу. Розрахунки показали, що при прокатуванні тонкого листа при кімнатній температурі енергія перетворюється в теплоту та витрачається на зміцнення металу. Збалансувати прихід і витрати енергії можна збільшенням температури в осередку деформації. При цьому зростає тепловміст металу без зростання його міцності у випадку холодного прокатування.

Ключові слова: осередок деформації, холодне прокатування, тонкий лист, кінетична енергія, потенційна енергія, енергетичний баланс.

Chubenko V.A., Yarosh T.P., Khinotska A.A. Study of energy consumption for cold rolling of thin sheets

Purpose. To investigate energy consumption during cold rolling of thin steel sheets and to calculate energy balance of process. Modern development of rolling industry is connected with rational usage of energy resources. Technology of manufacturing of thin sheets, which are further used in mechanical engineering and construction, is constantly being improved in order to increase productivity of equipment, improve quality of products and reduce self-cost of process. When developing new technological processes, much attention is paid to energy saving, therefore, to study energy consumption during cold rolling of thin sheets and to calculate energy balance of process is relevant task; solution of this task will enable controlling energy consumption for rolling.

Research methods. Fundamental provisions of theory of metal treatment under pressure and calculation methods for determining energy-power parameters of rolling.

Scientific novelty. When calculating energy balance of cold rolling process, excess energy in deformation zone was identified.

Practical significance. Identification of rational treatment modes that reduce energy consumption for thin sheets rolling.

Results. Deformation zone during cold rolling has been studied in detail. Input parts of energy balance and energy consumption in deformation zone for conversion of energy into kinetic energy of rolling, heating of metal during treatment, potential energy of new surface formation, and work of deformation have been established. Research took into account resistance of material to plastic deformation and its changes during cold reduction. New method was suggested for calculating energy balance of deformation zone during cold rolling of thin sheets, and balancing of calculated energy balance was checked. Calculations have shown that when rolling thin sheet at room temperature, energy is converted into heat and is used on strengthening the metal. It is possible to balance appearance and consumption of energy by increasing temperature in deformation zone. This increases heat content of metal without increasing its strength in case of cold rolling.

Key words: deformation zone, cold rolling, thin sheet, kinetic energy, potential energy, energy balance

УДК 622.274.3

Письменний С.В. Удосконалення технології розробки залізрудних родовищ системами підповерхового обвалення руди та вмшуючих порід

Мета. Метою виконаних досліджень є удосконалення технології розробки залізрудних родовищ системами підповерхового обвалення руди та вмшуючих порід, яка дозволить підвищити кількість видобутої рудної маси при наявності нестійких порід всіячого боку.

Методи дослідження. При видобутку багатих залізних руд Криворізького залізрудного басейну застосовують системи розробки з відкритим очисним простором та з обваленням порід, які дозволили підвищити вміст заліза в видобутій рудній масі на 0,5–1,5%. Основним недоліком даних систем розробки є обмежені умови застосування. Так, наявність зі сторони всіячого боку нестійких порід суттєво погіршують показники вилучення. Запропонований варіант системи розробки з переущільненим шаром руди у всіячого боку виключає проникнення пустих порід в очисний блок, що відпрацьовується. Однак, при визначенні ширини переущільненого шару не враховуються фізико-механічні властивості гірських порід. Так, при відпрацюванні блоку в нестійких породах ширина цілика у всіячого боку не забезпечує йому стійкість, що призводить до руйнування цілика та неможливості створення переущільненого шару.

Наукова новизна. Вперше запропоновано для умов Криворізького залізрудного басейну використовувати при визначенні цілика у всіячого боку одночасно методики НДГРІ та Борисенко С.Г. з урахуванням максимальних допустимих діючих напружень та кута падіння порід всіячого боку.

Практична значимість. Запропонована технологія відпрацювання залізних руд системами з масовим обваленням руди в нестійких породах всіячого зі застосуванням переущільненого шару руди та двостадійним відпрацюванням очисного блоку. При визначенні ширини очисного блоку навхрест простягання необхідно враховувати ширину тимчасового цілика у всіячого боку.

Результати. Розроблений варіант системи масового обвалення руди зі застосуванням захисного шару рудної маси у всіячого боку представленого нестійкими породами дозволяє забезпечити стійкість очисній камері та підвищити якість видобутої рудної маси на 0,33%. Впровадження даного варіанту системи розробки дозволить отримати розрахунковий прибуток на рівні 58,32 млн.грн. за рахунок збільшення вмісту заліза в видобутій рудній масі.

Ключові слова: підземна розробка, очисна камера, цілик, всіячий бік, якість, стійкість, переущільнений шар

Pysmennyi S.V. Improvement of iron ore deposits development by systems of sub-surface collapse of ore and containing rocks

Purpose. To improve the technology of development of iron ore deposits by systems of subsurface collapse of ore and host rocks, which increase the extracted ore mass in the presence of unstable rocks of the hanging side.

Research methods. During the extraction of rich iron ores of the Kryvyi Rih iron ore basin, development systems with open purification space and rock collapse are used, which allowed to increase the iron content in the extracted ore mass by 0.5–1.5%. The main disadvantage of these development systems is the limited application conditions. Thus, the presence of unstable rocks on the hanging side significantly impairs the extraction rates. The proposed version of the development system with an overcompacted layer of ore on the hanging side eliminates the penetration of waste rock into the waste treatment unit. However, when determining the width of the compacted layer, the physical and mechanical properties of rocks are not taken into account. Thus, when working out the block in unstable rocks, the width of the whole on the hanging side does not provide it with stability, which leads to the destruction of the whole and the impossibility of creating an overcompacted layer.

Scientific novelty. For the first time it was proposed to use the methods of NDGRI and Borysenko S.G. for the conditions of the Kryvyi Rih iron ore basin when determining the whole at the hanging side. taking into account the maximum allowable operating stresses and the angle of incidence of the rocks of the hanging side.

Practical significance. The technology of mining of iron ores by systems with mass collapse of ore in unstable rocks of hanging with use of the overcompacted layer of ore and two-stage working off of the clearing block is offered. When determining the width of the cleaning unit crosswise, it is necessary to take into account the width of the temporary pillar on the hanging side.

Results. The developed variant of the system of mass collapse of ore with the use of a protective layer of ore massif on the hanging side represented by unstable rocks allows to ensure the stability of the purification chamber and improve the quality of the extracted ore mass by 0.33%. The introduction of this variant of the development system will allow to obtain the estimated profit at the level of 58.32 million UAH by increasing the iron content in the extracted ore mass.

Key words: underground development, treatment chamber, whole, hanging side, quality, stability, overcompacted layer

УДК 681.5:621.311.1

Грамм О.О., Романов С.О., Савицький О.І. Визначення основних факторів впливу на споживання електричної енергії для системи автоматичного прогнозування споживання підприємства гірничо-металургійного комплексу

Мета. Аналіз і визначення основних факторів, що впливають на споживання електричної енергії підприємством гірничо-металургійного комплексу і аналіз їх впливу на споживання електричної енергії для підвищення точності системи автоматичного прогнозування рівня споживання електричної енергії підприємством гірничо-металургійного комплексу, що дозволить підвищити енергоефективність підприємства, зменшити його витрати на енергопостачання і збитки, пов'язані з виходом споживання електричної енергії за межі замовлення, та знизити собівартість продукції завдяки зниженню витрат на електропостачання.

Методи дослідження у роботі засновані на методах аналітичної обробки статистичних даних та кореляційного аналізу впливу різних факторів на споживання електричної енергії.

Наукова новизна роботи полягає у визначенні основних аналітичних залежностей та коефіцієнтів кореляції між різними факторами, що впливають на споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу, спираючись на що можна розробити більш точну модель для прогнозування споживання електроенергії.

Практична значимість роботи полягає у визначенні переліку основних факторів, що впливають на споживання електричної енергії підприємством гірничо-металургійного комплексу, що у перспективі має дозволити підвищити точність прогнозування споживання електричної енергії при розробці моделі прогнозування.

Результати. Споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу найбільший вплив мають такі фактори, як параметри технологічного процесу і його циклічність у часі, значення історичного споживання електричної енергії і температура навколишнього середовища. Визначено також, що генерація реактивної енергії має незначний вплив на споживання активної енергії, тому доцільно в подальшому розглянути можливість використання цього фактору для підвищення точності прогнозування автоматичного споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу. Також визначено, що такий параметр як день тижня, що часто використовується для прогнозування споживання електроенергії різними підприємствами та населенням використовувати для прогнозування споживання електроенергії підприємством гірничо-металургійного комплексу недоцільно через те, що зв'язок між цими параметрами не явний і не постійний. Середній коефіцієнт кореляції споживання електричної енергії з днем тижня становить 0.34, споживання електроенергії зі споживанням у попередній період 0.984, споживання електроенергії з середньодобовою температурою -0,47, споживання електроенергії з генерацією реактивної енергії 0,2.

Ключові слова: автоматизація, електроенергії, прогнозування, енергетична біржа, кореляція, залежності

Hramm O.O., Romanov S.O., Savitskyi O.I. Main factors influencing the electricity consumption for the system of automatic forecasting of consumption of the mining and metallurgical complex.

Purpose. To analyze and determine the main factors affecting electricity consumption by the mining and metallurgical complex and analysis of their impact on electricity consumption to improve the accuracy of automatic forecasting of electricity consumption by the mining and metallurgical complex, which will increase energy efficiency, reduce its energy costs and losses associated with the outflow of electricity consumption outside the order, and reduce production costs by reducing electricity costs.

Research methods. The methods of analytical processing of statistical data and correlation analysis of the influence of various factors on electricity consumption.

Scientific novelty. The main analytical dependences and correlation coefficients between different factors influencing the electricity consumption of the mining and metallurgical complex, based on which you can develop a more accurate model for forecasting electricity consumption.

Practical significance. The list of main factors influencing the electricity consumption of the mining and metallurgical complex, which in the long run should increase the accuracy of forecasting electricity consumption in the development of the forecasting model.

Results. Electricity consumption by the mining and metallurgical complex is most influenced by such factors as the parameters of the technological process and its cyclicity over time, the value of historical electricity consumption and ambient temperature. It is also determined that the generation of reactive energy has a negligible impact on the consumption of active energy, so it is advisable to further consider the possibility of using this factor to improve the accuracy of forecasting automatic electricity consumption by the mining and metallurgical complex. It is also determined that such a parameter as the day of the week, which is often used to forecast electricity consumption by different enterprises and the population, should not be used to forecast electricity consumption by the mining and metallurgical complex due to the fact that the relationship between these parameters is not clear and constant. The average correlation coefficient of electricity consumption with the day of the week is 0.34, electricity consumption with consumption in the previous period 0.984, electricity consumption with average daily temperature -0.47, electricity consumption with reactive energy generation 0.2.

Key words: automation, electricity, forecasting, energy exchange, correlation, dependencies

УДК 622.7

Олійник Т.А., Вільгельм М.Н. Передумови підвищення селективності розділення рудної та нерудної складової пінного продукту флотації

Мета. Метою досліджень є оцінка можливості застосування у схемах переробки пінного продукту флотації магнетиту гідравлічного грохоту на підставі вивчення гранулометричного складу продуктів та закономірностей розподілу мінералів за фракціями.

Методи дослідження. Дослідження гранулометричного та мінералогічного складу продуктів у лабораторних умовах з використанням устаткування для магнітного, вібраційного та флотаційного збагачення.

Наукова новизна. Наукова новизна результатів дослідження полягає у визначенні необхідності у подальших дослідженнях формування оптимальних умов сегрегації частинок пінного продукту флотації магнетиту за рахунок дефлокуляції і гетерокоагуляції мінералів пінного продукту на підставі вивчення особливостей адсорбції реагентів на його поверхні і взаємодії частинок з бульбашками повітря, а також визначення закономірності селективного руйнування мінеральних флокул та комплексів за рахунок змінення направленості сил поверхневого натягу.

Практичне значення. Практична значущість отриманих результатів може бути отримана внаслідок визначення основних показників розділення пінного продукту.

Результати. Встановлено, що у пінному продукті флотації магнетиту у фракції більше 0,05 мм сконцентровано зростки кварцу і силікатів, рідше кварцу і магнетиту. Матеріал фракцій -0,05 + 0,044 мм та -0,044+0,02 мм має близький мінеральний склад, але вміст магнетиту в ньому трохи вище в порівнянні з матеріалом фракції + 0,05 мм. Матеріал фракції -0,02 + 0 мм являє собою суміш розкритих частинок магнетиту (64 %) з домішкою розкритих уламків кварцу і силікатів (26%).

Визначено, що фракціонування гранулометричного складу пінного продукту дозволяє спрогнозувати можливість застосування у схемі збагачення пінного продукту гідравлічного грохочення за граничним зерном 0,02 мм та подальшим послідовним подрібненням і збагачення подрішного і надришного продуктів грохоту.

Ключові слова: магнетит, продукт пінний, флотація, фракціонування, розділення гідравлічне.

Oliinyk T.A., Vilhelm M.N. Prerequisites for increasing the selectivity separation of ores and other components of the froth flotation product

Purpose. The purpose of these researches is to assess the possibility of using a hydraulic screen the flotation's schemes of processing the froth product of magnetite based on the study of the granulometric composition of the products and particle-size distribution of minerals in the fractions.

Research methods. The research of the granulometric and mineralogical composition of products in laboratory conditions using magnetic, vibration and flotation enrichment equipment.

Scientific novelty. The scientific novelty of the research lies in determining the need for next researches on the formation of optimal conditions for segregation of magnetite flotation the froth particles due to deflocculation and heterocoagulation of minerals of the froth product on the basis of studying the characteristics of adsorption of reagents on its surface and the interaction of particles with air bubbles, as well as determining the law of selective destruction of mineral floccules and complexes by changing the orientation of surface tension forces.

Practical value. The practical significance of the results can be obtained by determining the main indicators of separation of the froth product.

Results. It is defined, that folds of quartz and silicates, less often quartz and magnetite are concentrate in the froth product of magnetite flotation in fractions over 0.05 mm. The material of fractions 0.05 + 0.044 mm and -0.044 + 0.02 mm has a similar mineral composition, but its magnetite content is slightly higher compared with the material of fraction + 0.05 mm. The material of the fraction -0.02 + 0 mm is a blend of disclosed magnetite particles (64%) with an impurity of disclosed quartz and silicate fragments (26%).

It was determined that the fractionation of the particle size distribution of the froth product allows to predict the possibility of application in the scheme of enrichment of the froth product of hydraulic screening by the limiting grain size of 0.02 mm and subsequent consecutive grinding and enrichment of undersize and oversize products of the screen.

Key words: magnetite, froth product, flotation, fractionation, hydraulic separation

УДК 658.38: 621.1

Наливайко В.Г., Лосьєв К.В. Вплив травмонебезпечності основних видів ремонтних робіт на теплогенеруючих підприємствах у холодний період року

Мета. Метою роботи є встановлення способів підвищення безпеки праці при виконанні ремонтних робіт на теплотрасах і теплогенеруючого обладнання. Також необхідно визначити найбільш травмонебезпечні види робіт і спеціальності працівників підприємств теплопостачання які їх виконують, запропонувавши способи зменшення аварійного виробничого навантаження на них. Зменшення кількості аварійних робіт може бути досягнуто шляхом проведення профілактичних робіт на теплотрасах і теплогенеруючого обладнання, скорочуючи при цьому кількість небезпечних робіт, а так само трудові та матеріальні витрати пов'язані з їх виконанням.

Методи дослідження. Дослідження проводилися з використанням математико-статистичного методу експертних оцінок. Даний метод дозволяє оперативно виявити найбільш проблемні та витратні роботи підприємств теплопостачання, які виникають у процесі експлуатації обладнання і теплотрас, так і з раптовими аварійними ситуаціями. Таким чином, можна визначити перелік профілактичних робіт, які повинні бути виконані в першу чергу.

Наукова новизна. Дослідження з використанням математико-статистичного методу експертних оцінок дозволять швидко визначити проблеми при організації профілактичних ремонтів на підприємствах теплопостачання.

Практична значимість. Висновки отримані за результатами досліджень дозволять розробити рекомендації, щодо зменшення кількості аварійних робіт на теплотрасах. Визначивши найбільш травмонебезпечні види робіт і спеціальності працівників підприємств теплопостачання, які їх виконують, необхідно зменшити виробниче навантаження,

пов'язане з аварійними роботами, через проведення профілактичних робіт на найбільш потенційно небезпечних аварійних ділянках.

Розроблені рекомендації на основі математико-статистичного методу експертних оцінок дозволяють покращати виробництво організаційних робіт по ліквідації аварійних ділянок теплотрас і знизити кількість аварійних робіт, що повинно зменшити захворюваність працівників підприємств теплопостачання та підвищити безпечність праці особливо в осінньо-зимовий період року.

Результати. На підставі профілактичних графіків ремонтних робіт можна скласти першочерговість заміни труб аварійних ділянок теплотрас, що полегшить планування ремонтних робіт по заміні аварійних ділянок трубопроводів. Найбільш травмонебезпечними роботами є газозварювальні і електрозварювальні роботи відповідно спеціальностями котрі їх виконують є газозварник та електрозварник. Умови їх роботи експерти визначають як небезпечні і шкідливі.

Ключові слова: експертна оцінка, математико-статистичний метод експертних оцінок, бали оцінки.

Nalivaiko V.G., Losiev K.V. Impact of injury hazard of main repair works on heat generating enterprises in cold period of year

Purpose. To establish methods for improving labor safety during repair work on heating trays and heat-generating equipment. To determine the most traumatic work and specialties of employees of heat supply enterprises, suggesting ways to reduce the emergency production load. Reduction of the number of emergency works can be achieved by carrying out preventive works on heat trays and heat-generating equipment, thus reducing the number of hazardous works, as well as labor and material costs.

Research methods. The mathematical and statistical method allows to quickly identify the most problematic and costly work of heat supply enterprises, arising both during the operation of equipment and heating lines, and with sudden emergencies. Thus, you can define a list of preventive work that should be carried out in the first place.

Scientific novelty. Studies using the mathematical and statistical method of expert assessments will quickly identify problems in the organization of preventive repairs at heat supply enterprises.

Practical significance. The conclusions obtained from the research results make it possible to develop recommendations for reducing the number of emergency works on heating trays. Having determined the most traumatic types of work and specialties of employees of heat supply enterprises who perform them, it is necessary to reduce the production load associated with emergency work through preventive work in the most potentially dangerous emergency areas. The developed recommendations based on the mathematical and statistical method of expert assessments will improve the performance of organizational work on the elimination of emergency sections of heating lines and reduce the number of emergency work, which should reduce the incidence of workers of heat supply enterprises and increase labor safety especially in the autumn-winter period of the year.

Results. On the basis of preventive schedules of repair works it is possible to make priority of replacement of pipes of emergency sections of heating lines, which will facilitate planning of repair works on replacement of emergency sections of pipelines. The most traumatic works are gas welding and electric welding works, respectively, specialties performing them are the gas welder and electric welding. Experts define their working conditions as dangerous and harmful.

Key words: expert evaluation, mathematical and statistical method of expert assessments, scores

УДК 624.131:624.15

Тімченко Р. О., Крішко Д. А., Бронів Д. Г. Фактори геотехнічної і геомеханічної безпеки висотних будівель

Мета. Оцінка і прогнозування станів системи «основа – фундамент – висотна будівля», що впливають на стійкість і безпеку об'єктів капітального будівництва. При розробці проектних рішень конструкцій фундаментів висотних будівель забезпечення геотехнічної і геомеханічної безпеки є найбільш актуальною проблемою.

Методи дослідження. При будівництві фундаментів висотних будівель виникає ряд особливостей, які необхідно враховувати при проектуванні. Вибір конструкції фундаментів, крім перерахованих вище принципів, залежить від фізико-механічних характеристик і характеру навантаження ґрунтів основи і навантажень, що передаються на них, форми і розмірів висотної будівлі, розмірів будівельного майданчика, наявності навколишніх будинків, тунелів (метро) і підземних комунікацій. Розрахунки фундаментів висотних будівель виконуються, як і для фундаментів звичайних будинків, за двома групами граничних станів відповідно до нормативів з урахуванням особливостей. Визначення величин навантажень на основу і розрахунки основ, фундаментів і підземних частин будівлі слід виконувати, розглядаючи спільну роботу системи «основа – фундамент – висотна будівля». Система «основа – фундамент – висотна будівля» є областю системної взаємодії висотного споруди і ґрунтового масиву, умови якого визначаються складом інженерно-геологічних компонент і їх параметрів з урахуванням глибини закладення фундаменту, його конструктивних особливостей і величини силового навантаження, доданої в існуючу систему міської забудови.

Наукова новизна. Отримання комплексної інформації про компоненти сфери взаємодії основи з фундаментом і висотною будівлею дозволяє обґрунтувати вибір типу фундаменту, глибину його залягання, висоту (поверховість) та застосування інженерного захисту від екзогенних геологічних процесів.

Практична значимість. Проведення всебічного моніторингу на всіх етапах будівництва та після його завершення до стабілізації деформацій і науково-технічного супроводу проектування і будівництва.

Результати. Відзначено можливість розвитку негативних процесів, що впливають на стійкість і безпечне функціонування висотної будівлі, як на стадії розробки котловану, так і під час експлуатації висотної будівлі, пов'язана з особливостями інженерно-геологічних умов області взаємодії системи.

Ключові слова: система «основа – фундамент – висотна будівля»; навантаження; області взаємодії.

Timchenko R.O., Krishko D.A., Bronov D.G. Factors of geotechnical and geomechanical safety of high-rise buildings

Purpose. Assessment and forecasting of the states of the system "base – foundation – high-rise building", affecting the stability and safety of capital construction facilities. When developing design solutions for structures of foundations of high-rise buildings, ensuring geotechnical and geomechanical safety is the most urgent problem.

Research methods. When constructing the foundations of high-rise buildings, a number of features arise that must be taken into account when designing. The choice of foundation design, in addition to the principles listed above, depends on the physical and mechanical characteristics and the nature of the bedding of the foundation soils and the loads transferred to them, the shape and size of the high-rise building, the size of the construction site, the presence of surrounding buildings, tunnels (metro) and underground utilities. Calculations of the foundations of high-rise buildings are carried out, as for the foundations of ordinary houses, for two groups of limit states in accordance with the standards, taking into account the peculiarities. Determination of the values of loads on the base and calculations of the foundations, foundations and underground parts of the building should be carried out considering the joint operation of the system "base – foundation – high-rise building". The system "base – foundation – high-rise building" is an area of systemic interaction of high-rise structures and soil massif, the conditions of which are determined by the composition of engineering and geological components and their parameters, taking into account the depth of the foundation, its design features and the magnitude of the force load applied to the existing system urban development.

Scientific novelty. Obtaining comprehensive information about the components of the sphere of interaction between the foundation and the foundation and a high-rise building makes it possible to justify the choice of the type of foundation, its depth, height (number of storeys) and the use of engineering protection from exogenous geological processes.

Practical significance. Conducting comprehensive monitoring at all stages of construction and after its completion to stabilize deformations and scientific and technical support for design and construction.

Results. The possibility of the development of negative processes affecting the stability and safe functioning of a high-rise building, both at the stage of excavation and during the operation of a high-rise building, is noted, associated with the peculiarities of the engineering and geological conditions of the interaction area of the system.

Key words: system "base – foundation – high-rise building"; loads; areas of interaction.

УДК 622.1

Кондратенко М.М., Савельєв С.Г. Оцінка ефективності застосування ультразвуку в процесах підготовки металургійної сировини до переділу

Мета. Дослідження можливості застосування і ефективності ультразвукової обробки в процесах підготовки металургійної сировини до переділу.

Розглянуто відмітні особливості ультразвукових хвиль, явища стабільної та нестабільної кавітації, умови їх виникнення. Зазначено про необхідність процесів огрудкування тонких концентратів залізорудних матеріалів для забезпечення початкової міцності агрегату дисперсних часточок після глибокого збагачення і важливість застосування зміцнювальних домішок в шихту огрудкування. В якості останніх здебільшого використовують бентоніти, які задля поліпшення їх властивостей піддають хімічній або механічній активації.

Відзначено широке розповсюдження використання ультразвукових технологій у народному господарстві взагалі і наявність вдалив методик ультразвукової обробки бентонітів з метою покращення їх в'язучих властивостей зокрема. Ця обробка фактично є різновидом механічної активації. Проаналізовано можливі механізми впливу ультразвукової обробки на зміну властивостей оброблювального матеріалу. Зроблено висновок про можливість отримання позитивного результату ультразвукової активації бентонітів, які використовують при огрудкуванні металургійної сировини.

Методи дослідження. В роботі використані загальнологічні методи наукового дослідження – аналіз і синтез, аналогія, узагальнення.

Наукова новизна роботи. На основі проведеного літературного аналізу встановлено, що за відповідних параметрів обробки застосування ультразвуку може дати позитивний ефект у покращенні в'язучих властивостей бентоніту, як зміцнювальної домішки в шихту огрудкування.

Практична значущість роботи полягає у необхідності розробки та застосуванні ультразвукових, кавітаційних, бічастотних методів впливу на металургійну шихту в процесах її підготовки до огрудкування.

Результати роботи свідчать про те, що застосування ультразвуку за відповідних параметрів обробки може дати позитивний ефект. Подальше проведення досліджень доцільно продовжити у напрямку вивчення прив'язки певних видів бентоніту до режимних параметрів його обробки ультразвуком для використання в якості зміцнювальних домішок у шихту огрудкування.

Ключові слова: бентоніт, диспергування, ультразвук, кавітація, монтморилоніт, обкотиші, міцність

Kondratenko M.M., Savelev S.G. Efficiency of application of ultrasound in the preparation of metallurgical raw material to the redistribution

Purpose. To study possibility of application and efficiency of ultrasonic treatment in the processes of preparation of metallurgical raw material to the redistribution. Distinctive features of ultrasonic waves, phenomena of stable and unstable cavitation, conditions of their occurrence are considered. There is a need for pelletizing fine concentrates of iron ore materials to ensure initial strength of the aggregate of dispersed particles after deep enrichment and the importance of using reinforcing impurities in the pelletizing charge. As the latter, bentonites are most often used, which are subjected to chemical or mechanical activation to improve their properties.

It was noted the widespread use of ultrasonic technologies in the national economy in general and the presence of successful methods of ultrasonic processing of bentonites in order to improve their binding properties. This treatment is actually a form of mechanical activation. Possible mechanisms of ultrasonic treatment influence on change of properties of treated material are analyzed. It is concluded that it is possible to obtain a positive result of ultrasonic activation of bentonites, which are used in pelletizing metallurgical raw materials.

Research methods. The paper uses the methods of scientific research-analysis and synthesis, analogy, generalization.

Scientific novelty. It is set on the basis of the conducted literary analysis, that at the corresponding parameters of treatment application of ultrasound can give a positive effect in the improvement of astringent properties of bentonite, as consolidating addition in the charge of palletization.

Practical significance. Development and application of ultrasonic, cavitation, bifrequency methods of affecting metallurgical charge in the preparation to the palletization.

Results. Application of ultrasound at the corresponding treatment parameters give a positive effect. Further research is to continue the study of attachment of certain types of bentonite to the regime parameters of treatment an ultrasound for using as strengthening additions in the charge of palletization.

Key words: bentonite, dispergating, ultrasound, cavitation, montmorillonite, pellets, durability

УДК 004.942

Рожненко Ж.Г., Данилейко О.К., Коломіц Г.В., Ятчук А.В. Використання мікропроцесорів на базі ARM Cortex в електромеханіці

Мета. Проведений аналіз ринку мікропроцесорів показав поширення використання пристроїв мікроконтролерів на основі ARM Cortex. У роботі на прикладі контролера STM32, побудованого на основі ARM Cortex, розглянуто використання мікропроцесорів у електромеханічних системах. Для більшості сучасних електромеханічних систем необхідні пристрої, що будуть об'єднувати різноманітні пристрої в єдину мережу для обміну даними. В роботі проведено огляд номенклатури мікропроцесорів різних моделей та виробників та обрано найбільш прийнятний варіант відповідно до висунутих вимог.

Також було проведено вибір периферійних пристроїв для роботи в досить поширеній локальній мережі промислової автоматики Modbus.

Методи дослідження. При вирішенні задачі використовуються загальні методи дослідження електромеханічних систем та побудови програм керування для мікроконтролерів, побудови локальних мереж промислової автоматизації.

Наукова новизна. Розроблено програму для прийому та передачі даних до мережі за протоколами Modbus RTU та Modbus TCP для мікроконтролера STM32. Розроблені макети для аналізу роботи мікропроцесора STM32 названих в мережах.

Практична значимість. Можливість використання одного з найбільш поширених сучасних 32-х розрядних мікроконтролерів фірми STMicroelectronics в локальних мережах промислової автоматики з використанням інтерфейсів RS-485 та Ethernet мережевого протоколу Modbus. Використання контролерів STM32 дозволяє зменшити витрати на розробку обладнання при збільшенні швидкодії пристроїв.

Результати. Проведено аналіз сучасного ринку мікроконтролерів, можливостей щодо програмування та конфігурування мікроконтролера; обрано програмне забезпечення, що пришвидшує процес роботи та покращує якість проекту в цілому; проведено вибір обладнання для роботи мікроконтролера з протоколами Modbus; створено відповідні програми керування, що дозволяють обмінюватись даними між різними пристроями за протоколами Modbus TCP та Modbus RTU.

Ключові слова: мікропроцесори, мікроконтролери, ARM Cortex, передача даних, розрядність, пам'ять, програмування, промислові мережі, Keil, HAL, Modbus TCP, Modbus RTU.

Rozhnenko Zh.G., Danileiko O.K., Kolomits H.V., Yatchuk A.V. Use of microprocessors based on ARM Cortex controllers in electromechanics

Purpose. An analysis of the microprocessor market showed the spread of the use of microcontroller devices based on ARM Cortex. Using the STM32 controller based on ARM Cortex as an example, the use of microprocessors in electromechanical systems shows the most modern electromechanical systems require devices that will combine various devices into a single network to exchange data. The selection of peripheral devices for operation in a fairly widespread local network of industrial automation based on the Modbus protocol was also carried out.

Research methods. General methods of research of electromechanical systems and building control programs for microcontrollers and building local networks of industrial automation are used.

Scientific novelty. A program has been developed for receiving and transmitting data in the network using the Modbus RTU and Modbus TCP protocols for the STM32 microcontroller. Samples were developed for analyzing the operation of the STM32 processor in the named networks.

Practical significance. The ability to use one of the most common modern 32-bit microcontrollers from STMicroelectronics in local networks of industrial automation using RS-485 and Ethernet interfaces and Modbus network protocol. The use of STM32 controllers allows you to reduce hardware development costs while increasing the speed of devices.

Results. The analysis of the modern market of microcontrollers, the possibilities for programming and configuring the microcontroller; selected software that speeds up the work process and improves the quality of the project as a whole; selection of equipment for microcontroller operation with Modbus protocols was carried out. Appropriate control programs have been created that allow data exchange between various devices using the Modbus TCP and Modbus RTU protocols.

Key words: microprocessors, microcontrollers, ARM Cortex, data transmission, bit capacity, memory, programming, industrial networks, Keil, HAL, Modbus TCP, Modbus RTU.

УДК 622.765

Кривенко А.Ю., Олійник Т.А., Кривенко Т. А. Теоретичне дослідження масопереносу при знешламлені залізородної суспензії

Мета. Дослідження питань гідравлічного збагачення залізородної сировини в радіальних згущувачах типу МД9, а також розв'язок їх методами математичного моделювання.

Методи дослідження. Використання методів дослідження, таких як: теорії ймовірності, теорії інформації й подоби, математичного моделювання, загальноприйнятих законів гідравліки й гідродинаміки.

Наукова новизна. Дослідження потоку пульпи з живильного пристрою апарата, дозволяє одержати залежності швидкості руху потоку пульпи й вмісту твердого від параметрів пристрою подачі вихідного живлення. Отримані залежності дозволяють у значній мірі зменшити негативний вплив затопленого струменя на гідравлічне збагачення

залізорудної сировини. Застосовуючи відомі закони гідродинаміки, була побудована математична модель гідравлічного поділу залізорудної сировини на виході з пристрою живлення апарата, відповідно до якої при виборі структури моделі використовуються теоретичні передумови. Розрахунковими формулами отримана залежність швидкості переміщення часток твердої фази потоку живлення пульпи від конструктивних особливостей радіального згущувача. Представлені залежності дозволяють варіювати необхідними параметрами процесу з урахуванням конструктивних особливостей апарата й пристрою подачі живлення, з метою одержання згущеного продукту заданої якості.

Практична значимість. Удосконалення технології збагачення залізних руд за рахунок підвищення ефективності гравітаційного збагачення в радіальних згущувачах типу МД9, у розробці нового способу формування вихідного живлення апарата.

Результати. Проведене математичне моделювання шляхом застосування теоретичної моделі гравітаційного гідравлічного поділу залізорудної сировини в радіальному згущувачі. У результаті цього отримані рівняння, які дозволили суттєво скоротити число параметрів, які впливають на протікання досліджуваного процесу. Обчислювальний експеримент, за результатами моделювання процесу гідравлічного гравітаційного поділу залізорудної сировини у радіальному згущувачі типу МД9, дозволив вивчити зміну відповідних параметрів і вплив їх на процес знешламлення. Як наслідок, на практиці виникають питання про знаходження кількісних співвідношень. Для рішення цих питань необхідно проведення експериментальних досліджень на реальних радіальних згущувачах, що функціонують, з метою збору матеріалу для оцінки величин параметрів, які входять у математичні моделі.

Ключові слова: дешламатор, дешламція, МД9, радіальний згущувач.

Крывенко А. Ю., Оліinyк Т.А., Kryvenko Т.А. Theoretical studies of mass transfer during desliming of iron ore suspension

Purpose. Investigating the hydraulic beneficiation of iron ore in the MD9 radial thickeners and solving the issue by methods of mathematical modeling.

Research methods. The theory of probability, the theory of information and similarity, mathematical modeling, the laws of hydraulics and hydrodynamics.

Scientific novelty. Investigation of the pulp flow from the feeder allows to get the dependence of the speed of the pulp flow and the solid content on the parameters of the initial feeding device. The dependences enable to significantly reduce the negative effect of the submerged jet on the hydraulic beneficiation of iron ore raw materials. Under theoretical prerequisites when choosing the structure of the model, a mathematical model of the hydraulic separation of iron ore at the outlet from the feeder was built. The dependence of the speed of the solid feed flow of the pulp particles on the design features of the radial thickener is presented. The dependencies vary the process parameters in respect with the design of the apparatus and the feeder, in order to get a thickened product of a required quality.

Practical significance. Improving the technology of iron ore beneficiation by increasing the efficiency of gravity beneficiation in the MD9 radial thickeners with a new method of forming the output initial feeding device.

Results. Mathematical modeling by applying a theoretical model of gravitational hydraulic separation of iron ore in radial thickeners. The equations that significantly reduce the number of parameters affecting the process under study were obtained. A computational experiment, based on the results of modeling the hydraulic gravitational separation of iron ore in the MD9 radial thickeners, made it possible to study the change in the corresponding parameters and their effect on the desliming process. The experimental studies on real radial thickeners for assessing the parameters values included in the mathematical models should be done.

Key words: deslimers, desliming, MD9, radial thickener.

UDC 622.73:519.216.3

Shvets D.V. Theoretical-probability approach to analyse the iron ore grinding process

Purpose. To estimate the stochastic properties of the primary iron ore grinding output variables.

Research methods. Getting real-time information on the stochastic properties of the initial iron ore materials using the operation monitoring of the iron ore characteristics at the primary grinding.

Scientific novelty. Using a theoretical-probability approach to assess the properties of the primary iron ore grinding output variables based on information on the stochastic properties of the initial iron ore materials.

Practical significance. The theoretical-probability approach to assess the stochastic properties of the output variables of the primary grinding iron ore materials allows for better control over the processing of iron ore raw materials at the concentrating factories, reducing the variability of the grinding parameters, improving the quality of iron ore concentrate and competitiveness in the global market.

Results. The formulas on the numerical characteristics of the output variables of the primary grinding characterize the average values and variance of the average values depending on the stochastic properties of iron ore at the input of the primary grinding process—iron content and hardness. The expressions on the probabilities of the output variables hitting within the specified intervals are provided. In modeling, the theoretical-probability approach enables to evaluate the stochastic properties of the primary iron ore grinding output variables—drain density of the classifier at the primary grinding and classification and iron content of an ore at the primary magnetic separation by linking them with the stochastic content of iron in iron ore and its hardness at the input of the primary grinding process. The research results define and facilitate management task of the primary grinding process in view of stochasticity of its variables.

Key words: iron ore, theoretical-probability approach, grinding.

Швець Д.В. Аналіз процесу подрібнення залізорудної сировини шляхом застосування теоретико-імовірнісного підходу

Мета. Оцінка стохастичних властивостей вихідних змінних першої стадії технологічного процесу подрібнення залізорудної сировини.

Методи дослідження. Отримання оперативної інформації про стохастичні властивості вхідної залізорудної сировини за допомогою засобів оперативного контролю характеристик руди, що надходить на першу стадію технологічного процесу подрібнення.

Наукова новизна. Використання теоретико-імовірнісного підходу для оцінки властивостей вихідних змінних першої стадії технологічного процесу подрібнення залізорудної сировини на основі інформації про стохастичні властивості вхідної залізорудної сировини.

Практичне значення. Застосування теоретико-імовірнісного підходу, що дозволяє виконати оцінку стохастичних властивостей вихідних змінних першої стадії технологічного процесу подрібнення залізорудної сировини, в подальшому дасть можливість підвищити ефективність управління процесом переробки залізорудної сировини в умовах рудозбагачувальних фабрик, знизити коливання параметрів технологічного процесу подрібнення, підвищити якість залізорудного концентрату, а також його конкурентоспроможність на світовому ринку в умовах жорсткої конкуренції.

Результати. Отримано формули, що дозволяють визначити числові характеристики вихідних змінних першої стадії технологічного процесу подрібнення, які характеризують їх середні значення і розсіювання відносно середніх значень в залежності від стохастичних властивостей залізорудної сировини на вході першої стадії технологічного процесу подрібнення - вмісту заліза і твердості. Також отримано вирази, що дають можливість оцінити ймовірності потрапляння величин вихідних змінних в задані інтервали. Застосування при моделюванні теоретико-імовірнісного підходу дає можливість оцінити стохастичні властивості вихідних змінних першої стадії технологічного процесу подрібнення - щільності зливу класифікатора першої стадії подрібнення і класифікації та вмісту заліза в промпродуктах першої стадії магнітної сепарації, зв'язавши їх з стохастичним вмістом заліза в залізорудній сировині і його твердістю на вході першої стадії технологічного процесу подрібнення. Отримані в ході досліджень результати дають можливість перейти до формулювання і вирішення завдання управління першою стадією технологічного процесу подрібнення з урахуванням стохастичності її змінних.

Ключові слова: залізорудну сировину, теоретико-імовірнісний підхід, подрібнення.

УДК 681.518

Кіянівський М.В., Кіянівська Н.М. Вибір та обґрунтування перехідних функцій діагностичних моделей ідентифікації технічних станів об'єктів експлуатації

Тривалий досвід забезпечення працездатності обладнання полягає у використанні в програмах його технічного обслуговування та ремонтного відновлення працездатності (ТОіР) ймовірнісних моделей надійності, що загальмувало на тривалий час активне впровадження методів, технологій та засобів діагностичного забезпечення формування регламентів ТОіР, врахування причин розвитку деградаційних процесів, їх фізичної природи, та видів дефектів обладнання (і тим самим забезпечити їх адекватність). Встановлено, що у більшості випадків існуючі моделі, що пропонуються для сучасних систем технічної діагностики передбачають громіздкі алгоритми та складні системи технічної діагностики.

Мета. Розробка та уніфікація діагностичних моделей, в яких перехідна функція повинна утворити одномірну ознаку технічного стану інваріантно до природи деградаційних процесів.

Методи дослідження передбачають аналіз частотного складу енергетичного спектра коливальних процесів, що генеруються деталями і вузлами механізму в процесі їх продуктивного використання для отримання діагностичної інформації про поточний стан обладнання.

Наукова новизна викладеного матеріалу полягає у тому, що у статті виконано систематизацію і глибокий аналіз всіх відомих у сучасній науці діагностичних моделей, методів та технологій моніторингу працездатності обладнання, ідентифікації його дефектів, прогнозування динаміки зміни технічного стану обладнання з часом. Розглянуто особливості уніфікованої багатопараметричної перехідної функції, що забезпечує інваріантність перетворення діагностичного сигналу в одномірний інтегральний показник технічного стану на підставі оцінки коливального збудження машини від дії дефекту.

Практичне значення проведеного дослідження полягає у знаходженні доказів перспективності діагностичних моделей з однопараметричним (одномірним) інтегральним вихідним параметром технічного стану в програмах діагностичного забезпечення програм ТОіР, які забезпечують розпізнавання і ідентифікацію дефектів на підставі встановленої залежності між появою і зростанням дефекту обладнання та рівнем і темпом зміни спектральної щільності і-ї ділянки енергетичного спектра діагностичного сигналу.

Результат. Забезпечення повного обсягу діагностичної інформації для впровадження адаптивного керування надійністю обладнання «за станом».

Ключові слова: моделі діагностики, визначення технічного стану, перехідні функції, режим реального часу, промісьове обладнання, технічна діагностика.

Kiyanovsky M.V., Kiyanovska N.M. Selection and justification of transitional functions of diagnostic models identification of technical conditions of objects of operation

Long-term experience in ensuring the efficiency of equipment is to use in the programs of its maintenance and repair (TOR) probabilistic models of reliability, which slowed down for a long time the active implementation of methods, technologies and diagnostic tools for the formation of regulations, taking into account the causes of degradation processes, their physical nature, and types of equipment defects (and thus ensure their adequacy).

Purpose. To develop and unify diagnostic models in which the transient function must form a one-dimensional feature of the technical condition invariant to the nature of degradation processes.

Research methods include analysis of the frequency composition of the energy spectrum of oscillatory processes generated by parts and components of the mechanism in the process of their productive use to obtain diagnostic information about the current state of the equipment.

Scientific novelty. Systematizes and in-depth analysis of diagnostic models, methods and technologies for monitoring equipment performance, identification of its defects, forecasting the dynamics of technical condition over time. It is

established that in most cases the existing models offered for modern systems of technical diagnostics provide cumbersome algorithms and complex systems of technical diagnostics.

Practical significance. It was found that promising should be diagnostic models with one-parameter (one-dimensional) integrated initial parameter of the technical condition, which provides a full range of diagnostic information for the introduction of adaptive control of equipment reliability "as is".

Results. The peculiarities of the unified multiparameter transition function are considered, which provides the invariance of the transformation of the diagnostic signal into a one-dimensional integrated indicator of the technical condition on the basis of the evaluation of the oscillatory excitation of the machine from the defect. In addition, the relationship between the appearance and growth of the equipment defect and the level and rate of change of the spectral density of the i -th section of the energy spectrum of the diagnostic signal.

Key words: diagnostic models, determination of technical condition, transient functions, real-time mode, industrial equipment, technical diagnostics.

УДК 78.016:331.45

Домнічев М. В., Нестеренко О. В., Близнюкова О. Ю., Маленко Я. В. Елементи оперативного управління якістю освіти

Мета. Метою даної роботи є проведення аналізу існуючих засобів і способів навчання, визначення основних небезпек та вибір моделей викладання матеріалу.

Методи дослідження. Теоретичний метод дослідження на основі обробки і інтерпретації статистики та порівняння ефективності запропонованих заходів.

Наукова новизна. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Її метою є прикладне дослідження захисту людей від факторів вибухів.

Практична значимість. Запропоновано використання нових інструментів контролю якості освіти з метою покращення викладання прикладних дисциплін.

Результати. Вплив небезпечних факторів вибуху обумовлює різке погіршення стану здоров'я, втрату працездатності та несе загрозу життю людини. Особливо це стосується дітей і молоді.

Значну роль у зменшенні числа загиблих і поранених відіграє питання інформування населення про небезпеки боеприпасів і вибухових пристроїв. Так само, навчання різних груп населення потребує використання різних методів, способів і засобів навчання.

Використання макетів та засобів інтерактивного навчання значно підвищує ефективність засвоєння матеріалів. Використання таких методів і засобів однаково ефективно працює з будь-якою аудиторією незалежно від віку, статі та рівня освіти.

Для збільшення ефективності навчання, пропонується використовувати візуальні інструменти, які можуть налякати – фотографії та відео фрагменти наслідків вибухів. В тому числі з фотографіями і відео постраждалих з різними травмами а також загиблих. Демонстрація наслідків вибуху, призводить до збільшення уваги слухача. В свою чергу, перегляд фото і ведематеріалів з тяжкими пораненнями є шоком для слухача. Ми вважаємо, що в стані виведення слухачів з психологічної рівноваги, ефективність навчання зростає.

Для контролю ефективності навчання пропонується проводити оцінку якості знань за допомогою опитувань, тестувань та виконання завдань. Опитування дасть оперативну інформацію щодо ефективності навчання і дозволить керувати нею.

Все це дозволить нам створити універсальну модульну навчальну систему, що може гнучко змінюватися в залежності від аудиторії, часу навчання та рівня навченості, який необхідно досягти.

Ключові слова: вибух, шок, навчання, візуалізація, увага, контроль.

Domnichen M. V., Nesterenko O. V., Bliznyukova O. Yu., Malenko Ya. V. Elements of operational management qualities of education

Purpose. Analyze the existing tools and methods of teaching, identify the main dangers and the choice of models of teaching material.

Research methods. Theoretical research method based on the processing and interpretation of statistics and comparison of the effectiveness of the proposed measures.

Scientific novelty. The solution of this problem is the relevance of the work. Its purpose is an applied study of the protection of people from the factors of explosions.

Practical significance. Using the new tools for quality control of education in order to improve the teaching of applied disciplines.

Results. The impact of dangerous factors of the explosion causes a sharp deterioration in health, disability and life-threatening. This is especially true for children and young people.

The issue on informing the population about the dangers of ammunition and explosive devices plays a significant role in reducing the number of dead and wounded.

Similarly, the training of the population requires different methods, ways and means of teaching. Using a models and tools of interactive learning significantly increases the efficiency of learning materials. The use of such methods and tools works equally effectively with any audience, regardless of age, gender and level of education.

To increase the effectiveness of training, it is proposed to use visual tools that can be scary - photos and video clips of the effects of explosions. Including with photos and videos of victims with various injuries and the dead bodies. Demonstration of the effects of the explosion, leads to increased attention of the listener. In turn, viewing photos and videos with serious injuries is a shock factor. We believe that in the state of bringing students out of psychological balance, the effectiveness of learning increases.

To control the effectiveness of training, it is proposed to assess the quality of knowledge through surveys, tests and tasks. The survey will provide up-to-date information on the effectiveness of training and will allow you to manage it.

All this allows us to create a universal modular training system that can vary flexibly depending on the audience, training time and level of training to be achieved.

Key words: explosion, shock, training, visualization, attention, control

УДК621.9.04: 622.012

Кляцький В.І., Бугай Л.А. Вплив магнітно-абразивного полірування на структуру поверхонь деталей зі складним профілем

Мета. Метою даної роботи є дослідження магнітно-абразивного полірування на структуру приповерхневого шару деталей зі складним профілем.

Методи дослідження. На шахтах України разом з класичними вітчизняними конструкціями пневматичних переносних і телескопних перфораторів, масово купуються і впроваджуються в гірничодобувну галузь переносні і телескопні перфоратори моделей YT28, YT24, YT27, YSP45 (Китай). Ці моделі розроблені на давно відомих і традиційних для перфораторів принципах, у яких залежний поворот бурової штанги здійснюється за допомогою храпового механізму і пари гелікоїда. Ефективність роботи переносних і телескопних пневматичних перфораторів визначається конструктивними їх параметрами ударно-поворотного механізму, який є одним з основних вузлів перфораторів і визначає важливі його показники: величину енергії удару, швидкість обертання бура, момент, що крутить. Часті поломки і знос цих деталей, знижують технологічні показники переносних і телескопних пневматичних перфораторів. Були проведені металографічні дослідження структур приповерхневих шарів деталей зі складним профілем після магнітно-абразивного полірування (МАП). Експериментальні дослідження проводились на зразках деталей бурових перфораторів. Магнітно-абразивна обробка проводилась на універсальному токарному верстаті. Дослідження основані на виявленні впливу режимів обробки МАП на структурний аналіз приповерхневого шару деталей зі складним робочим профілем.

Наукова новизна. У результаті проведених досліджень були отримані дані про хімічний склад матеріалів зразків деталей зі складним профілем та їх металографією. Виявлені покращенні структурні зміни в приповерхньому шарі зразків деталей та їх параметрів твердості.

Практичне значення. Проведені дослідження дозволили виявити покращенні структурні зміни в приповерхньому шарі деталей шляхом підбору режимів різання МАП та фероабразивного порошку.

Результати. Встановлено, що після МАП у деталей зі складним робочим профілями, структурний аналіз приповерхневого шару дозволив покращити макро та мікроструктуру.

Ключові слова. Металографічне дослідження, магнітно-абразивне полірування, поверхневий шар деталі.

Klyackiy V.I., Buhai L.A. The effect of magnetic-abrasive polishing on the structure of complicated shape components' surface

Purpose. To study the effect of magnetic-abrasive polishing on the structure of the boundary layer of the complicated shape components.

Research methods. In the mines of Ukraine along with the classic domestic constructions of pneumatic portable and telescope perforators, portable and telescope perforators of YT28, YT24, YT27, YSP45 (China) models are bought and inculcated in mining industry. These models are developed on the traditional principles, in which the dependent rotation of the drill rod is carried out using a ratchet mechanism and a pair of helicoids. The efficiency of portable and telescopic pneumatic perforators is determined by their design parameters of the percussion-rotary mechanism, which is one of the main components of perforators and determines its important indicators- the amount of impact energy, drilling speed, torque. Frequent breakdowns and wear of these details reduce technological indicators of portable and telescopic pneumatic perforators. Metallographic studies of the structures of the surface layers of parts with a complex profile after magnetic abrasive polishing (MAP) were performed. Experimental studies were performed on samples of drill bits. Magnetic abrasive processing was performed on a universal lathe. The research is based on the detection of the influence of MAP installment regimes on the structural analysis of the near-surface layer of parts with a complex working profile.

Scientific novelty. After the research conducted the data about the chemical composition of the part sample material of complicated shape components and their metallography have been obtained. The improved structural changes both in the boundary layer of part sample material and hardness parameters have been defined.

Practical significance. The conducted study defined the improved structural changes in the component's boundary layer by means of adjusting the operating mode of the magnetic-abrasive polishing and ferro-abrasive powder.

Results. After the magnetic-abrasive polishing of the complicated shape components the structural analysis of the boundary layer has better macro- and microstructure.

Key words: metallographic study, magnetic-abrasive polishing component's boundary layer

УДК 004.896:681.3:621.311

Котов І.А. Моделі диспетчерських компетенцій в інтелектуальних системах автоматизації протипаварійного керування енергосистемою

Метою статті є виклад результатів розробки математичних структурно-логічних моделей продукційної форми подання диспетчерських компетенцій в інтелектуальних системах, які використовуються для автоматизації протипаварійного керування режимами електроенергетичних систем. Аналіз показав, що на сьогоднішній день відсутній єдиний підхід до реалізації універсального засобу подання диспетчерських компетенцій для різних професійних середовищ. Можна констатувати, що потрібна розробка такого формального апарату подання продукційних знань, який забезпечить ефективність рішень і простоту програмної реалізації.

Методи дослідження полягають в об'єднанні математичної моделі електричної мережі і моделі функціонування програмної системи підтримки рішень. У роботі використані методи теорії множин, математичної логіки, теорії автоматів, електроенергетичних систем, теорії графів, математичної статистики. Отримана модель подання продук-

ційних знань має розвинений математичний апарат і теоретичну базу і може бути застосована для аналізу і прогнозування безлічі станів продукційної системи.

Наукова новизна полягає в новій моделі подання продукційних знань, яка заснована на структурі кластерів семантичних мереж. Новизна полягає в нових структурних і логічних моделях продукцій, що забезпечує побудову баз професійних компетенцій у вигляді продукційних мереж. За основу продукції взята модель онтології семантичної мережі. Розроблені правила генерації як елементарних продукцій, так і їх мереж на основі репрезентації семантичних мереж. Розроблено синтаксис продукцій і їх формально-лінгвістичний базис.

Практична значимість роботи полягає в практичній можливості оперативно оцінювати аварійні ситуації і ефективно застосовувати інтелектуальні системи підтримки рішень. Розглянутий підхід до синтезу структури правил не накладає обмежень на вхідний вид експертної інформації. Особливу цінність має можливість застосування отриманих результатів в гірничо-металургійному комплексі.

Результатами роботи є формальні моделі онтологій продукційних мереж, що дозволяє враховувати причинно-наслідкові зв'язки між об'єктами БЗ і моделювати динаміку логічного висновку. Результати дослідження можуть бути використані при реалізації проектів автоматизованих систем диспетчерського керування для особливо відповідальних електроенергетичних систем гірничодобувного і металургійного комплексів.

Ключові слова: аварійний стан, продукція, енергосистема, формалізм, база знань, автоматизація, компетенція

Kotov I.A. Models of dispatching competences in intelligent automation systems for emergency control of the power system
Purpose. To present the results of the development of mathematical structural and logical models of the production form of representation of dispatching competencies in intelligent systems used to automate emergency control of modes of electric power systems. The analysis showed that today there is no unified approach to the implementation of a universal means of representing dispatching competencies for various professional environments. It can be stated that the development of such a formal apparatus for the representation of productive knowledge is required, which will ensure the effectiveness of solutions and simplicity of software implementation.

Research methods. Combining the mathematical model of the electrical network and the model of the functioning of the software decision support system. The work uses the methods of set theory, mathematical logic, automata theory, electric power systems, graph theory, and mathematical statistics. The resulting model of representation of production knowledge has a developed mathematical apparatus and theoretical basis and can be used to analyze and predict a variety of states of a production system.

Scientific novelty. Presenting productive knowledge, which is based on the structure of clusters of semantic networks. The novelty lies in the new structural and logical models of products, which provides the construction of bases of professional competencies in the form of production networks. The model of ontology of a semantic network is taken as a basis of production. Rules for generating both elementary products and their networks based on the representation of semantic networks have been developed. The syntax of products and their formal-linguistic basis are developed.

Practical significance. Practical ability to quickly assess emergency situations and effectively apply intelligent decision support systems. An approach to the synthesis of the structure of rules is considered that does not impose restrictions on the incoming type of expert information. The possibility of applying the results obtained in the mining and metallurgical complex is of particular value.

Results. Formal models of ontologies of production networks, which make it possible to take into account causal relationships between KB objects and to model the dynamics of logical inference. The research results can be used in the implementation of projects of automated dispatch control systems for especially critical electric power systems of mining and metallurgical complexes.

Key words: emergency state, products, power system, formalism, knowledge base, automation, competence

УДК 624.15.001

Шаповал В.Г., Шашенко Д.О., Пономаренко І.О. Методика розрахунку конструктивних параметрів дискретних утримуючих споруд

Мета. Визначити єдину методику, яка дозволить розрахувати конструктивні параметри дискретних утримуючих споруд.

Методи дослідження. У роботі виконано теоретичні дослідження геомеханічних процесів з використанням аналітичних і чисельних математичних методів. Аналіз і узагальнення результатів теоретичних досліджень.

Наукова новизна. Запропоновано нову методику, що дозволяє розраховувати конструктивні параметри дискретних протизсувних утримуючих конструкцій при одночасній оцінці стійкості ґрунту, який знаходиться між його елементами.

Практична значимість. Викладені в даній роботі матеріали досліджень дозволяють при проектуванні протизсувних дискретних споруд обґрунтовано розрахувати такі параметри:

відстань, на якій дискретна утримуюча конструкція взаємодіє із зсувом;
оцінити стійкість ґрунту в проміжках між залізобетонними елементами конструкції;
відстані між окремими елементами дискретної утримуючої конструкції;
діаметри окремих елементів дискретної утримуючої конструкції (у разі перетину круглої форми) або розмір меншої сторони окремих елементів дискретної утримуючої конструкції (у разі прямокутного перетину).

Результати. В ході написання цієї статті нами були отримані аналітичні залежності, що дозволяють визначити такі конструктивні параметри системи «протизсувна утримуюча конструкція – сповзаючий ґрунтовий масив»:

стрілу підйому арки вивалу ґрунту між елементами дискретної утримуючої конструкції. Цей параметр необхідний для визначення відстані, на якій дискретна утримуюча конструкція взаємодіє із зсувом;
коефіцієнт стійкості ґрунту в зоні взаємодії дискретної утримуючої конструкції із сповзаючим ґрунтовим масивом; це дозволяє оцінити стійкість ґрунту в проміжках між залізобетонними елементами конструкції;
відстані між окремими елементами дискретної утримуючої конструкції;

діаметри окремих елементів дискретної утримуючої конструкції (у разі перетину круглої форми) або розмір меншої сторони окремих елементів дискретної утримуючої конструкції (у разі прямокутного перетину). Також, отримані аналітичні залежності дають відповіді на питання, чи можливо в даних конкретних умовах використовувати дискретні утримуючі конструкції та визначити область зсуву, в якій відбувається його взаємодія з утримуючою конструкцією.

Ключові слова: зсув, утримуюча конструкція, коефіцієнт стійкості, діаметр елементів, відстань між елементами дискретної утримуючої конструкції.

Shapoval V.G, Shashenko D.O., Ponomarenko I.O. Method of calculation of constructive parameters of discrete retaining structures

Purpose. Identify a single methodology that will develop the design parameters of discrete supported structures.

Research methods. Theoretical researches of geomechanical processes with the use of analytical and numerical mathematical methods are performed in the work. Analysis and generalization of the results of theoretical research.

Scientific novelty. A new technique is proposed that allows to calculate the design parameters of discrete anti-landslide retaining structures while assessing the stability of the soil between its elements.

Practical significance. The research materials presented in this paper allow to design the following parameters when designing anti-landslide discrete structures- the distance at which the discrete retaining structure interacts with the shear; assess the stability of the soil in the intervals between the reinforced concrete structural elements; the distance between the individual elements of the discrete retaining structure; the diameters of the individual elements of the discrete retaining structure (in the case of a round section) or the size of the smaller side of the individual elements of the discrete retaining structure (in the case of a rectangular section).

Results. Analytical dependences allow us to determine the following design parameters of the system "anti-landslide retaining structure - sliding soil mass": the boom of the arch of the soil dump between the elements of the discrete retaining structure. This parameter determines the distance at which the discrete retaining structure interacts with the shear; the coefficient of soil stability in the zone of interaction of the discrete retaining structure with the sliding soil mass; it allows to estimate stability of soil in intervals between reinforced concrete elements of a design; the distance between the individual elements of the discrete retaining structure; the diameters of the individual elements of the discrete retaining structure (in the case of a round section) or the size of the smaller side of the individual elements of the discrete retaining structure (in the case of a rectangular section). The obtained analytical dependences provide answers to the question of whether it is possible in these specific conditions to use discrete retaining structures and determine the area of displacement in which it interacts with the retaining structure.

Key words: shear, restraining structure, stability coefficient, element diameter, distance between elements of discrete retaining structure.

Гірничий вісник

Науково-технічний збірник

Випуск 109

Редактор, коректор

Комп'ютерний набір, верстка

Апанащенко С.І.

Підпригора Н.П.

Здано в набір 29.04.21 р. Підписано до друку 03.05.21 р. за рекомендацією Вченої Ради

Криворізького національного університету, протокол № 9 від 27.04.2021 р.

Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 19.53 Тираж 100 прим.

Замовл. № 22. Укр., англ.

Надруковано:

ФОП Сінельников Дмитро Анатолійович

Державна реєстрація №22270000000063097

від 27.07.2016р

50050, м. Кривий Ріг, пр.Металургів, 30/49.

тел. (067) 777-17-33

Адреса видавництва: вул. Віталія Матусевича, 11, Кривий Ріг, 50027

Криворізький національний університет