

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Криворізький національний університет

ГІРНИЧИЙ ВІСНИК

Науково-технічний збірник

Заснований у 1966 році

Випуск 106

Кривий Ріг, 2019

Редакційна колегія: **Ступнік М.І.**, д-р техн. наук, проф. (головний редактор); **Моркун В.С.**, д-р техн. наук, проф. (заступник головного редактора); **Азарян А.А.**, д-р техн. наук, проф.; **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 № 106 рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет Вченою радою Криворізького національного університету (протокол № 4 від 26.12.2019 року).

Адреса редакції: ДВНЗ «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
ДВНЗ «Криворізький національний університет»
Гірничий вісник
Науково-технічний збірник

Заснований у 1966 р.

Кривий Ріг

Випуск 106, 2019

З м і с т

Шашенко О.М., Чередник В.А. Сучасні уявлення щодо виникнення газових покладів у підроблених вуглепородних масивах	3
Чоботько І.І., Тинина С.В. Моніторинг теплового стану породних відвалів	9
Григор'єв О.С., Хозяйкіна Н.В., Дубовик О.І. Вплив стану протяжних виробок вугільних шахт на обсяги споживаної електроенергії	13
Жуков С.О., Луценко С.О. Удосконалення методів визначення граничного коефіцієнту розкриву	19
Котов І.А. Алгоритмізація мережі станів тригерної інтелектуальної підсистеми диспетчеризації енергосистеми гірничо-металургійного комплексу	24
Шолох М.В., М Сергєєва.П. Фактор впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин на технологічний процес усереднення	30
Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Савенко В.О. Моделювання контактної взаємодії підпірної стіни з основою за допомогою програмного комплексу LIRA 9.6	36
Рудь Ю. С., Белоножко В. Ю. Выбор конструктивных размеров колосников агломерационных машин по критерию малоцикловой и термической прочности	42
Шапурин А.В. Взаимосвязи между параметрами расположения зарядов ВВ и кусковатостью горных пород во взрывном развале	48
Шимко В.А. Питання якісної модернізації архітектурного середовища у вишах	55
Азарян В.А. Дослідження впливу якісних показників фінального інтегрованого рудопотоку на ефективність збагачення	59
АНОТАЦІЇ ..	
А н о т а ц і ї	64

**СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ ЩОДО ВИНИКНЕННЯ ГАЗОВИХ ПОКЛАДІВ
У ПІДРОБЛЕНИХ ВУГЛЕПОРОДНИХ МАСИВАХ**

Мета. Метою роботи є аналіз кількості газу при дегазації вугільних пластів. Результати спостережень за роботою дегазаційних свердловин, пробурених з поверхні діючих вугільних шахт, свідчать про те, що до підходу очисних робіт газовиділення в свердловині практично не спостерігається і тільки в окремих випадках в усті свердловин відзначені сліди метану з концентрацією 5-10%. Як в першому, так і в другому випадках швидкості дренажування метану в свердловині різко зростають, коли газоприймаюча частина цієї свердловини потрапляє в зону впливу гірничих робіт, межі якої визначаються поточним станом максимуму опорного тиску в просторі вміщувального гірського масиву.

Методи. Використовувався метод аналізу та узагальнення інформації щодо сучасного стану вугільної промисловості України при розгляді родовища, як газовугільного. В даний час в Україні щорічні викиди метану в атмосферу становлять близько 20-50 млн.м³ на кожен 1 млн.тонн видобутого вугілля. Якщо додатково врахувати неконтрольовану емісію метану на поверхню в межах гірничих відводів закритих шахт, а також при розгазуванні шахт після раптових викидів, то ця цифра буде значно більшою. Усі ці явища і призводять до необхідності корисного використання шахтного метану.

Наукова новизна. Висока теплота згоряння метану, постійна потреба країни в цьому газі і його ціна на світових ринках вказують на доцільність використання шахтного метану як енергоносія. На прикладі досвіду закордонних та українських шахт розглянуто способи видобутку та використання шахтного метану.

Практична значимість дослідження, що планується виконати, дозволить узагальнити інформацію щодо пошуку зон активного скупчення метану, задля подальшого використання.

Результати. Сформульовані основні задачі дослідження технологій управління процесами видобування метану задля промислового використання та збільшення безпеки видобування вугілля.

Ключові слова: вугільна промисловість, метан, колектори, газове родовище, дегазація, гірський тиск.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-106-3-9

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Сучасні вугільні шахти спочатку проектувалися як монопідприємства, орієнтовані на виробництво одного виду продукції - кам'яного вугілля. Різного роду зміни в вуглепородних масивах, які проявляються при веденні гірських робіт, в тому числі у вигляді різних за інтенсивністю метановиділень в гірничі виробки, завжди розглядалися в зв'язку з цим виключно як негативні, що перешкоджають ефективному протіканню основного технологічного процесу. З поглибленням гірничих робіт ступінь впливу цих факторів зростає, а витрати на виконання заходів, спрямованих на зниження цього впливу, стають порівнянними з рівнем прибутковості вугільної шахти, що, в кінцевому підсумку, призводить до необхідності її закриття.

Найбільш вагомою складовою в сукупності негативних чинників є дренажування в гірничі виробки з вміщуючих масивів шахтного метану. У вугільних шахтах виділення метану зареєстровані після поглиблення гірських робіт із зони вивітрювання в зону газів неповітряного походження. Потужність зони вивітрювання в різних гірничо-геологічних умовах коливається в межах 100-300м, але в породах, які характеризуються підвищеною тріщинуватістю і проникністю, зменшується [1].

Існування на межі зони вивітрювання скупчень метану свідчить про наявність природного бар'єру, що перешкоджає перетокам метану в вищерозміщені шари гірських порід і далі в атмосферу. У дослідженнях, які присвячено різним аспектам боротьби, видобутку, і навіть зберігання метану, такий бар'єр має подібні назви: екран, газопупор, покришка, оболонка, бар'єр ущільнення [2-4 та ін.] та є найважливішою характеристикою газового родовища, що визначає його запаси. У роботах [2, 5] доведено можливість створення у вміщувальному вуглепородному масиві таких бар'єрів шляхом техногенного втручання. Отже, у вугільних шахтах при аналізі параметрів газоприотоків необхідно враховувати наявність у вміщувальному масиві різного роду бар'єрів - непроникних для метану зон - як штучного, так і природного походження.

Аналіз досліджень і публікацій. Для зниження негативних проявів метановиділення у вугільних шахтах виконують комплекс заходів, що спрямовані на вирівнювання коливань цього

виділення на різних етапах виробничого циклу, переміщення метану з призабійного простору в вироблене, зменшення абсолютної кількості газу, що надходить в робочі ділянки шляхом попередньої дегазації ціликів вугілля і цілих шахтних полів. При дегазації незадіяних гірничими роботами газонасичених пластів позитивні результати досягаються у випадках їх високої природної проникності (від 5 мД і вище) і в поєднанні зі способами по інтенсифікації припливу газу до дегазаційних свердловин: гідророзрив, гідророзчленування, вібраційний вплив і інші [6, 7]. В іншому випадку дегазація не дає бажаного ефекту.

Вуглепородний масив в зоні впливу гірничих робіт набуває нових властивостей. Результати, отримані шляхом порівняння фізичних властивостей порід, відібраних з керна геологорозвідувальних свердловин і безпосередньо в гірничих виробках, свідчать про те, що об'ємна щільність і коефіцієнт відкритої пористості в зоні впливу гірничих робіт істотно відрізняються від відповідних показників в неторкнутому масиві [8]. Всі без винятку результати спостережень за притоками метану в гірничі виробки або дегазаційні свердловини свідчать про те, що інтенсивність виділення метану з будь-якої ділянки газонасиченого масиву різко зростає, якщо породи цієї ділянки деформуються з розривами суцільності. Мережою тріщин, які виникли в результаті деформування, метан мігує в вироблений простір. Утворення тріщин у вуглепородному масиві порушує в ньому сорбційну рівновагу, при цьому утворюється простір міграції вільного метану, який інтенсивно поповнюється десорбованим газом. Таким чином, визначальним у вирішенні питань газової динаміки вуглепородних масивів є урахування наслідків деформування цих масивів через техногенне втручання.

У вугільних шахтах метан, який виділився в гірничі виробки, виноситься в атмосферу заходами вентиляції. Будучи викинутим в атмосферу, метан разом з іншими шкідливими викидами сприяє посиленню "парникового ефекту", його агресивність в порівнянні з вуглекислим газом оцінена в пропорції 21:1.

До основних газомістувальних порід Донбасу відносяться вугілля і пісковики, а також в меншій мірі аргіліти, алевроліти, сланці і вапняки. За різними даними запаси метану в межах Донецького кам'яновугільного басейну оцінюються величиною порядку 20-25 трлн.м³, що дає підстави для порівняння цього басейну з провідними газовими родовищами [9, 10 і ін.]. Одним з основних показників, що визначають доцільність освоєння вугільного родовища як газового, є щільність ресурсів, а рентабельність процесу газовидобутку забезпечується в тому випадку, якщо на 1 гектар площі експлуатації доводиться не менше 0,1 млн.м³ метану. Для прикладу, щільність запасів метану в породах надвугільної товщі пласта м3, що розробляється на шахті ім. К.Ф.Засядько, коливається в межах 113-350 м³/м² [9, 11]. Однак, особливістю вугленосної товщі порід Донбасу на відміну від типових пластових газових колекторів, полягає в тому, що метан знаходиться в ній в розсіяному стані, деяка його частина адсорбована гірською породою. Якщо в пісковиках кількість вільного метану не менше 90%, то у викопному вугіллі не перевищує 10% [11, 12].

Основною причиною, яка стримує видобуток шахтного метану в Донбасі, є низька проникність газомістувальних порід - показник, що інтегрально характеризує фільтраційні властивості порід газових колекторів, з яких цей газ передбачається витягувати.

Проникність вугілля Донецького вугільного басейну коливається в межах 10⁻² - 10⁻⁴ мД, пісковиків - 10⁻⁴ - 10⁻⁶ мД [12, 13]. В цілому, вуглепородний масив Донбасу в його природному стані у розрізі уявлень, прийнятих на підприємствах нафто-і газодобувної галузі, як об'єкт газовидобутку інтересу не представляє. Практика ведення гірських робіт на вугільних пластах свідчить про те, що техногенне втручання може супроводжуватися проявами газового фактора з різними швидкостями протікання і практично непроникні масиви при певних умовах здатні віддавати значні кількості метану. Навіть при нормальному перебізі технологічного процесу деформовані навколо очисної виробки породи можуть виділяти метан в обсягах, достатніх для промислового видобутку. Доказом цього є позитивний досвід видобутку шахтного метану поверхневими свердловинами, наприклад, на шахтах ім. О.Ф.Засядька, ш/у «Покровське», ДП «Вугільна компанія «Краснолиманська» та інших [9, 14].

Постановка задачі. До теперішнього часу, незважаючи на окремі успішні проекти, технології видобутку і використання шахтного метану широкого поширення не отримали. Найбільш доступним і ефективним способом боротьби з шахтним метаном на території країн СНД залишається його факельне спалювання. Технології, як правило, включають різні комбінації похило-спрямованого буріння і багаторазового гідророзриву вугільного пласта. Обґрунтування па-

раметрів цих технологій здійснюється з просторовою прив'язкою вугільного пласта, що дегазується, але без урахування зміни геомеханічного стану вміщуючих порід, що зумовлено гідророзривом або іншим техногенним впливом на нього.

Викладення матеріалу та результати. В Україні безумовним лідером в плані видобутку і ефективної переробки шахтного метану є АП "Шахта ім. А.Ф. Засядька", де шахтний метан видобувається через дегазаційні свердловини, пробурені з поверхні. Істотна відмінність технології, застосовуваної на шахті ім. О.Ф.Засядька, полягає в тому, що об'єктом дегазації є вуглепородний масив, який розташований над вугільним пластом, що відпрацьовується. Технологія базується на результатах досліджень зі встановлення зон впливу захисних пластів [15, 16] і закономірностей виділення метану до виробок виїмкових діляниць [12, 13, 17].

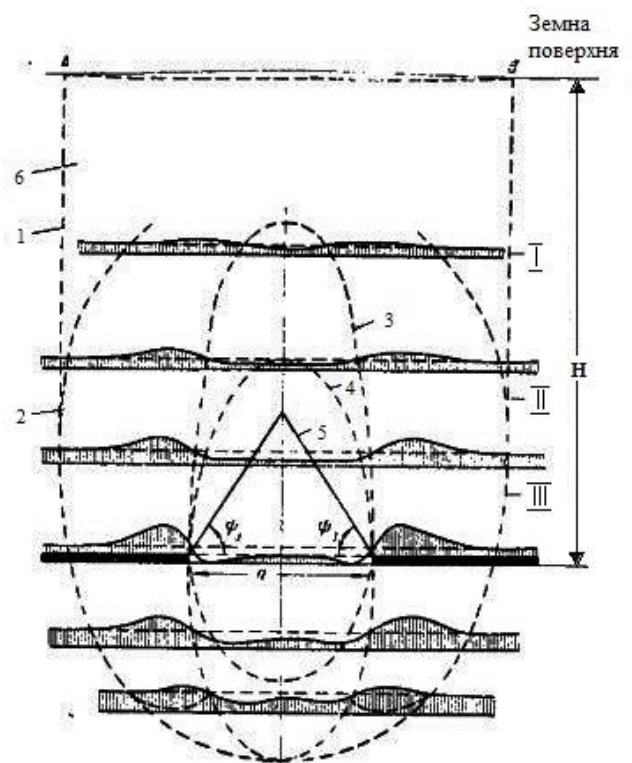
У найбільш простому випадку область дегазації представляють у вигляді трьох областей (рис. 1): безладного обвалення, прогину з розривом і без розриву суцільності, причому остання розглядається в якості оболонки штучного газового покладу [18]. Область підробленого масиву, породи якої деформуються з розривом суцільності і розташовуються між оболонкою і заваленими породами, є об'єктом дегазації. Дегазаційні свердловини бурять з поверхні на ділянці шахтного поля, що готується до розробки, таким чином, щоб газоприймальні частини цих свердловин розташувати в цій області масиву, а забої цих свердловин - на відстані не більше $8 m_{пл}$ від підосви, де $m_{пл}$ - потужність пласта, який відпрацьовується.

Рис. 1. Схема перерозподілу гірського тиску навколо очисної виробки за даними: 1 - зона впливу виробки; 2 - зона опорного тиску; 3 - межа зони розвантаження; 4 - межа захищеної зони; 5 - межа зони повних зрушень; 6 - зона зрушення порід і земної поверхні [17]

При приближенні гірничих робіт газовиділення в свердловини стрибкоподібно зростає (до $5-20 \text{ м}^3/\text{хв}$ 100% метану [19]) і нерідко супроводжується викидами на поверхню шахтної води («фонтанування свердловин»). Тут слід зазначити, що стрибкоподібне зростання газовиділення може бути обумовлене тільки відповідною зміною газопроникності, що свідчить про пряму залежність цього параметра від втрати суцільності і знеміцнення масиву. З відходом лави інтенсивність дренажу газу в свердловини знижується практично на порядок (до $1-2,0 \text{ м}^3/\text{хв}$), після чого вони включаються в роботу по відкачці метану. При оцінці проникності масиву, що вміщує свердловини, встановлені значення інтегрального коефіцієнта

проникності (не за окремим шаром породи, а за масивом в цілому) в межах $1,5 - 4,3 \text{ мД}$ [19]. За даними [8] непроникні породні масиви під час потрапляння в зону впливу гірничих робіт, набувають характеристики газових колекторів 3-го класу. За даними [20] газопроникність суміжних вугільних пластів залежить від їх природного метанонасності, потужності пласта, фізико-механічних властивостей порід міжпласта і в зонах підроблення збільшується на 5-6 порядків.

У роботах [9, 12] пропонується область, яка підлягає дегазації, розглядати у вигляді двох зон умовно позначених зонами «швидкого» і «повільного» газу, і тільки зону повільного газу розглядати як об'єкт дегазації. До зони швидкого газу відноситься та частина вміщуючого масиву, метан з якої дренажує в виробці виїмкової діляниці в період виконання там гірських робіт. Швидкість дренажу повільного газу значно менше, цей газ надходить у виробки через вироблений простір і може розглядатися як об'єкт видобутку. З урахуванням цього в роботі [9, 14]



запропонована деталізована схема підробленого масиву, яка враховує залежність швидкості надходження газу в дегазаційну свердловину від відстані до відпрацьованого пласта.

Висота зони швидкого газу області дегазації межує з заваленими породами, її висота оцінюється величиною близько 7-8 $m_{пл}$. Вважається, що породи в цій зоні осідають великими блоками та порушені пересічними системами тріщинами. Кордон зони порід повільного газу віддалений від відпрацьованого пласта на відстань близько 30 $m_{пл}$, ці породи порушені системою великих тріщин, які орієнтовані паралельно поверхні області обвалення, а далі, аж до оболонки - дрібними, що виникають внаслідок плавного прогинання цих порід. Деталізована схема пов'язує ефективність дегазації не з напружено-деформованим станом підробленого масиву, а з наслідками зміни цього стану в результаті підробки - утворенням тріщин. Слід враховувати, що зазначені розміри областей відображають особливості підробки масиву пластом m_3 на шахті ім. А.Ф. Засядька, і не можуть бути перенесені без відповідних уточнень на вуглепородний масив з іншими механічними властивостями і гірничо-геологічними умовами залягання гірських порід. Так, в інтервалі глибин 100-600 м висота зони відкритої тріщинуватості в покрівлі очисних виробок (в першому наближенні - зона швидкого газу) становить для шахт Красноармійського та Донецько-Макіївського регіонів 20 м, Чистяково-Сніжнянського – 35 м. Наведені дані встановлені шляхом спостережень за поглинанням промивальної рідини і за результатами кавернометрії розвідувальних свердловин [21]. За даними [20] розміри зони безладного обвалення при потужностях пологих пластів до 2 м знаходяться в межах 10-12 потужностей, що виймаються, а зона інтенсивного розвитку газопровідної експлуатаційної тріщинуватості поширюється на 25-10 потужностей, що виймаються.

У роботах [22, 23] запропоновано алгоритм оцінки щільності ресурсів метану, зосереджених в покрівлі вугільного пласта, з урахуванням втрат, що виникають внаслідок перетікання метану в дільничні виробки. В основу алгоритму покладено методику визначення зон впливу захисних пластів через інтервали розвантаження гірських порід в підроблених областях [16]. Застосування алгоритму дозволяє додатково приймати до розрахунку обсяги метану, сорбованих розсіяним в масиві органічною речовиною, з урахуванням властивостей екранування верхніх порід. Зокрема, встановлено, що в якості порід-газоупорів, які перешкоджають перетокам метану від джерел його виділення до діючих лав або дегазаційних свердловин, можуть виступати газonosні гірські породи з високими значеннями граничних деформацій розтягування або, навпаки, ущільнені в результаті підробки [2]. Встановлено також, що після підробки оболонка техногенного газового родовища може пролягати в межах одного газonosного шару гірської породи. Частина цього шару, де деформації розтягування перевищують граничні, є об'єктом дегазації, інша частина - газоупором.

Крім втрат швидкого газу при видобутку поверхневими свердловинами також не передбачено витягування метану із газonosних порід підосви. Якщо в діючих шахтах породи підосви можна дегазувати свердловинами, пробурених з гірських виробок, то в закритих шахтах така можливість відсутня. Запаси метану в породах підосви можна порівняти з запасами в надвугільній товщі, однак думки щодо розмірів області дегазації в породах підосви суперечливі. Так, при дослідженні підроблених масивів рекомендується враховувати зміну геомеханічних і фільтраційних властивостей порід підосви на відстані не далі 50 $m_{пл}$ від розроблювального пласта [24]. З цим узгоджуються результати натурних спостережень на шахті ім. К.І. Пochenкова, де збільшення на три порядки швидкості газовиділення з викидонебезпечного пісковика m_2Sm_3 , що підроблюється, зареєстровано на видаленні близько 40 $m_{пл}$ [12]. Однак, при виконанні натурних спостережень в шахті «Краснолиманська» встановлено вплив на газовий баланс очисних ділянок надпрацьованого пласта, який віддалений на відстань понад 70 $m_{пл}$. При цьому зазначено, що свердловини, пробурені з гірських виробок до цього пласту, функціонували в режимі метановидобувних, а не дегазаційних [25]. Результати чисельних досліджень напружено-деформованого стану навколо протяжних гірничих виробок свідчать про те, що в умовах здимання підосви розміри області деформування з втратою суцільності під виробкою, може в кілька разів перевищувати аналогічні розміри в надвугільній товщі порід [26, 27].

Області скупчень вільного метану в підробленому вуглепородному масиві просторово прив'язані до зон повного обвалення. На думку [28] оцінка геометричних параметрів простору, який утворюється за очисним забоєм та виділяє газ, необхідна не тільки для визначення щільності ресурсів метану, а й для планування місць закладення дегазаційних свердловин. Викорис-

тання в цих цілях числових методів дає можливість враховувати сукупний вплив наступних факторів: довжина очисного забою, глибина гірничих робіт і міцність порід.

Застосування чисельних методів дає можливість встановити розташування екрануючих порід в просторі області, що дегазується, а також місця можливих витоків газу через ці породи. До найбільшого руйнування схильні породи надвугільної товщі, які розташовані на відстані до 75 м від розроблюваного пласта. У цьому діапазоні області дегазації за геометричними характеристиками збігаються за винятком того, що втрати суцільності шарів менш міцних порід поширюються за межі, що встановлюються кутами розвантаження, і, навпаки, руйнування в породах високої міцності не досягають цих меж. Розрахункові дані [22, 23] вказують також на те, що область руйнувань в верхніх породах в межах висот 75-225 м збігається з областю повних зрушень. Це свідчить про необхідність внесення відповідних уточнень до існуючих методик оцінки ресурсів метану і при плануванні закладення дегазаційних свердловин.

За даними Українського державного науково-дослідного та проектно-конструкторського інституту гірничої геології, геомеханіки та маркшейдерської справи (УкрНДМІ) проникність області завалених порід вище проникності вміщуючого масиву та визначається не стільки проникністю порід, які заповнюють масив, скільки їх кусковатістю.

Переміщення газоповітряної суміші в цій області забезпечується різницею тисків на рівні дільничної депресії, але в перспективі, після загасання гірських робіт область завалених порід може розглядатися як акумулятор рухомого метану. Після припинення провітрювання метан накопичується в замковій частині склепіння обвалення, з плином часу наповнює весь обсяг виробленого простору аж до верхнього горизонту, після чого може входити на поверхню [12]. Способи видобутку метану із закритих шахт [14], які засновані на подібних уявленнях, передбачають буріння дегазаційних свердловин в вироблений простір або непогашені гірничі виробки.

В окремих випадках ефективність видобутку метану з надр закритих шахт як в Україні, так і за кордоном досить висока [6]. На думку [9, 14], буріння свердловин, сполучених з виробленими просторами закритих шахт, є ефективним заходом запобігання неконтрольованого виходу метану на земну поверхню, але для видобутку шахтного метану не є раціональним через невисокий дебіт і низьку якість газу, що виходить цими свердловинами. Ці причини обумовлені застосовуваними в Україні технологіями вуглевидобутку (довгими вибоями), а також великим інтервалом часу між припиненням гірничих робіт і засипанням шахтних стволів, під час якого шахтний метан неконтрольовано виділяється в атмосферу.

При віддаленні гірських робіт підроблений масив прагне до нового рівноважного стану, а напрути в ньому, разом з областю безладного обвалення, відновлюються до гравітаційного рівня. Зниження інтенсивності припливів метану до виробленого простору в цей період часу може бути обумовлене ущільненням завалених порід в областях безладного обвалення і зв'язаного опускання за фронтом очисних робіт. Процес деформування завалених порід включає два послідовних етапи: консолідації і ущільнення, протягом кожного з яких зменшуються в об'ємі канали фільтрації. На етапі консолідації цей обсяг зменшується за рахунок взаємного переміщення і перепакування породних шматків на більш компактне, а на етапі ущільнення - за рахунок збільшення контактів між цими шматками. Таким чином, поряд з газовим виснаженням порід в підроблених областях за фронтом гірничих робіт, недостатньо високі дебїти газу до свердловин із закритих шахт пов'язані з особливостями деформаційних процесів в цих областях на етапі переходу до нового стану рівноваги. Результати досліджень в області захисних пластів також свідчить про те, що по закінченню певного проміжку часу ефект, обумовлений відпрацюванням захисного шару, не спостерігається незалежно від ступеня дегазації пласта, що розроблюється під захистом [15].

Висновки та напрямки подальших досліджень. В цілому виїмка вугілля є найбільш потужним в порівнянні з іншими відомими способами інтенсифікації виділення метану з газонасичених вуглепорідних масивів. Вплив, що виявляється у вигляді деформацій з розривом суцільності, поширюється в прикордонні породи основної покрівлі від місця техногенного впливу на відстань близько 150 м_{пл.} На земній поверхні вплив такого способу інтенсифікації проявляється в її плавному опусканні, що, на відміну, наприклад, від технологій видобутку сланцевого газу, коли наслідки чергового гідророзриву порівнянні з наслідками невеликого землетрусу, свідчить про широкі можливості цього способу в умовах густонаселених територій Донбасу. При виїмці вугілля в надрах створюється техногенна порожнина, заповнена по-

вністю заваленими породами, які втратили зв'язність, та навколо якої складаються сприятливі умови для скупчень вільного метану. Наявність екрануючої поверхні (газоупора), що перешкоджає неконтрольованим витокам метану з області його скупчення в підробленому масиві, можна розглядати як достатню умову виникнення техногенного газового родовища або схо-вища.

Список літератури

1. **Скочинский А.А., Комаров В.Б.** Рудничная вентиляция. М., Углетехиздат, 1959. – 632с.
2. **Лукинов В.В.** Формирование проницаемости горных пород под воздействием техногенного фактора / В.В. Лукинов, К.А. Безручко // Уголь Украины. – 2010. – № 6. – С. 39-42.
3. **Посудневский А.Б.** О прогнозировании скоплений свободного метана в угленосных отложениях Донбасса. Уголь Украины. – 2014 – №2. – С. 42-44.
4. **Пивняк Г.Г.** Подземные газохранилища в отработанных угольных шахтах: Монография / Пивняк Г.Г., Дудля М.А., Семеек Я. и др. – Д.: НацГУ, 2008. – 240 с.
5. **Скочинский А.А.** Метан в угольных пластах/ Скочинский А.А., Ходот В.В., Гмошинский В.Г. и др.-М.: Углетехиздат, 1958. – 256 с.
6. **Кауфман Л.Л., Кудыркаев Н.И., Лысков Б.А.** Добыча горючих газов угольных месторождений. Донецк: «Вебер», 2007. – 232 с.
7. **Софийский К.К.** Комплексное освоение газозольного месторождения с применением метода гидродинамического воздействия / К.К. Софийский, Д.П. Силин, Р.А. Агаев и др. // Уголь Украины. – 2013 – №2. – С. 48-51.
8. **Лукинов В.В.** Влияние техногенного фактора на физические свойства песчанников / В.В. Лукинов, Л.Л. Шкуро, К.А. Безручко // Науковий вісник НГУ. – 2010. – №5. – С. 12-15.
9. **Булат А.Ф.** Углепородный массив Донбасса как гетерогенная среда / А.Ф. Булат, Е.Л. Звягильский, В.В. Лукинов и др. // К.: «Наукова думка», 2008. – 411 с.
10. **Булат А.Ф.** Создание индустрии шахтного метана в в топливно-энергетическом комплексе Украины. Геотехническая механика. – 1998. – Вып.10. – С. 3-8.
11. **Шевелев Г.А.** Динамика выбросов угля, породы и газа. – К.: «Наукова думка», 1989. –160 с.
12. **Шевелев Г.А., Перепелица В.Г.** Фильтрация газа в шахтах. – К.: Наукова думка, 2010. – 295 с.
13. **Абрамов Ф.А., Шевелев Г.А.** Свойства выбросоопасных песчанников как породы-коллектора. – Киев: Наук.думка, 1972. – 98 с.
14. **Звягильский Е.Л., Бокий В.В., Касимов О.И.** Добыча метана из угольных месторождений Донбасса (обзор) / Донецк: «Ноулидж», 2011. – 150 с.
15. **Петухов И.М.** Защитные пласты / И.М. Петухов, А.М. Линьков, И.А. Фельдман и др. // Л.: Недра, 1972. – 424 с.
16. **Иофис М.А.** Инженерная геомеханика при подземных разработках / М.А. Иофис, А.И. Шмелев // М.:Недра, 1985. – 248 с.
17. **Абрамов Ф.А.** Аэродинамика выемочного участка / Ф.А. Абрамов, Б.Е. Грецингер, В.В. Соболевский и др. // К.: Наукова думка, 1973. – 236 с.
18. **Волошин А.И.** О механизме формирования полостей расслоений, содержащих метан / А.И. Волошин, О.В. Рябцев, А.И. Коваль // Уголь Украины. – 2011 – № 1. – С. 46-50.
19. **Гуля Д.П.** Показатели фильтрации метана в подработанном углепородном массиве на шахте им. А.Ф.Засядько. – Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2008. – Вып.76. – С. 143-147.
20. **Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т.** Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. – 519 с.
21. **Субботин В.П.** Распространение искусственной трещиноватости в почве и кровле очистных выработок. Уголь Украины. – 1984 – № 8. – С. 41.
22. **Лукинов В.В.** Прогноз метановыделения из подработанных пород в выработки выемочного участка / В.В. Лукинов, А.П. Клец, Б.В. Бокий и др. // Уголь Украины. – 2011 – № 1. – С. 50-53.
23. **Клец А.П.** Прогноз газовыделения из подработанных пород в выработки выемочного участка / А.П. Клец, Б.В. Бокий, П.Е. Филимонов // Уголь Украины. – 2013. – № 8. – С. 47-50.
24. **Звягильский Л.Е., Бокий Б.В., Назимко В.В.** Исследование процесса перераспределения метана вокруг движущегося очистного забоя. – Донецк: Норд-пресс, 2005. – 195 с.
25. **Антощенко Н.И.** Формирование динамики газовыделения из подрабатываемого массива при отработке газоносных угольных пластов: Монография / Н.И. Антощенко, В.Н. Окалелов, В.И. Павлов и др. // – Алчевск: ДонГТУ, 2013. – 221 с.
26. **Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Гапеев С.Н.** Деформируемость и прочность горных пород. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2008. – 224 с.
27. **Шашенко А.Н., Солодянкин А.В., Мартовицкий А.В.** Управление устойчивостью протяженных выработок глубоких шахт. – Днепропетровск: ТОВ «ЛизуновПресс», 2012. – 384 с.
28. **Имгруд Т.** Бурение разгрузочных и дегазационных скважин для высокопроизводительных очистных забоев в угольных пластах с низкой проницаемостью / Т. Имгруд, Ф. Бауэр // Уголь. – 2013. – №8. – С. 71-78.

Рукопис подано до редакції 21.10.2019

І.І. ЧОБОТЬКО, аспірант, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
С.В. ТИНИНА, канд.техн.наук, ст.наук.співроб.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

МОНІТОРИНГ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ

Мета. Аналіз теплового стану породних відвалів для нормалізації теплових параметрів та вивчення щільності фракційного складу порід відвалу, впливу навколишнього середовища й способів формування породних відвалів на виникнення осередків займання та процеси формування концентраторів горіння.

Методи дослідження. У роботі використано аналітично-порівняльні дослідження результатів термографічних зйомок породних відвалів шахт Західного Донбасу, що були накоплені на протязі 7 років спостережень з використанням тепловізора.

Наукова новизна. Вперше встановлено особливості формування концентраторів підвищеної температури займання породних відвалів та динаміку розвитку осередків горіння на них.

Встановлено залежність формування концентраторів займання породних відвалів від структури породних відвалів його технологічних схем формування й обслуговування.

Проведено детальний аналіз зв'язку технологічних схем формування породних відвалів на породних, як початковий етап зародження теплових концентраторів майбутніх осередків горіння. Запропоновано заходи щодо попередження виникнення теплових зон концентраторів шляхом проведення моніторингу з використанням термографічної зйомки. Проведено дослідження з оцінки горіння териконів, зміни форм териконів.

Практичне значення. Полягає в розробленні заходів попередження й зниження кількості осередків горіння. Проведена термографічна зйомка породних відвалів дозволяє виявити точне розташування осередків горіння та своєчасне їх виявлення й вжиття заходів щодо попередження самозаймання порід. Дозволяє виявити площу і температуру поверхні, що допомагає при розробці проектів гасіння та рекультивації на відвалах, точному розрахунку валових викидів шкідливих речовин.

Результати. Встановлено закономірність формування концентраторів та розвитку зон осередків горіння породних відвалів. Проведений аналіз термографічних зйомок стану поверхні породних відвалів дозволив побачити наявність та кількість теплових зон концентраторів. Обґрунтовано необхідність формування баз даних породних відвалів, що горять, розташованих на територіях діючих і закритих шахт. Встановлено терміни горіння та згасання породних відвалів з оцінкою ймовірності утворення майбутніх концентраторів горіння.

Ключові слова: аналітично-порівняльні, термографічних зйомок, породні відвали, осередки займання, термографічні зйомки, тепловізор, концентратори горіння.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-106-9-13

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Відомо, що породні відвали шахт негативно впливають на навколишнє середовище. Після розвантаження породи на поверхню відвалу, вона скочується по схилам вниз, внаслідок чого відбувається розподілення порід за класом крупності. Основу відвалу утворюють шари породи, складені з кусків крупних фракцій, між якими є значний проміжок, що сприяє безперешкодному доступу повітря всередину відвала. Чим крупніша відвальна маса й більша висота (20-25 м) відвалу, тим більша його пористість й повітропроникність. Та, навпаки, значна щільність при висоті більше (40 м) створює осередок горіння за рахунок інтенсивного притоку повітря з пористої основи відвалу й провокує його рух до вершини на відстані від основи (до 10 м)[1,2].

Аналіз досліджень і публікацій. На основі багаторічних досліджень провідними вченими Донецького національного технічного університету Зборщиком М.П. та Осокінім В.В. було виявлено причини самозаймання й горіння порід відвалів, а також найбільш ефективні способи й технології гасіння. Представлено фізико-математичні моделі й методики розрахунку параметрів гасіння палаючих відвалів, обґрунтовано доцільність використання гідроксидів та карбонатів Na, K, Ca до суміші гасіння. Але вони не приділяли належної уваги до спостереження та моніторингу займання породних відвалів та виникнення осередків горіння на ранній стадії.

Розроблена методика термографічних зйомок дозволяє заздалегідь виявити місця розташування осередків горіння відвалів на стадії їх формування[3-5].

Постановка завдання. Метою роботи є представлення методики тепловізорової зйомки породних відвалів для виявлення найбільших теплових зон горіння. Це допомагає виявити осередки горіння з температурою понад 100°C та провести заміри викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Викладення матеріалу та результати. Склад палаючої породної маси у відвалу різноманітний, це:

- чисте вугілля;
- зросток вугілля з породою;
- вуглисті сланці й аргіліти;
- лісоматеріали та палаюча сірка, яка представлена піритом [6].

Фізико-хімічний процес горіння відвалів полягає у переході хімічної системи з низькотемпературного стану у стан горіння внаслідок утворення тепла всередині відвалу та впливу його ззовні. Джерелом самозаймання є хімічні реакції окису активних компонентів за допомогою кисню, який поступає у відвал ззовні або утворюється внаслідок розкладання компонентів на основі піриту всередині системи [7].

Формування породних відвалів здійснюється наступним відвальним обладнанням:

- одноковшеві екскаватори;
- конвеєрні відвалоутворювачі (консольні й транспортно-відвальні мости);
- автомобільний транспорт (автоскиди).

Найбільш розповсюджений спосіб формування відвалів – конічний за допомогою автомобільного транспорту. Як видно з рис.1, при скиданні порода має неоднорідну структуру, тобто складається з фракцій різних кусків породи діаметром від 15 до 400 мм. Тяжка фракція (100-400 мм) під дією сили гравітації осаджується першою, таким чином формуючи остов відвалу, середня фракція (50-95мм) насипається другим шаром та легка фракція (15-25 мм) складає третій шар тіла відвалу. Таким чином, за певний проміжок часу відбувається процес усадки породи (ущільнення), що сприяє виникненню теплових зон займання. Основним впливом на початкові стадії горіння відвалів є вітрова ерозія та проникнення вологи всередину міжкускового простору, внаслідок чого утворюються окислювальні-відновлювальні реакції за участю окислів заліза та порід з багатим вмістом піриту[8, 9].

Відсіпка конічного відвалу проводиться з фіксованими місцями розвантаження породи, внаслідок чого структурні зони відвалу розташовуються за принципом вейеру. В цьому випадку відвал перегорає повніше, оскільки порода з невеликим вмістом палаючої породи з нижньої зони, яка зазвичай не перегорає, потрапляє у середню зону з інтенсивним горінням з утворенням осередків горіння[10, 11].

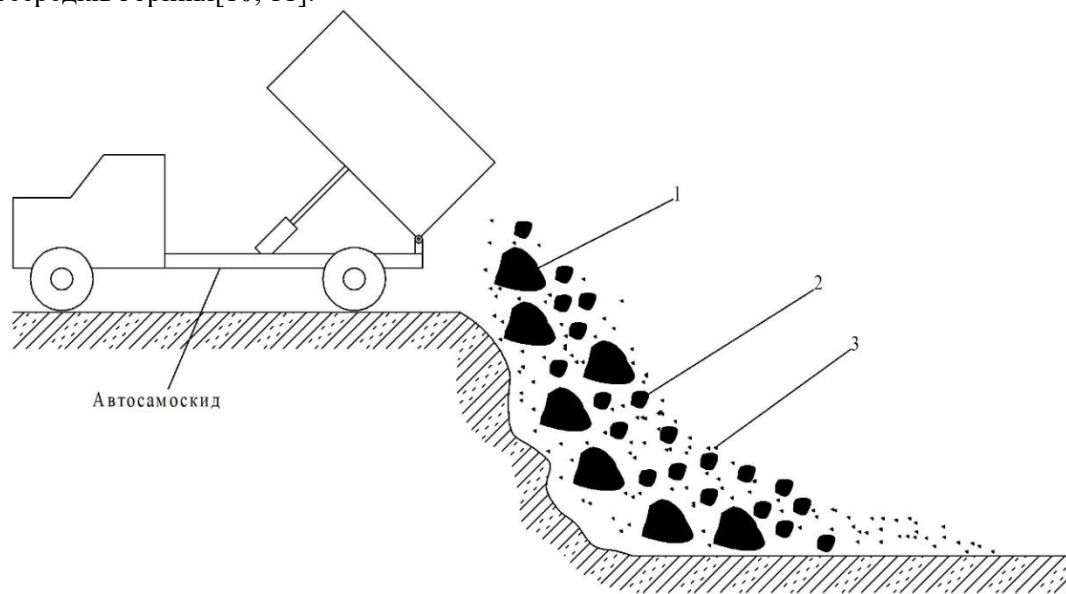


Рис.1. Схема розподілення кусків породи при автомобільному формуванні породного відвалу:
1 - тяжка фракція; 2 - середня фракція; 3 - легка фракція

На рис. 2 зображено графік розподілення фракцій кусків породи в залежності від її розмірів та питомої маси. Враховується висота розвантаження H (м) фракцій, що впливає на відстань переміщення розсипу кусків L (м). Зі збільшенням висоти розвантаження породи пропорційно зростає кут відкосу відвалу, що провокує переміщення легкої (дрібної) фракції порід на значну відстань[12].

Рис. 3 відображає візуальне бачення фракційного складу порід, які містяться у породному відвалі. Якщо провести порівняльний аналіз з графіком розподілення фракцій породи на рис.2, то побачимо, що фракції розподіляються на:

- тяжку (крупна фракція породи);
- середню (середня фракція породи);
- легку (дрібна фракція породи).

Таким чином, при рясних дощових опадах на поверхні відвалу утворюються значні вимоїни глибиною від 700 мм до 5500 мм, що провокує утворення значного зсуву дрібної фракції порід масою від 500 кг/га до 1,5 т/га й більше. Це призводить до забруднення хімічними елементами ґрунтових вод[13].

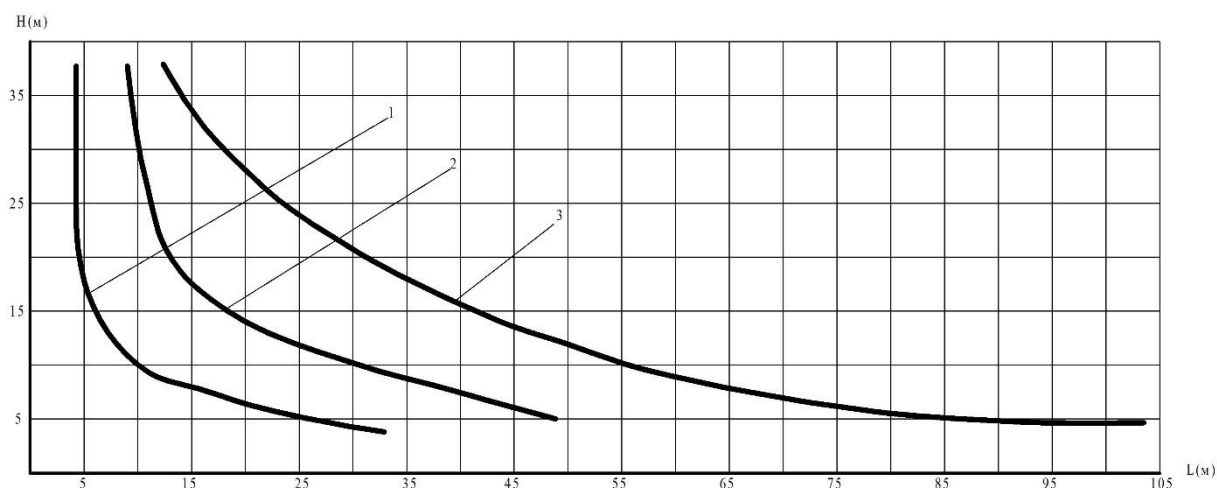


Рис.2. Графік розподілення фракцій відвальної породи в залежності від висоти та довжини відвалу:
1 - тяжка фракція; 2 - середня фракція; 3 - легка фракція

Рис. 3. Візуальне зображення фракційного складу порід у породному відвалі

На рис. 4 зображено техногенний ландшафт породного відвалу, через який проходить автомобільна дорога, по якій проходить інтенсивний рух транспорту (автосамоскидів). З рисунку видно наявність дрібнодисперсної фракції породи (дорога), в якій під час ущільнення виникають концентратори теплових зон горіння.

Термографічна зйомка (рис. 5) показує температурну різницю теплових зон концентраторів горіння (мінімальна 13,3°C, максимальна 40,6°C), що свідчить про інтенсивні процеси горіння, які відбуваються у концентраторі.

Розрахунок витоку повітря через осередок горіння здійснюється за формулою

$$v_0 = \frac{2v_L}{1 + \sqrt{1 + \frac{4v_L}{b}}}, \quad (1)$$

де b – загальний коефіцієнт турбулентності фільтраційного потоку; v_L – швидкість ламінарних потоків через осередок горіння, м/с.

Кількість палаючих матеріалів в осередку горіння



Крупна фракція породи



Середня фракція породи



Дрібна фракція породи

$$n = \frac{v_0(v_0 + \alpha)}{\beta \left[\frac{E v_0}{T_1 - T_0} - (v_0 + \alpha) \right]}, \quad (2)$$

де v_0 – виток повітря через осередок горіння; α – наведена константа швидкості тепловіддачі порід у навколишнє середовище; β – наведений коефіцієнт сорбції кисню породної маси, приймається 0,5 м/с; T_1 та T_0 – температура повітря навколишнього середовища й осередка горіння.



Рис. 4. Техногенний ландшафт породного відвалу (автомобільна дорога)

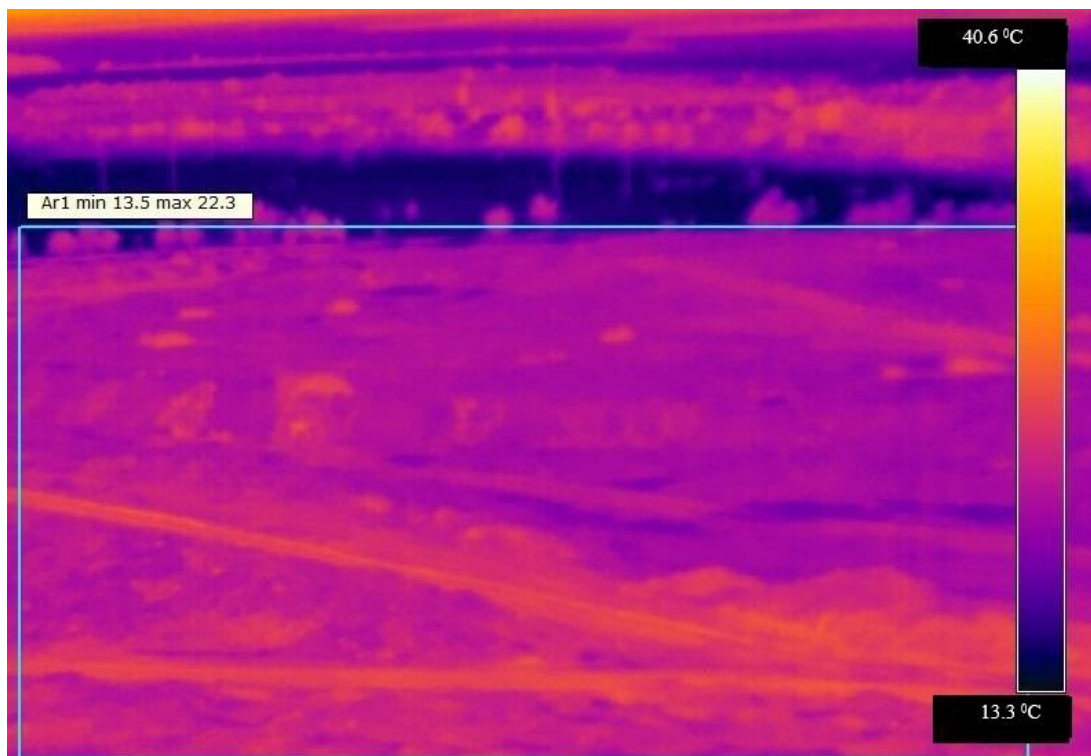


Рис. 5. Термограма концентраторів горіння породного відвалу (автомобільна дорога)

Наведена константа швидкості тепловіддачі порід у навколишнє середовище

$$a = \frac{\alpha_0}{\rho_0 c_p \varepsilon}, \quad (3)$$

де α_0 – коефіцієнт тепловіддачі порід у навколишнє середовище, приймається рівним 50 Вт / (м²·К); ρ_0 – щільність атмосферного повітря, приймається рівним 1,2 кг/м³; c_p – питома теплоємність повітря, приймається рівним 1040 Дж / (кг·К); ε – середній коефіцієнт порожньої відвальної породи, приймається рівним 0,5-0,45 [14, 15].

Висновки та напрямки подальших досліджень. Встановлено, що при формуванні породного відвалу автомобільним транспортом порода, яка перевозиться у кузові, зазнає значне ущіль-

нення від вібрацій кузова при перевезенні та за рахунок дрібнодисперсної фракції, що вже спричиняє початковий етап горіння. Приведені рисунки візуального фракційного складу порід, ландшафту й термографічної зйомки автомобільної дороги, яка проходить поруч з відвалом, свідчать про наявність дрібнодисперсних фракцій, що становить основну горіння. Моніторинг теплового стану дозволяє встановити причину горіння, оскільки основу дороги складає дрібнодисперсна фракція породи, яка зазнає значного ущільнення під час інтенсивного руху та маси автоскидів. Наведені формули допомагають розрахувати кількість палаючих матеріалів в осередку горіння здійснити розрахунок витoku повітря через осередок горіння у навколишнє середовище.

Напрямом подальших досліджень є вивчення складових хімічних елементів порід відвалів з метою виявлення причин самозаймання та утворення теплових зон концентраторів.

Список літератури

1. **Чоботько І.І.** Технологічна схема пристрою зрошування вапнякової суспензії консольного відвалоутворбача ВКР 8000/100 / **І.І. Чоботько, С.В. Тинина, В.П. Франчук** // Жур. ВІСТІ Донецького гірничого інституту. - № 1 (44). - Донецький національний технічний університет. Покровськ 2019. - С. 138-144.
2. **Чоботько І.І.** Методи та засоби локалізації осередків самозаймання породних відвалів / **І.І. Чоботько, С.В. Тинина** // Міжвідомчий збірник наукових праць «Геотехнічна механіка». - Вип. 142. Дніпро 2018. - С. 134-139.
3. **Чоботько І.І.** Проблеми експлуатації та методи запобігання загоранню породних відвалів / **І.І. Чоботько, С.В. Тинина** // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. - 2017 р. Т. 44. - С. 146-151.
4. **Зубов А.Р.** Экспертная система оценки породных отвалов угольных шахт как структурных элементов экологических сетей / **А.Р. Зубов, А.А. Зубов** // Жур. Уголь Украины – 2016 - № 2 – Киев. – С. 31-37.
5. **Зубова Л.Г.** Оценка радиоактивности породных отвалов угольных шахт ПАО «Лисичанскуголь» / **Л.Г. Зубова, А.Р. Зубов** // Жур. Уголь Украины – 2016 - № 4-5 – Киев. – С. 59-65.
6. **Верех-Білоусова К.Й.** Оцінка впливу породного відвалу вугільної шахти на ґрунти прилеглих територій / **К.Й. Верех-Білоусова** // Жур. Уголь Украины – 2016 - № 4-5 – Киев. – С. 66-67.
7. **Зубова Л.Г.** Породы отвалов угледобычи как сырье для металлургии / **Л.Г. Зубова** // Жур. Уголь Украины – 2016 - № 11-12 – Киев. – С. 45-53.
8. **Зборщик М.П.** Природа самовозгорания и тушения отвальных пород угольных месторождения / **М.П. Зборщик, В.В. Осокин** // Жур. Уголь Украины – 2015 - № 3-4 – Киев. – С. 76-78.
9. **Греков С.П.** Расчет выделения вредных веществ из породных отвалов / **С.П. Греков, И.Н. Зинченко, Е.А. Головченко** // Жур. Уголь Украины – 2010 - № 2 – Киев. – С. 20-21.
10. **Мнухин А.Г.** Породные отвалы – сырье будущего / **А.Г. Мнухин** // Жур. Уголь Украины – 2009 - № 5. – Киев. – С. 28-32.
11. **Пашковский П.С.** Контроль теплового состояния породных отвалов / **П.С. Пашковский, Э.А. Попов, М.А. Яремчук** // Жур. Уголь Украины – 2000 - № 7 – Киев. – С. 27-29.
12. **Зборщик М.П.** Предотвращение экологически вредных проявлений в породах угольных месторождений / **М.П. Зборщик, В.В. Осокин** // Донецкий государственный технический университет – Донецк. – 1996. – 178 с.
13. **Зборщик М.П.** Использование новых способов тушения породных отвалов – неотложная задача / **М.П. Зборщик, В.В. Осокин, А.М. Рудь, В.М. Варакин** // Жур. Уголь Украины – 1985 - №11 – Киев. – С. 30-32.
14. **Зборщик М.П.** Самонагревание горных пород и его предотвращение / **М.П. Зборщик, В.В. Осокин, Ю.И. Николенько, А.М. Рудь** // Жур. Уголь Украины – 1981 - №2 – Киев. – С. 30-32.
15. **Саранчук В.И.** Борьба с горением породных отвалов / **В.И. Саранчук** // Киев: Наук. думка, 1978. – 168 с.

Рукопис подано до редакції 28.10.2019

УДК 622.261.2

О.Є. ГРИГОР'ЄВ, Н.В. ХОЗЯЙКІНА, кандидати техн.наук, доценти,
О.І. ДУБОВИК, інж., Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

ВПЛИВ СТАНУ ПРОТЯЖНИХ ВИРОБОК ВУГІЛЬНИХ ШАХТ НА ОБСЯГИ СПОЖИВАНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Мета. На цей час, не зважаючи на тенденції, що пов'язані з декарбонізацією енергетики, вугілля в Україні ще тривалий час буде забезпечувати сировиною теплові електростанції. Така тенденція, за оцінкою експертів, збережеться до 2050 року. Основним недоліком українського вугілля є його висока собівартість. Це пов'язано, перш за все, важкими гірничо-геологічними умовами, глибиною розробки, розгалуженою системою підземних виробок, які потребують їх постійного ремонту для підтримки у нагляді, що відповідає вимогам правил експлуатації. Мета даної роботи полягає в обґрунтуванні таких параметрів кріплення, що дозволили би повторне використання конвеєрних виробок вугільної шахти.

Методи досліджень. В представленій роботі проведено аналіз актуальних джерел інформації, в організації і виконанні натурних досліджень та аналітичних досліджень на основі геомеханічних моделей, в економічному аналізі отриманих результатів.

Наукова новизна. Теоретичні дослідження полягають в отриманні аналітичних залежностей величини загальношахтної депресії і пов'язаної з нею використаною електроенергією, що живить вентилятори головного провітрювання, від стану протяжних виробок, який, у свою чергу, залежить від вчасного виконання ремонтних робіт.

Практична цінність. Виконані дослідження полягають у розробці методики вчасного приведення до експлуатаційного стану протяжних виробок, що дають змогу скоротити витрати на споживану електроенергію і зменшити собівартість вугілля, що видобувається.

Результати. На підставі виконаних досліджень отримані математичні залежності, які можуть бути покладеними в основу подальших наукових розробок, пов'язаних з оптимізацією діяльності вугільної шахти. Аналіз собівартості вугілля на шахтах показує, що основні витрати пов'язані з матеріальною складовою, серед якої найбільш вагомі є витрати на споживану електроенергію, основна частина якої задіяна на роботу вентиляторів головного провітрювання. Депресія розгалуженої системи виробок суттєво залежить від їх стану, який оцінюється величиною залишкового перерізу, що зменшується у часі. Отримані залежності дозволяють у першому наближенні визначити обсяг і строки виконання ремонтних робіт, мінімізувати собівартість вугілля, що видобувається.

Ключові слова: декарбонізація, вугілля, собівартість, стан виробки, депресія, ремонтні роботи.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-106-13-19

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними задачами. Не зважаючи на зменшення світового попиту на вугільну продукцію, для України саме вугілля є чи не єдиним стратегічно важливим енергоресурсом, покладів якого достатньо для забезпечення потреб тепло- і електроенергетики, металургійного виробництва, хімічної промисловості тощо. Деклароване багатьма аналітиками збільшення відсотку використання нетрадиційних джерел енергії та інших вуглеводневих ресурсів під час виробництва електроенергії на разі спростовується динамікою зростання потреб у вугіллі і загальними обсягами його використання промислово розвиненими країнами [1, 2], які сягають 58...70 %. Безумовно, в майбутньому розвиток технологій виробництва електроенергії з відновлюваних джерел істотно зменшить обсяги використання вугілля, але наразі питання суттєвого згортання його видобутку і споживання, принаймні, для України не на часі [3-5].

Втім, питома вартість вугільної продукції, нажаль, залишається занадто високою у порівнянні із імпортованими нафтопродуктами та газом, що, природно, впливає на конкурентоспроможність як паливного ресурсу, так і всієї видобувної галузі в цілому. Зменшення собівартості вугільної продукції дозволить відмовитись від політики дотаційної підтримки вугільної промисловості України.

Шляхи зменшення собівартості вугілля, що видобувається найбільш ефектно визначаються, виходячи з аналізу її структури. Одним з найбільш перспективних підприємств на цей час, що вже не знаходяться у державній власності, є шахта «Краснолиманська». Кінцевою її продукцією є вугілля марки «Ж», основним споживачем якої виступають коксохімічні заводи України.

Аналіз досліджень та публікацій. З огляду на економічну ситуацію в країні виробнича діяльність шахти не є стабільною, хоча в кращі свої роки видобуток вугілля сягав 5 млн. тонн. Найбільш ефективно останнім часом шахта працювала у 2011-2015 рр., що витікає з рис. 1 [6].

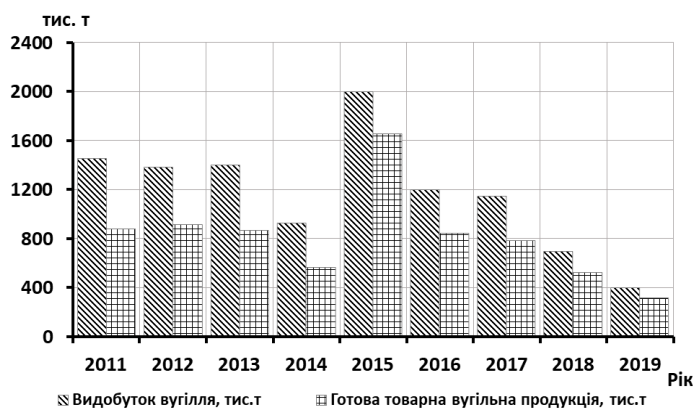


Рис. 1. Динаміка видобутку вугілля за 2011-2019 роки

Пізніше з різних причин видобуток вугілля на шахті зменшувався. На рис. 2 [6] наведено динаміку зміни виробничої і повної собівартості вугілля за ті ж роки, а також собівартості товарної продукції. З нього витікає, що собівартість, яка несуттєво знизилась у 2012 і 2013 роках, виросла у 2015 році, зважаючи на те, що видобуток вугілля знизився майже вдвічі відносно попередніх років.

Аналіз статей у структурі виробничої собівартості (рис. 3) [6] показав, що у 2013-2014 роках її збільшення викликано ростом амортизаційних відрахувань, заробітної плати і, основному, і матеріальним витратами.

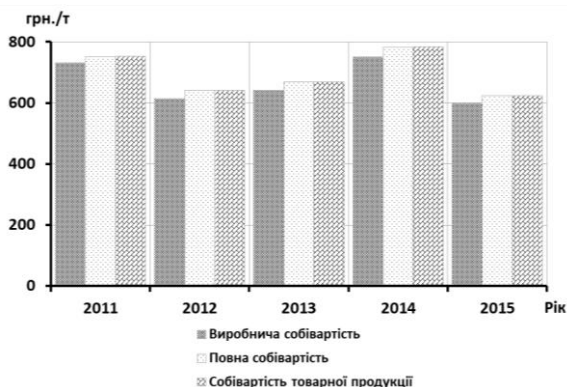


Рис. 2. Динаміка зміни собівартості за 2011-2015 роки

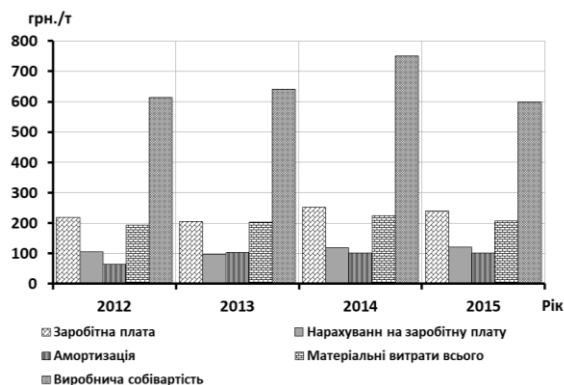


Рис. 3. Динаміка зміни статей виробничої собівартості за 2012-2015 роки

Матеріальні витрати за період, що аналізується виросли, в загальні за рахунок збільшення обсягів споживаної електроенергії (рис. 4) [6].

При цьому спостерігається кореляція між витратами на споживану електроенергію і загальним станом виробок, який оцінюється відсотком таких, що перебувають у незадовільному стані (рис. 5). Цей факт вимагає більш детального дослідження.

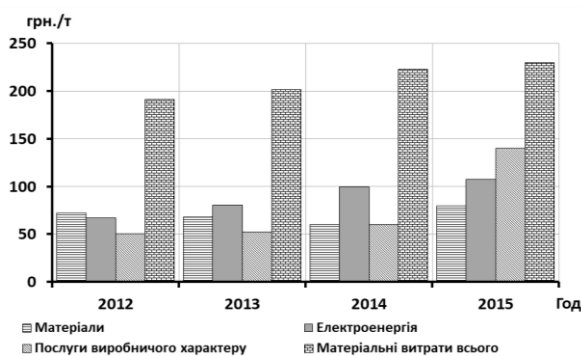


Рис. 4. Динаміка зміни складових статті «матеріальні витрати» у виробничій собівартості (за 2012-2015 роки)

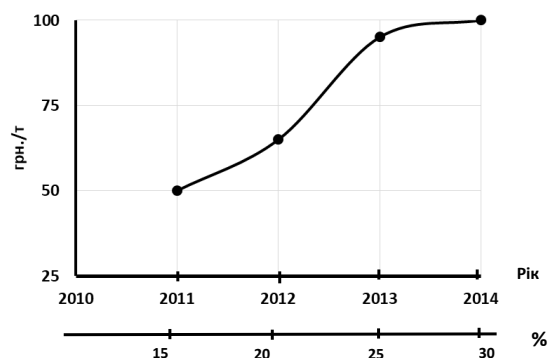


Рис. 5. Залежність кількості споживаної електроенергії від стану виробок за роками

Постановка задачі. Суттєву, а часом і визначальну, долю собівартості видобутку вугілля складають витрати на спорудження і підтримання підземних гірничих виробок в надскладних гірничо-геологічних умовах українських шахт [7, 8, 9]. Питанню забезпечення стійкості виробок, і, відповідно, зменшенню капітальних і експлуатаційних витрат останнім часом присвячено чимало робіт, які спрямовані, перш за все, на обґрунтування можливості використання і розробку систем кріплення гірничих виробок, які б забезпечили достатню за часом експлуатацію підземних об'єктів. Дійсно, обґрунтований вибір місця розташування виробок, систем кріплення, додаткових заходів щодо штучного зміцнення породного масиву дозволяють суттєво подовжити термін використання виробки і зменшити кількість її ремонтів під час експлуатації і, зрештою, зменшує загальну собівартість виробки. Щодо ж виробок підготовчих, термін використання яких є обмеженим, то актуальним лишаються способи повторного їх використання, що також зменшуються собівартість товарного вугілля. Така ж проблема торкається і споруд поверхневого комплексу шахт [10-14].

Основна частина. Однак за дужками зазвичай залишається визначення обсягів зменшення опосередкованих витрат, які напевно залежать від заходів, що впроваджуються на підставах такого обґрунтування. Так, наприклад, забезпечення тривалої стійкості виробки часом дозволяє забезпечити збереження близького до проектного контуру виробки, що, вочевидь, призводить до зменшення рівня травматизму робітників під час транспортних, технологічних та інших ро-

біт. У виробках, в яких передбачені заходи з підсилення стійкості підосви і збереження площі перерізу, маючи на увазі їх повторне використання, швидкість транспортування матеріалів, людей і копалин безумовно дещо вища у порівнянні з виробками, в яких таких заходів непередбачено. Слід також додати, що у більш стійких виробках системи водопостачання, водовідведення, енергопостачання є надійнішими і не потребують виконання додаткових ремонтних робіт. Підрахунок економічної ефективності впроваджених рішень за рахунок зазначених вище зменшень витрат однозначно виконати досить важко, на відміну від розрахунку зниження витрат на забезпечення вентиляції виробки, які суттєво залежать від площі перерізу виробки, що впливає з нижченаведеної загальної методики розрахунку депресії виробки і витрат електроенергії на забезпечення її провітрювання.

Депресія виробки визначається за формулою

$$h = RQ^2, \quad (1)$$

де R – аеродинамічний опір виробки, Q – витрати повітря. Витрати повітря мають бути постійними, внаслідок того, що визначаються на підставі розрахунку залежно від інших постійних величин, а саме – від максимальної кількості людей у вибої, кількості продуктів вибуху під час буропідричних робіт, від швидкості повітряного струменя у виробці, які зазвичай є незмінними під час проведення виробки. В процесі експлуатації величина потрібної кількості повітря змінюється зазвичай після введення/погашення видобувних ділянок, але під час їх відпрацювання є майже незмінною.

Аеродинамічний опір виробки R , в свою чергу, розраховується за формулою

$$R = \frac{\alpha PL}{S^3}, \quad (2)$$

де α – коефіцієнт аеродинамічного опору тертя; P – периметр поперечного перерізу виробки; L – довжина виробки, S – площа поперечного перерізу виробки.

Під час експлуатації виробки під впливом гірського тиску зменшується площа перерізу виробки. Коефіцієнт аеродинамічного опору тертя, який залежить від стану поверхні контуру виробки, перш за все, від її шорсткості, також змінюється при деформації контуру виробки за рахунок розлому і викривлення затяжок і рам кріплення, здимання порід підосви, вивалів тощо. Експлуатаційна довжина виробки є величиною постійною.

Враховуючи величину показнику ступеню при змінній S , напевно, саме цей параметр найбільше впливає на загальну величину аеродинамічного опору і за досвідом саме площа перерізу є найменш постійною у виробках глибоких горизонтів або у нестійких породах будь-яких підземних об'єктів.

Практичний досвід експлуатації виробок свідчить, що величина площі перерізу виробки під час експлуатації варіюється від максимального значення зданої в експлуатацію виробки до нуля, якщо заходи із збереження її експлуатаційних характеристик виявились не ефективними або взагалі помилковими. Зрозуміло, що в останньому випадку провітрювання неіснуючої виробки, або виробки, площа перерізу якої не дозволяє її експлуатацію, не є доречним. Тому під час визначення теоретичної величини аеродинамічного опору виробки слід відштовхуватись від тих геометричних розмірів виробки, при яких її експлуатація є доцільною.

Питанню щодо визначення мінімально припустимих розмірів виробки останнім часом приділяється особлива увага. Пов'язано це, перш за все, саме з намаганнями мінімізувати експлуатаційні, а, часом, і капітальні витрати. Так, наприклад, в [15] порівнюються капітальні витрати на спорудження нової ділянкової виробки, потреба в якій виникне в результаті погашення існуючої, і експлуатаційні витрати на ремонт останньої. В [16] обґрунтована система кріплення ділянкової виробки для захисту від впливу видобувних робіт, яка б дозволила забезпечити мінімальну вартість ремонтних робіт після проходження лави для її повторного використання. За результатами досліджень величина мінімально припустимої площі перерізу виробки з точки зору мінімізації капітальних і експлуатаційних витрат складає 8...9 м². Експертна оцінка, яка сформована за результатами опитування досвідчених спеціалістів цілком збігається з означеною величиною, як межа значення площі виробки, яка дозволяє відносно комфортне виконання робіт при дотриманні мінімально припустимих зазорів за правилами безпеки.

Характер виникнення і параметри шорсткості на внутрішній поверхні системи кріплення, механіка зміни геометрії виробки під впливом гірського тиску в цілому ідентичні як для капіта-

льних так і для ділянкових виробок. Тому універсальність отриманої залежності величини депресії виробки від площі її поперечного перерізу (рис. 6), яка ґрунтується на даних робіт [15, 16] є достатньою.

Рис. 6. Експоненціальна залежність величини депресії виробки від площі її поперечного перерізу

Експоненціальна залежність величини депресії виробки h від площі її поперечного перерізу S згідно до рис. 1 має вигляд

$$h = 1,75 \cdot 10^5 e^{-0,361S} \quad (3)$$

Залежність сформована виходячи з передумови, що коефіцієнт аеродинамічного опору збільшується до максимального значення $\alpha = 40 \text{ Нс}^2/\text{м}^4$, який притаманний виробкам з найбільшим рівнем шорсткості. Зрозуміло, що у випадках, коли α перевищує цю величину депресія, h пропорційно збільшується.

Для виконання розрахунків також були прийняті довжина виробки $L = 1000 \text{ м}$ і обсяг витрат повітря $Q = 115 \text{ м}^3/\text{с}$.

Аналізуючи отриману залежність слід зазначити, що при $S \leq 8 \text{ м}^2$ величина h стрімко зростає. Визначені в [15, 16] величини площі перерізу виробки, за якими можлива експлуатація виробки без втрат її функціонального призначення, цілком збігаються з мінімально припустимим значенням S , за яким депресія виробки не перевищує 10...15 % від мінімальної.

Вочевидь, що довгострокове збереження проектних геометричних параметрів площі виробок, як первісної їх нормальної експлуатації, в умовах вугільних шахт наразі є майже недосяжним і, до того ж, не завжди потрібним. Внаслідок зменшення площі перерізу кожної виробки системи підземних об'єктів шахти загальний аеродинамічний опір зростає і для забезпечення належної якості провітрювання з часом має збільшуватись і депресія.

Повна або часткова втрата стійкості виробок, а, відповідно, і деформація їх контуру не відбувається миттєво, – зазвичай процеси деформування породного масиву навколо виробок вугільних шахт, викликані проявами гірського тиску, тривають протягом часу, що вимірюється термінами від декількох діб до тижнів, місяців, а в окремих випадках – років. Механіка такого деформування і, як наслідок, зміщень контуру виробки, відбувається за одним сценарієм і достатньо точно описується положеннями біфуркаційної теорії здимування порід підосви [17].

На першому етапі існування виробки, максимальна тривалість якого сягає декількох годин, величини зміщень контуру, викликаних пружними деформаціями масиву, складають міліметри і зазвичай жодним чином не впливають на стан і експлуатаційні характеристики виробки (рис. 7).

Другий етап характеризується появою зміщень на всьому периметрі контуру виробки. Тривалість і інтенсивність цього етапу, як зрештою і наступних, залежить від фізико-механічних властивостей порід, глибини виробки, макроструктури масиву тощо. За досвідом, величини таких зміщень варіюються від декількох сантиметрів до 300-500 мм (див. рис. 7).

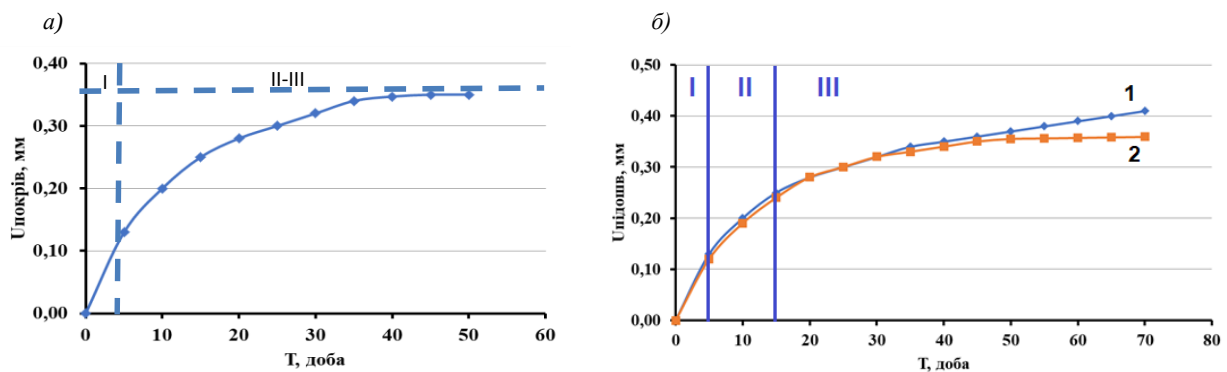


Рис. 7. Графіки зміщення покрівлі (а) і підосви (б) капітальної виробки, де 1 – несталий характер здимування; 2 – сталий характер здимування

Особливістю наступної стадії (етап III) є зменшення або припинення проявів деформування в покрівлі і боках та одночасне збільшення інтенсивності здимання підшви, яке, наприклад, для умов Павлоградського регіону має незгасаючий характер, а для міцніших масивів порід Центрального Донбасу з часом уповільнюється, або взагалі, навіть, згасає (див. рис. 7, а, б).

Така стадійність простежується явно чи менш визначеним чином, але в цілому характерна для переважної більшості підземних виробок вугільних шахт [18].

Графіки, що наведені на рис. 2 апроксимуються наступними залежностями, які мають досить загальний характер

$$U_{\text{покрів}} = -0,0002T^2 + 0,0161T + 0,0349, R^2 = 0,9727; \quad (4)$$

$$U_{\text{підшви}} = 3^{-6}T^3 - 0,0004T^2 + 0,0199T + 0,0168, R^2 = 0,993, \quad (5)$$

де T – час спостережень, a, b, c, d – коефіцієнти апроксимації, величина яких залежить від конкретних гірничо-геологічних умов.

На рис. 8. Наведено характер зміщення контуру капітальної виробки у часі: $S_0 = \pi R_0 + 2ah_c$, $R_0 = R_0(T)$; $h_c = h_c(T)$.

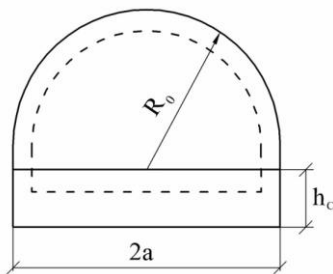


Рис. 8. Зміщення контуру виробки у часі

Зменшення з часом поперечного перерізу виробки відбувається за наступною залежністю

$$S(T) = \pi R_0(T) + 2ah_c(T), \quad (6)$$

або

$$S(T) = \pi U_{\text{покрів}}(T) + 2aU_{\text{підшви}}(T). \quad (7)$$

Тут $U_{\text{покрів}}(T)$ та $U_{\text{підшви}}(T)$ зменшення у часі відповідно порід покрівлі та підшви, що визначаються залежностями (4) і (5).

Тоді збільшення депресії у виробці з часом буде визначатися наступною залежністю

$$h = 1,75 \cdot 10^5 \exp[-0,35 \cdot (\pi U_{\text{покрів}}(T) + 2aU_{\text{підшви}}(T))]. \quad (8)$$

Висновки та напрямок подальших досліджень.

1. Аналіз собівартості вугілля, що видобувається, показує, що в її структурі 25-30 % складають витрати, пов'язані з використанням електроенергії.
2. Основна частина електроенергії, що використовується, пов'язана з вентиляторами головного провітрювання, які забезпечують нормативну подачу повітря у виробки.
3. Депресія підземних виробок залежить від залишкового перерізу виробок, який характеризує їх експлуатаційний стан і, відповідно, обсяг ремонтних робіт, які необхідно виконувати для підтримки їх у стані, що задовольняє вимогам Правил експлуатації.
4. Попередньо отримані залежності величини депресії від стану виробок, що змінюється у часі, дозволяють мінімізувати експлуатаційні витрати та знизити собівартість вугілля, що видобувається.
5. Подальші дослідження полягають у класифікації протяжних виробок залежно від їх призначення, виду кріплення та стану їх невідповідності Правилам експлуатації, що дозволить розробити ефективну методику своєчасного виконання ремонтних робіт, зменшить загальношахтну депресія і витрати на споживану електроенергію, яка живить вентилятори головного провітрювання.

Список літератури

1. Шашенко А.Н. Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве [Текст]: дисс....докт. техн. наук.: 05.15.04; 05.15.11 / Шашенко Александр Николаевич. – Днепропетровск, 1988. – 507 с.
2. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П. Механика горных пород: учебник – Днепропетровск: НГУ, 2003. – 399 с.
3. Пивняк Г.Г., Шашенко А.Н., Пилов П.И., & Пашкевич М.С. (2012). Post mining: технологический аспект решения проблемы. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), (1), 20-31.
4. Pivniak H.H., Pilov P.I., Pashkevych M.S., & Shashenko D.O. (2012). Synchro-mining: civilized solution of problems of mining regions'sustainable operation. Scientific Bulletin of National Mining University, (3).
5. Пивняк, Г.Г., Пілов, П.І., Пашкевич, М.С., & Шашенко, Д.О. (2012). Synchro-mining: цивілізоване вирішення проблеми сталого функціонування гірничодобувних регіонів. Науковий вісник Національного гірничого університету, (3), 131-138.
6. Отчет о НИР МОН Украины ГВУЗ «НГУ»; Руководитель А.Н. Шашенко; Н.В. Хозяйкина, А.О. Логунова, С.Н. Гапеев, А.В. Скобенко и др. – шифр темы 050403. – Днепр, 2016. – 113 с.

7. Гапеев С.Н., Раскидкин В.В., Кравченко К.В. Исследование характера взаимного влияния протяженных выработок на участке их сопряжения // [Збірник наукових праць Національного гірничого університету](#). – 2010. – № 34 (1). – С. 173-180.

8. Логунова А.О. Управление геомеханическими процессами в окрестности подземных выработок с помощью анкерных систем / Логунова А.О. // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Випуск 1 (13). – С. 89-96.

9. Гапеев С.Н., Григорьев А.Е., Логунова А.О. Критериальная величина остаточного сечения конвейерного штрека, используемого повторно // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Випуск 2 (16). – С. 90-99

10. Эффективная отработка руд в условиях техногенеза недр: монография / Д.В. Бровко, Б.Н. Андреев, Н.И. Ступник и др. – Кривой Рог: Дионис, 2012. – 233 с.

11. Бровко Д.В., Андреев Б.М. Научный подход в оценке надежности эксплуатируемых объектов поверхности горнопромышленного комплекса // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, 2012. – Вип. 31. – С. 41 – 46.

12. Brovko D.V., Andreev B.N., Khvorost V.V. Determination of reliability and justification of object parameters on the surface of mines taking into account change-over to the lighter enclosing structures // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – No. 7(12). – P. 378 – 382.

13. Brovko D.V., Andreev B.N., Khvorost V.V. Prediction and ensuring the reliability of buildings elements and structures of surface complex at reconstruction // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – N.9. – P. 54 – 57.

14. Brovko D.V., Khvorost V.V. Providing safety for mine surface objects by upgrading of the reliability level / [Електронний ресурс] // Computer Science, Information Technology, Automation. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: http://csita.com.ua/wp-content/uploads/2019/02/10_6.pdf

15. Солодянкин А.В., Машурка С.В., Дудка И.В. К вопросу об эффективности повторного использования выработок в сложных геомеханических условиях // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – 2015. – № 2 (16). – С. 99-109.

16. Шашенко А.Н., Солодянкин А.Н., Мартовицкий А.В. Управление устойчивостью протяженных выработок глубоких шахт. – Днепропетровск: «ЛизуновПресс», 2012. – 384 с.

17. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. – Киев, Изд-во «Пульсары», 2002. – 302 с.

18. Шашенко А.Н., Солодянкин А.В., Смирнов А.В. Пучение пород почвы в выработках угольных шахт. – Днепропетровск: ООО «ЛизуновПресс», 2015. – 256 с.

Рукопис подано до редакції 29.10.2019

УДК 622.013: [622.271.33: 622.12]

С.О. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., С.О. ЛУЦЕНКО, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНОГО КОЕФІЦІЄНТУ РОЗКРИВУ

Мета. Удосконалити науково-методичну базу в області проектування і планування відкритих гірничих робіт шляхом розробки нових і коригування існуючих методів визначення граничних коефіцієнтів розкриву і границь відкритих гірничих робіт, виходячи з умови конкурентоспроможності товарної залізородної продукції проектного кар'єру на світовому ринку.

Методика. В основу визначення граничного коефіцієнта розкриву покладена умова, що ціна виробленої товарної продукції проектного підприємства не повинна перевищувати ціну цієї ж товарної продукції на світовому ринку. Реалізація цієї умови досягається аналітичним шляхом. При цьому враховується вплив норми прибутку на кінцеву глибину проектного кар'єру.

Результати. Розроблено новий метод визначення граничного коефіцієнта розкриву, що забезпечує конкурентоспроможність залізородного концентрату на світовому ринку. Визначено значення граничних коефіцієнтів розкриву для Першотравневого кар'єру Північного ГЗК в залежності від ситуації на ціну на залізовмісну товарну продукцію, які забезпечують конкурентоспроможність товарної залізородної продукції на внутрішньому і на світовому ринку. На прикладі кар'єрів, які відображають характерні особливості розробки крутоспадних родовищ України, продемонстровано вплив поточних коефіцієнтів розкриву діючих кар'єрів на граничний коефіцієнт розкриву, який служить головним критерієм при визначенні меж відкритих гірничих робіт для проектованих кар'єрів.

Наукова новизна. Встановлено, що при збереженні рентабельності підприємства на одному рівні при збільшенні коефіцієнта розкриву ціна продукції повинна зростати. При постійному коефіцієнті розкриву збільшення рентабельності можливо тільки зі збільшенням ціни продукції. Таким чином, зі збільшенням коефіцієнта розкриву і зі збільшенням рентабельності підприємства буде зростати ціна продукції підприємства, що проектується.

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

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

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-106-19-24

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. При виборі варіантів відкритих гірничих робіт їх головні параметри - границі кар'єру, режим гірничих робіт і продуктивність за рудою оцінюють економічними показниками. Цими показниками є: прибуток від реалізації товарної продукції; витрати на виробництво товарної продукції; рентабельність та ін. Як показує практика, глибину і положення кінцевих контурів більшості великих кар'єрів у міру відпрацювання родовищ корисних копалин неодноразово переглядають і корегують. Однак обов'язковою є визначення кінцевих контурів відпрацювання кар'єрів, при яких розробка родовищ відкритим способом буде ефективна. Особливо гостро це питання постає при проектуванні нового підприємства, коли вже працюють подібні гірничорудні підприємства.

Останні прикладні та наукові дослідження з даного питання чітко вказують на необхідність переоцінки кінцевих контурів кар'єрів України. Розробка в затверджених діючими проектами контурах може привести до швидкого погашення робочих бортів кар'єрів на кінцевих проектних контурах найближчим часом. А це потягне за собою істотне підвищення вартості відкритих гірничих робіт за рахунок розконсервації неробочих бортів, якщо в майбутньому границі кар'єрів будуть переглянуті.

В даний час в теорії та практиці проектування немає єдиного методу визначення границь кар'єрів, які розробляють крутоспадні поклади. Гірничі підприємства ведуть відкриту розробку за застарілими проектним рішенням, які засновані на застарілих економічних оцінках. При цьому для визначення граничного коефіцієнта розкриття найчастіше використовуються економічні показники собівартості видобутку руди підземним способом або оптової ціни на корисну копалину. Однак, на світовому ринку товарної залізрудної продукції єдиним показником її конкурентоспроможності є ціна. Витрати на виробництво і рентабельність є комерційною таємницею. Тому основною умовою порівняльної оцінки ефективності роботи ГЗК на світовому ринку є порівняння ціни виробленої товарної продукції з ціною такої ж товарної продукції на світовому ринку.

Аналіз досліджень і публікацій. Питаннями визначення границь кар'єрів займалася велика кількість учених. Найбільший внесок [1-8] у теорії проектування границь відкритих гірничих робіт належать М.І. Гоберману, О.І. Стешенко, І.А. Кузнецову, П.І.Городецькому, О.І. Арсент'єву, В.В. Ржевському, В.С. Хохрякову, В.Г. Блізнюкову, О.К. Поліщуку.

Проектувальники і вчені, як основний критерій оцінки границь ефективної розробки родовищ корисних копалин відкритим способом, використовують граничний (економічно доцільний) коефіцієнт розкриття, який представляє собою максимально допустимий коефіцієнт розкриття, згідно якого в даних конкретних умовах відкрита розробка родовищ корисних копалин економічно доцільна. При цьому існують кілька загальновідомих принципів до обґрунтування глибини кар'єрів, заснованих на порівнянні одного з коефіцієнтів розкриття (середній, початковий, контурний, поточний, середньо-експлуатаційний) або суми цих коефіцієнтів з граничним (економічно доцільним) коефіцієнтом розкриття. Економічною основою всіх розрахункових принципів визначення меж кар'єрів є порівняння допустимої собівартості видобутку руди з очікуваною по проектуваному кар'єру [9], а граничний коефіцієнт розкриття розраховується по техніко-економічним показникам, досягнутими на гірничих підприємствах на момент проектування. Однак, існуючі методи визначення граничного коефіцієнтів розкриття, не враховують умов конкурентоспроможності залізрудної товарної продукції підприємства, що проектується, на світовому ринку [10].

Постановка задач. Тому була поставлена мета - розробити метод визначення граничного коефіцієнта розкриття, який дозволить при сформованій на світовому ринку ціні залізрудної продукції визначити границі кар'єру, що забезпечують конкурентоспроможність ГЗК.

Викладення основного матеріалу. Єдиним показником конкурентоспроможності товарної залізрудної продукції є її ціна. Тому основною умовою порівняльної оцінки ефективності роботи ГЗК, що проектується, на світовому ринку є порівняння ціни готової товарної продукції з ціною такої ж товарної продукції на світовому ринку, яке представлено нерівністю

$$C_{\kappa}^{\Pi} \leq C_{\kappa}^M, \quad (1)$$

де C_{κ}^{Π} – ціна концентрату ГЗК, що проектується, грн/т; C_{κ}^M – ціна концентрату на світовому ринку, грн/т.

На будь-якому гірничому підприємстві планують норму прибутку, яка виражається в кінцевому підсумку рентабельністю підприємства. Тому ціну концентрату ГЗК, що проектується, можна представити у вигляді, грн/т

$$C_{\kappa}^{\Pi} = C_{\kappa}^{\Pi} \cdot (1 + \psi), \quad (2)$$

де C_{κ}^{Π} – собівартість концентрату ГЗК, що проектується, грн/т; ψ – планова норма прибутку, частки од.

Собівартість виробництва концентрату ГЗК, що проектується, представимо виразом, грн/т

$$C_{\kappa}^{\Pi} = \frac{a_{\partial}^{\Pi} + a_n^{\Pi} + b^{\Pi} \cdot n}{\gamma_{\kappa}^{\Pi}}, \quad (3)$$

де a_{∂}^{Π} – собівартість видобутку руди без витрат на розкриття в кар'єрі, що проектується, грн/т; a_n^{Π} – собівартість переділу руди до концентрату на ГЗК, що проектується, грн/т; b^{Π} – витрати на розкриття в кар'єрі, що проектується, грн/м³; n – коефіцієнт розкриття в кар'єрі, що проектується, м³/т; γ_{κ}^{Π} – вихід концентрату з однієї тонни руди на ГЗК, що проектується, частки од.

Виходячи з цього, вираз визначення ціни концентрату ГЗК, що проектується (2), прийме наступний вигляд, грн/т

$$C_{\kappa}^{\Pi} = \frac{a_{\partial}^{\Pi} + a_n^{\Pi} + b^{\Pi} \cdot n}{\gamma_{\kappa}^{\Pi}} \cdot (1 + \psi). \quad (4)$$

Ціна концентрату, яка складається на світовому ринку, залежить від вмісту заліза. Тому ціну концентрату ГЗК, що проектується, необхідно за змістом заліза привести до ціни базового підприємства (ціни концентрату і вмісту заліза в ньому на світовому ринку). Тоді вираз матиме вигляд [11]

$$C_{\kappa}'^{\Pi} = C_{\kappa}^M \cdot \frac{\beta^{\Pi}}{\beta^M}, \quad (5)$$

де $C_{\kappa}'^{\Pi}$ – приведена вартість концентрату ГЗК, що проектується, за ціною концентрату і вмістом заліза в ньому на світовому ринку, грн/т; β^M і β^{Π} – вміст заліза в концентраті на світовому ринку і ГЗК, що проектується, відповідно, частки од.

Виходячи з цього, ціна концентрату ГЗК, що проектується, буде визначатися як, грн/т

$$C_{\kappa}'^{\Pi} = \frac{\beta^{\Pi} \cdot (a_{\partial}^{\Pi} + a_n^{\Pi} + b^{\Pi} \cdot n)}{\gamma_{\kappa}^{\Pi} \cdot \beta^M} \cdot (1 + \psi). \quad (6)$$

Виходячи з формули (2), ціна концентрату на ГЗК, що проектується, як показник конкурентоспроможності, залежить від планованого прибутку та обсягів розкривних робіт. Інші показники визначені досягнутим на комбінаті рівнем техніки і технології видобутку руди і порожніх порід (a_{∂}^{Π} і b^{Π}), показниками технології переділу руди до концентрату і якістю руди (a_n^{Π} , γ_{κ}^{Π} , β^{Π}). Перераховані показники при визначенні конкурентоспроможності аналогічних підприємств, можна прийняти постійними, так як вони тривалий час не змінюються, а якщо і змінюються, то практично однаковими темпами.

Для прикладу, розглянемо графіки зміни ціни концентрату Північного ГЗК від поточного коефіцієнта розкриття при різному вмісті заліза в концентраті на світовому ринку (рис. 1, 2).

З представлених рисунків видно, що при збереженні рентабельності підприємства на одному рівні при збільшенні коефіцієнта розкриття ціна продукції повинна зростати. При постійному коефіцієнті розкриття збільшення рентабельності можливо тільки зі збільшенням ціни продукції.

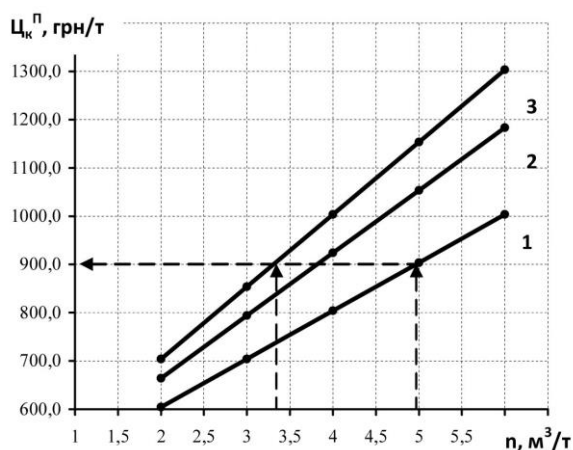


Рис. 1. Зміна ціни концентрату Північного ГЗК в залежності від поточного коефіцієнта розкриття при вмісті заліза в концентраті на світовому ринку 65%: 1 - при нормі прибутку $\psi = 0\%$; 2 - при $\psi = 30$; 3 - при $\psi = 50$

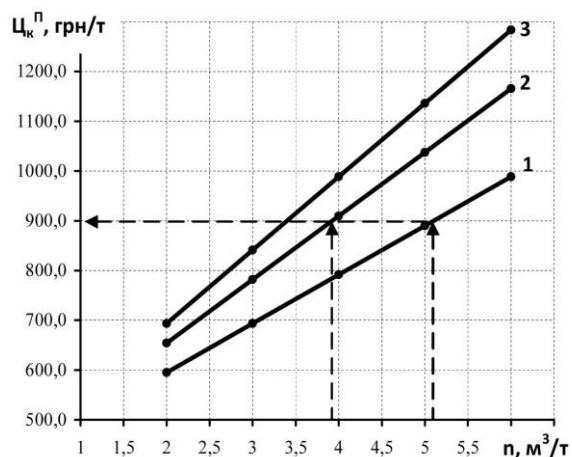


Рис. 2. Зміна ціни концентрату Північного ГЗК в залежності від поточного коефіцієнта розкриття при вмісті заліза в концентраті на світовому ринку 66%: 1 - при нормі прибутку $\psi = 0\%$; 2 - при $\psi = 30$; 3 - при $\psi = 50$

Отже, зі збільшенням коефіцієнта розкриття і зі збільшенням рентабельності підприємства буде зростати ціна продукції підприємства, що проектується. Настане момент, коли ціна продукції зросте до граничної величини $Ц_{\kappa}^M$. Тоді, підставивши в умову конкурентоспроможності товарної продукції кар'єру, що проектується (1), значення його можливої ціни, одержимо

$$\frac{\beta^{\Pi} \cdot (a_{\delta}^{\Pi} + a_n^{\Pi} + b^{\Pi} \cdot n_z) \cdot (1 + \psi)}{\gamma_{\kappa}^{\Pi} \cdot \beta^M} \leq Ц_{\kappa}^M. \quad (7)$$

Виходячи з цієї нерівності, граничний коефіцієнт розкриття визначається як

$$n_{zp} = \frac{\frac{Ц_{\kappa}^M \cdot \gamma_{\kappa}^{\Pi} \cdot \beta^M}{\beta^{\Pi} \cdot (1 + \psi)} - (a_{\delta}^{\Pi} + a_n^{\Pi})}{b^{\Pi}}. \quad (8)$$

У табл. 1 представлена приведена вартість концентрату Північного ГЗК розрахована за формулою (6).

Таблиця 1
Ціна концентрату на світовому ринку й приведена ціна концентрату Північного ГЗК в залежності від вмісту заліза

Вміст заліза в концентраті, %	Ціна концентрату, грн/т	
	на світовому ринку	приведена вартість Північного ГЗК
62	1086,4	1150,2
63	1127,0	1174,2
64	1167,2	1197,1
65	1208,0	1219,9
66	1248,0	1241,2

Підставивши значення економічних і технологічних показників Північного ГЗК у вираз (8), визначимо граничний коефіцієнт розкриття при різних значеннях рентабельності (норма прибутку: 1 - 0%; 2 - 10%; 3 - 20%; 4 - 30%; 5 - 40%; 6 - 50%). Це представлено на рис. 3. Точки на графіку відповідають вмісту заліза в концентраті на світовому ринку.

На рис. 4 представлена зміна граничного коефіцієнта розкриття від норми прибутку для умов роботи Першотравневого кар'єру Північного ГЗК.

Наприклад, необхідно дізнатися яка ціна буде концентрату з вмістом заліза 65,5% при нормі прибутку 40%. Для цього на кривій з необхідною нормою прибутку (лінія 5, рис. 3) знаходимо задане значення вмісту заліза. Від значення потрібного вмісту заліза (між групою вертикальних точок 65% і 66%) опускаємо перпендикуляр (пунктирні лінії, рис. 3) на осі ординат і абсцис і визначаємо значення коефіцієнта розкриття і ціни концентрату. Тобто при вмісті заліза

65,5% і нормі прибутку 40% коефіцієнт розкриття становитиме 4,8 м³/т, а ціна концентрату - 1228 грн/т.

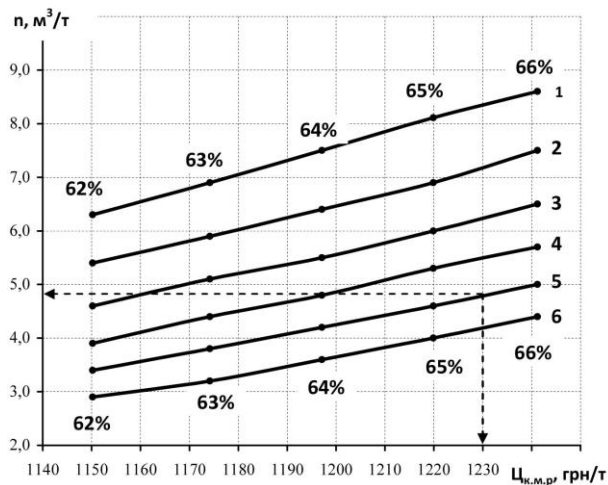


Рис. 3. Залежність граничного коефіцієнта розкриття від ціни концентрату на світовому ринку: 1 - при нормі прибутку $\psi = 0\%$; 2 - при $\psi = 10\%$; 3 - при $\psi = 20\%$; 4 - при $\psi = 30\%$; 5 - при $\psi = 40\%$; 6 - при $\psi = 50\%$

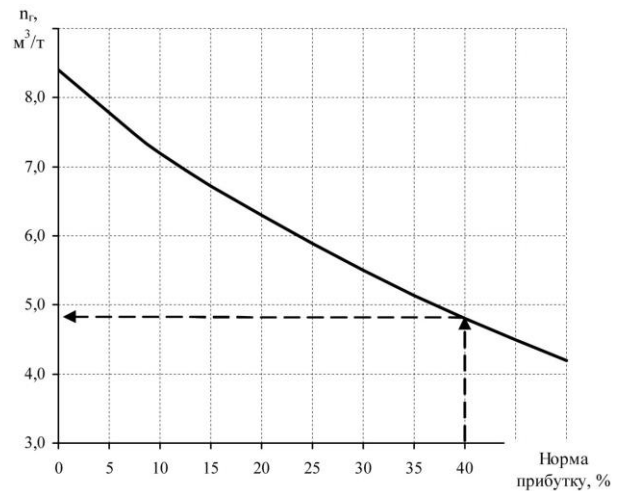


Рис. 4. Залежність граничного коефіцієнта розкриття від норми прибутку для умов роботи Першотравневого кар'єру Північного ГЗК

Висновки. Розроблено новий метод визначення граничного коефіцієнта розкриття, що дозволяє при сформованій на світовому ринку ціні залізородної продукції визначити границі кар'єру, що забезпечують конкурентоспроможність ГЗК. За розробленим методом визначено значення гранично допустимих коефіцієнтів розкриття для Першотравневого кар'єру Північного ГЗК, які забезпечують конкурентоспроможність залізородної товарної продукції на світовому ринку при різних значеннях норми прибутку.

Список літератури

1. **Арсентьев А.И.** Определение производительности и границ карьеров / А.И.Арсентьев. – 2-е издание переработанное и дополненное – М.: Недра, 1970. – 319 с.
2. **Арсентьев А.И.** Развитие методов определения границ карьеров. / А.И.Арсентьев, А.К.Полищук. - Л.: - Наука, 1967.
3. **Ржевский В.В.** Открытые горные работы / В.В. Ржевский. - М.: Недра, 1985. - 549с.
4. **Юматов Б.П.** Влияние бортового и минимального промышленного содержания на глубину и производительность карьеров /Б.П. Юматов // Изв. Вузов. Горн. Журнал. - №2. - М., 1962. - С.45-53.
5. **Хохряков В.С.** Проектирование карьеров / В.С.Хохряков. – М.: Недра, 1980. – 235с.
6. **Арсентьев А.И.** Развитие методов определения границ карьеров / А.И. Арсентьев, А.К. Полищук. - Л.: Наука, 1967. - 95 с.
7. **Близиюков В.Г.** Определение главных параметров карьера с учетом качества руды / В.Г. Близиюков. – М.: Недра, 1978. – 151 с.
8. **Близиюков В.Г.** Расчетные принципы и методы определения перспективных границ действующих железорудных карьеров / В.Г. Близиюков, И.В. Баранов // Криворізький технічний університет Вісник КТУ. - Вып. 18. - Кривий Ріг: КТУ, 2007. - С.7–11.
9. **Анистратов Ю.И.** Проектирование карьеров: учебное пособие для ВУЗов / Ю.И. Анистратов, К.Ю. Анистратов. - М.:Издательство НПП «Гемос Лимитед», 2002. - 172 с.
10. **Луценко С.А.** Определение перспективных контуров карьеров с учетом изменения условий разработки железорудных месторождений / С.А. Луценко, В.Г. Близиюков, И.В. Баранов // Качество минерального сырья: сб. научн. трудов. – Кривой Рог, 2017. – С. 134–143.
11. **Луценко С. А.** Определение границ карьеров, отрабатывающих мощные крутопадающие залежи / Луценко С.А. //Изв. Вузов. Горн. Журнал. - №4. – 2016. – С. 10-18.

Рукопис подано до редакції 30.10.2019

**АЛГОРИТМІЗАЦІЯ МЕРЕЖІ СТАНІВ ТРИГЕРНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ПІДСИСТЕМИ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ГІРНИЧО-
МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ**

Метою статті є виклад результатів розробки принципової укрупненої тригерної схеми алгоритму функціонування системи підтримки прийняття рішень (СППР). Запропонована модель візуалізації алгоритмів у вигляді тригерної мережі станів, що має взаємодію із зовнішнім середовищем. Введена нова інтерпретація компонентів мережевої тригерної моделі. Модель тригерної системи підтримки рішень інтерактивно пов'язана як з діями користувача-оператора, так і зі станами компонентів енергосистеми. Проблема реалізації операцій управління формами знань, які являють собою приватні програмні контролери знань, ініційовані тригерами, є актуальною.

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

Наукова новизна полягає в новій моделі подієвої взаємодії системи підтримки рішень з енергооб'єктами електроенергетичної системи. Для схеми станів реалізована автоматна модель функціонування з конкретизацією семантики станів, транзакцій і тригерів. Показано, що структурна схема тригерних станів реалізує базовий набір структур алгоритму. Розроблена схема візуалізації виконання транзакцій, як одного стану програмної системи. Здійснено узагальнення в єдину структуру еволюційної ієрархії всіх контролерів управління онтологіями знань.

Практична значимість роботи полягає в розробці алгоритмів синтезу баз знань і подієво-керованого логічного висновку, що дає можливість розробки надійних уніфікованих інтелектуальних систем високої складності, взаємодіючих з зовнішнім середовищем. Реалізація та впровадження програмного комплексу дозволить підвищити якість диспетчерського управління режимами і технологічними процесами електричних мереж.

Результати роботи. Розроблено новий формалізм подання алгоритмів керування базами знань, взаємодіючих з зовнішнім середовищем, котрий агрегує примітиви станів, тригерів і транзакцій операцій і узагальнює стандартні мови візуалізації алгоритмів. Це дозволяє описувати алгоритми роботи баз знань і подієво-керованого висновку, що забезпечує розробку надійних уніфікованих інтелектуальних систем, взаємодіючих з зовнішнім середовищем.

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

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-106-24-30

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Моделі використання різних форм подання знань в системі підтримки рішень реалізуються через модель узагальнених онтологій і управляються метаправилами системи. Робота метаправил принципово відрізняється від функціонування форм знань інших рівнів: метаправила грають роль керуючого інтерфейсу між подіями зовнішнього середовища і базою знань. Проблема, що розглядається в роботі, полягає в необхідності реалізації операцій управління конкретними формами знань, які являють собою приватні програмні контролери рівнів знань, ініційовані тригерами. Такий підхід забезпечує роботу інтелектуальної системи, як засобу автоматизації прийняття рішень і управління, а також дозволяє здійснювати перехід до роботи СППР в автоматичному режимі.

Входами тригерів є стані елементів зовнішнього середовища, що представляють собою безперервні або дискретні фізичні величини різних типів. Ці величини повинні оцифровуватися і уніфікуватися до єдиного формату, на який налаштовані тригери.

Таким чином, є актуальною проблема розробки процедур обробки знань, які знаходяться в еволюційних відносинах між собою. Контролери верхніх рівнів знань використовують роботу контролерів попередніх рівнів. Тригери, як сигнали управління процедурами (контролерами) обробки знань, з одного боку, повинні представлятися концептами в просторі бази знань, а, з іншого боку, повинні забезпечувати зв'язок із зовнішнім середовищем.

Аналіз досліджень і публікацій. Визначальними якостями функціонування проектованої СППР є складність і об'ємність об'єкта управління – енергосистеми гірничо-металургійного комплексу, зв'язок із засобами ОІУК АСДУ, необхідність роботи як в режимі реального часу, так і інтерактивно – в ролі порадника оперативного-диспетчерського персоналу, робота з різними формами представлення знань, поєднання обчислювальних задач і логічного висновку та інші.

Перераховані якості формують ряд особливих вимог як до самої інтелектуальної системи, так і до методології її проектування.

Вимоги обумовлюють необхідність нового ексклюзивного підходу до подання і візуалізації структурних і функціональних моделей проектного програмного комплексу. В роботі проведено короткий аналіз існуючих функціональних моделей візуалізації алгоритмів (сценаріїв, поведінки), які найбільш адекватно реалізують поставлені в роботі завдання [1, 2]. Кожен з формалізмів має сильні сторони і деякі обмеження, а також переважну область застосування. Результати аналізу існуючих формалізмів функціональних моделей наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати аналізу існуючих формалізмів функціональних моделей

Модель візуалізації	Результати аналізу
Текстуальна форма	Підхід застосовний, в основному, в колективах розробників, вже знайомих з попередніми варіантами вихідного коду. Інакше, вивчення чужого вихідного коду зажадає занадто багато часу
Блок-схеми алгоритмів	У міру зростання складності та ієрархічності завдання, схема алгоритму втрачає логіку в кількості зв'язків і переходів [1 – 3]
Діаграми Дейкстри	Мають обмеження сучасних блок-схем алгоритмів [4, 5]
Метод Нессі-Шнейдермана	Збільшується кількість кордонів блоків. Зменшення розмірів схеми зменшує внутрішні відділи, ніж знижується їх читабельність [6, 7]
Моделі автоматів Мілі і Мура	Відсутність ієрархії станів, узагальнення переходів, засобів відображення відновлення нормальної роботи після станів переривання, подання семантики взаємодії кінцевих автоматів [8, 9]
SWITCH-технологія	Необхідність підтримки великих переліків подій, вхідних і вихідних впливів, представлених в кінцевих програмних модулях у вигляді формальних ідентифікаторів (буква + номер), що зводяться, в кінцевому рахунку, до числових кодів (номерів), необхідність ретельного протоколювання глобального списку подій [10, 11]
Діаграми станів Д. Харела	Відсутня можливість візуалізувати вплив подій зовнішнього середовища на умови запуску станів [12, 13]
P-схеми	Концентрація на поданні потоку управління і відсутність відображення потоків даних. Також складно представляються кілька точок входу в модель [14, 15].
Мова ДРАКОН	Велика кількість графічних примітивів (ікон – 25 штук, макроікон – 20 штук), дві моделі представлення завдань, відсутність явного подання подій і взаємодії із зовнішнім середовищем [16, 17]
L-мережі	Теоретичне обґрунтування, лаконічна формальна мова, однакове подання «малих» і «великих» функціональних структур [18, 19]

Узагальнюючи розглянуті вище основні підходи до моделювання та візуалізації процесів проектування складних програмних систем, слід відзначити їх безсумнівну корисність в певних областях і умовах. Однак, ґрунтуючись на проведеному аналізі, можна сказати, що вони не цілком відповідають завданню проектування подієвої інтелектуальної СППР, що активізуються зовнішнім середовищем. Тому сформульовані вище вимоги до засобів візуалізації моделі структурно-інформаційної схеми програмного комплексу СППР обумовлюють актуальність і необхідність розробки нових синтетичних засобів подання структури і функціонування СППР, яка взаємодіє з комплексом АСДУ енергосистеми і оперативним персоналом.

Постановка завдання. Проектування структури і методів роботи програмного комплексу системи підтримки рішень вимагає врахування особливостей реалізованих нею алгоритмів, операцій, властивостей і механізмів функціонування бази знань на основі еволюції інкорпорації професійних онтологій, а також специфіки середовища виконання програми. Деякими визначальними якостями функціонування проектової СППР є: складність і об'ємність об'єкта управління – енергосистеми гірничо-металургійного комплексу, зв'язок із засобами ОУК АСДУ, необхідність роботи як в режимі реального часу, так і інтерактивно – в ролі порадника оперативно-диспетчерського персоналу, робота з різними формами подання знань, поєднання обчислювальних задач і логічного висновку та інші.

Перераховані якості формують ряд особливих вимог як до самої інтелектуальної системи, так і до методології її проектування. Наведемо базові з таких вимог:

- одночасна робота з декларативними і процедурними формами подання знань;
- однакова робота системи в режимі логічного висновку і обробки бази даних;
- забезпечення апаратного інтерфейсу з компонентами енергооб'єктів та АСДУ;
- реалізація призначеного для користувача візуального інтерфейсу з ОДП;

ефективна трансляція у внутрішні коди системи і інтерпретація керуючих метаправил; реалізація програмного механізму логічного висновку у вигляді транзакцій метаправил.

Викладення матеріалу та результати. Розробимо модель мережі станів. Один стан є блок з тригера, операційної транзакції, результату обчислень і вихідних символів (кодів). Конкретизуємо ці компоненти.

Один стан моделі функціонування системи підтримки рішень (q) – це логічно виділений етап її функціонування, пов'язаний з реалізацією однієї конкретної транзакції.

Тригер – це зовнішній апаратний або програмний об'єкт, що генерує коди, які розпізнаються СППР як вхідний алфавіт (V) і переводять її в один, однозначно пов'язаний з даними тригером, стан (q).

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

Введемо інтерпретацію компонентів триггерної мережі станів СППР. Приймемо, що вертикальна риса позначає стан мережі (на відміну від переходу в мережах Петрі), а дуга – перехід (на відміну від вертикальної риси в мережах Петрі).

Множина операційних позицій (станів) мережі

$$S = \langle Q, q_0, F, T, P \rangle, \quad (1)$$

$$S = \langle s_i \mid s_i = \langle q_i, t_i, p_i \rangle, q_i \in Q \vee q_i \in F \vee q_i = q_0 \rangle.$$

Множина переходів мережі

$$\Delta_\Sigma = \Delta \cup \Delta_t = \{\delta_i \mid \delta_i \in \Delta \vee \delta_i \in \Delta_t\}, \quad (2)$$

де Δ_Σ – загальна множина переходів мережі; Δ – множина переходів між станами мережі; Δ_t – множина тригерних переходів мережі.

Множина функцій входу

$$I(S) : S \rightarrow \langle Q_{-1}, V_\Sigma \cup W_\Sigma \rangle, \quad (3)$$

$$I(s_i) : s_i \rightarrow \{q_{i-1}, v_{i-1} \cup w_{i-1}\},$$

де Q_{-1} – множина попередніх станів по відношенню до поточного стану.

Множина функцій виходу

$$a : S \rightarrow s_a, \quad (4)$$

Таким чином, звернемо автоматну тригерну модель в операційну тригерну мережу станів, узагальнена модель якої тепер може бути записана в наступному вигляді

$$N_S = \langle S, \Delta_\Sigma, I(S), O(S) \rangle. \quad (5)$$

У найбільш загальному вигляді приклад моделі (5) можна представити наступною графічною інтерпретацією, наведеною на рис. 1.

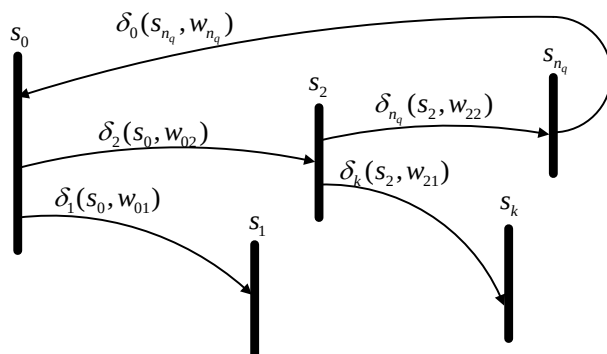


Рис. 1. Приклад узагальненої моделі станів програмної системи

У запропонованій моделі, як випливає з (5), стан являє собою блок з тригера, операційної транзакції, результату обчислень і вихідних символів (кодів). Стан будемо відображати вертикальною рисою з ідентифікатором стану вгорі. Залежно від отриманих вихідних кодів відбувається розгалуження процесу роботи мережі – перехід до наступного стану. Якщо стан має більше одного

виходу, то вибирається строго один перехід. Виконання даної умови гарантує однозначність і детермінованість виконуваного алгоритму. Тактом роботи мережі є активність одного поточного стану. Таким чином, в кожному такті роботи однієї мережі може бути активним тільки один

стан. Для вирішення питання моделювання паралелізму програмних процесів задається єдиний тригер для запуску декількох паралельних операційних мереж станів.

Наведені міркування дозволяють ввести поняття і функцію маркування для розробленої моделі операційної мережі станів. Функція маркування, по суті, є функцією активізації і реалізує вибір єдиного активного стану зі всієї безлічі станів мережі

$$a : S \rightarrow s_a, \quad (6)$$

де $\#(s_a)=1 | s_a \in S$ єдиний активний стан в даному такті роботи. Всі інші стани не активні $\#(s_i) = 0 | \forall s_i \in S \wedge s_i \neq s_a$.

Маркована мережа станів матиме вигляд

$$N_S = \langle S, \Delta_S, I(S), O(S), a \rangle. \quad (7)$$

На основі розробленої моделі стану можна сформулювати загальний принцип виконання мережі. Виконання мережі (хід реалізації алгоритму обчислень програмної системи) визначається переходами між станами або активізацією станів, що означає потактову перемаркировку уздовж деякого шляху на графі станів.

Активізація поточного стану відбувається при спрацьовуванні тригера з викидом вихідного сигналу (символу) – w , або при отриманні вихідного сигналу (символу) попереднього стану. При цьому, в стані генерується символ запуску транзакції – v_t . Якщо символ запуску розпізнано транзакцією, то вона виконується, в іншому випадку – процес зупиняється (або виконується операція зупинки). При виконанні внутрішніх умов в транзакції, або при її завершенні відбувається перехід до наступного стану по одній з дуг розгалуження відповідно до функції переходу – δ . Поточний стан зберігає результат виконання транзакції – r .

Рішення завдання на мережі станів програмної системи є реалізацією алгоритму, вираженого шляхом на графі переходів. Згідно з теоремою про структурування, схема алгоритму може бути зведена до базисного набору структур: послідовний хід, розгалуження і повернення (цикли) [20]. Тригерна модель станів дозволяє реалізувати ці принципи.

Приклад виконання деякого алгоритму уздовж шляху станів $s_0 \rightarrow s_2 \rightarrow s_{nq} \rightarrow s_0$ розглянутої мережі відобразиться наступними тактами, наведеними на рис. 2. Запуск виконання провадиться за тригером t_0 .

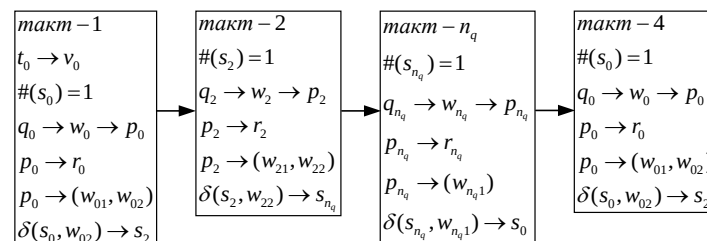


Рис. 2. Приклад кадрів потактового виконання алгоритму на тригерній мережі станів

На основі запропонованих моделей (1) – (7) деталізуємо модель одного стану, яка показана на рис. 3.

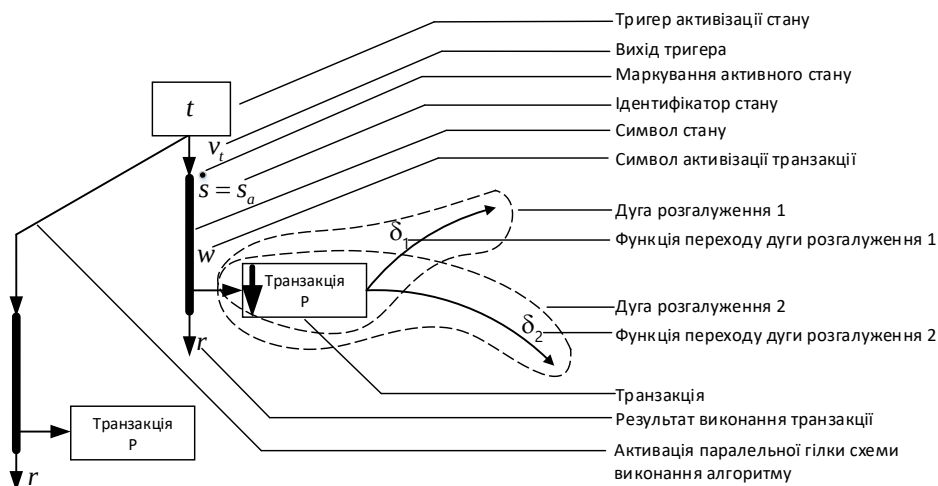


Рис. 3. Графічна інтерпретація одного стану виконання алгоритму програмної системи

Тепер деталізуємо наведену вище графічну інтерпретацію одного стану виконання алгоритму транзакції програмної системи з урахуванням введених моделей і покажемо її на рис. 4. На рисунку показані всі складові моделі – стан, тригер, транзакція і операція.

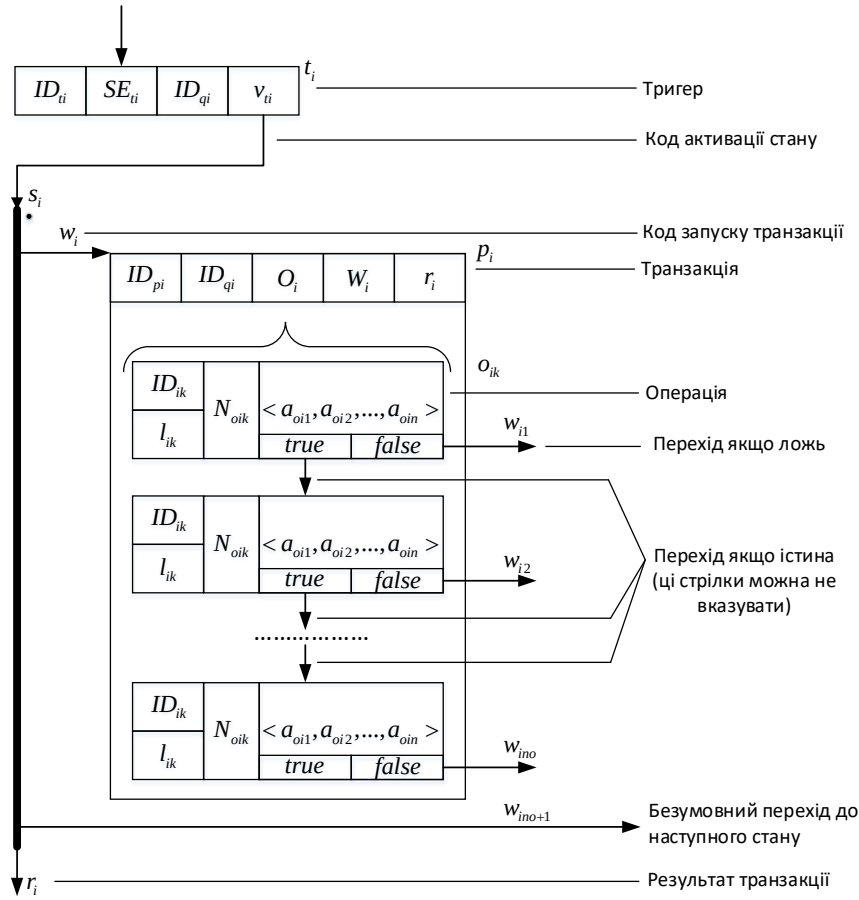


Рис. 4. Загальна схема візуалізації виконання транзакції одного стану програмної системи

Реалізація запропонованої моделі візуалізації вимагає розробки формальної мови схеми формування гілок алгоритму функціонування тригерної програмної машини станів

$$L(G)^T = \langle N, \Sigma, S, P \rangle, \quad (8)$$

де N – алфавіт нетерміналів; Σ – алфавіт терміналів, $N \cap \Sigma = \emptyset$; S – стартовий символ граматики G ; $a \in N$, $b \in (N \cup \Sigma)^*$: $a \rightarrow b$ – правила виведення граматики G .

Враховуємо, що програма являє собою підмножину множини шляхів на графі мережі станів, як було показано на прикладі (рис. 1)

$$PROG = B_{prog},$$

$$B_{prog} = \{b_i \mid i = 1, n_b\},$$

$$b_i = \{s_{i,k}, s_{i,k+1}, \dots, s_{i,nbi}\}, \quad (9)$$

$$\forall s_{ik} \forall s_{ik+1} \forall k \mid s_{ik} \in S \wedge s_{ik+1} \in S_i \wedge k = 1, 2, \dots, n_0 : s_{ik} \prec s_{ik+1},$$

$$B_{prog} \subseteq N_S,$$

де $PROG = B_{prog}$ – програма (алгоритм виконання серії транзакцій); $B_{prog} = \{b_i \mid i = 1, n_b\}$ – множина гілок (шляхів) алгоритму виконання програми; b_i – i -а гілка виконання алгоритму програми, задана як строга послідовність станів тригерної мережі; N_S – повна мережа станів.

Таким чином, отримана модель візуалізації алгоритмів, представлена як тригерна мережа станів програмної системи, що має взаємодію із зовнішнім середовищем. Операції в моделі можна розглядати на різних рівнях.

Якщо операції розглядати як елементарні команди формату
<код операції><коди операндів>,

то модель дозволяє відображати роботу автоматного процесора або інтерпретатора на низькому рівні машинних команд. Разом з тим, модель дозволяє візуалізувати структури алгоритмів на мовах програмування високого рівня.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Розроблені структура і принципова укрупнена тригерна схема алгоритму функціонування СППР. Запропонована модель візуалізації алгоритмів, як тригерна мережа станів програмної системи, що має взаємодію із зовнішнім середовищем. Введена нова інтерпретація компонентів тригерної моделі.

Напрямок подальших досліджень полягає в розробці схеми інтеграції БЗ і блока логічного висновку, які функціонально перекриваються, на відміну від класичної архітектури інтелектуальних систем. Передбачається додатково включити в структуру СППР селектор рівня онтологій для оперативного вибору форми подання знань і даних в режимі реального часу, а також модулі динамічного формування, верифікації та поповнення онтологій. Планується подальша розробка інформаційних та функціональних трактів взаємодії програмних тригерів з апаратно-програмними засобами ОІУК АСДУ ЕЕС.

Список літератури

1. **Пышкин Е.В.** Структуры данных и алгоритмы: реализация на C/C++ / Е.В. Пышкин – СПб.: ФТК СПбГПУ – 2009 – 200 с.
2. **Wirth N.** Algorithms + Data Structures = Programs. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. 1976.
3. **Brooks, Frederick P., Jr.** The Mythical Man-Month. Essays on Software Engineering. Anniversary Edition. Addison – Wesley, 1995.
4. **Dahl O.-J., Dijkstra E.W., Hoare C.A.R.** Structured Programming. Academic Press. London and New York. 1972.
5. **Дал У., Дейкстра Э., Хоор К.** Структурное программирование – М.: Мир – 1975 – С. 25–28
6. **Nassi I, Schneiderman B.** Flowcharts techniques for structured programming // ACM SIGPLAN Notices, Vol.8, No.8, August 1973 – pp. 12 – 26
7. **Cornelia M.Y., Marilyn L.S.** Nassi-Shneiderman charts an alternative to flowcharts for design – ACM SIGSOFT/BIGMETRICS Software and Assurance Workshop, November 1978 – pp. 386 – 393
8. **Поликарпова Н.И., Шалыто А.А.** Автоматное программирование – СПб.: Изд-во СПбГУ – 2008 – 167 с.
9. **Хопкрофт Д., Мотвани Р., Ульман Д.** Введение в теорию автоматов, языков и вычислений – М.: Вильямс – 2002 – 528 с.
10. **Шалыто А.А., Туккель Н.И.** SWITCH-технология – автоматный подход к созданию программного обеспечения «реактивных» систем // «Программирование», №5 – 2001 – с. 45 – 62
11. **Шалыто А.А.** SWITCH-технология. Алгоритмизация и программирование задач логического управления. - СПб.: Наука, 1998.- 628 с
12. **Harel D.** Statecharts: A visual formalism for complex systems // Science of Computer Programming. June 1987 – Vol. 8, No. 3 – pp. 231 – 274
13. **Harel D.** On Visual Formalisms // Communications of the ACM – Vol.31, No.5, May 1988 – pp.514 – 530
14. **Вельбицкий И.В.** Безбумажная Р-технология проектирования широкого применения// Выч. техника социалистических стран, вып.18 – М.: Финансы и статистика, 1985.- с. 21-39
15. ГОСТ 19.005-85. Р-схемы алгоритмов и программ. Обозначения условные графические и правила выполнения. – Действует с 01.07.1986.
16. **Титова Е.В.** Алгоритмический язык Дракон в лингвистике // Сборник работ 68-й научной конференции студентов и аспирантов Белорусского государственного университета в трех частях. Часть 3// Минск: БГУ – 2011 – С. 50 – 52
17. **Калиногорский Н.А.** Автоматизация процесса разработки алгоритмов управления в интегрированной среде Дракон 2007-2010 / Сост. Н.А. Калиногорский – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ – 2013 – 50 с.
18. **Lekarev M.F.** Das graphische Verfahren der Software-Entwicklung für logisch komplizierte Anwendungen // Technische Berichte der Fachhochschule Hamburg, №25 (Aug.1993), s.36-38.
19. **Лекарев М.Ф.** Организация программного обеспечения и вычислительных процессов ЭВМ на базе визуального формализма: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.13, 05.13.11 – СПбГТУ, Санкт-Петербург, 1998 – 238 с.
20. **Linger, Richard S. Mills, Harland D. Witt, Bernard I.** Structured Programming: Theory and Practice. Addison-Wesley, 1979.

Рукопис подано до редакції 26.09.2019

**ФАКТОР ВПЛИВУ ПРИРОДНО-ПРОСТОРОВОГО РОЗМІЩЕННЯ МІНЛИВОСТІ
ВМІСТУ ЯКІСНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН
НА ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС УСЕРЕДНЕННЯ**

Мета. Метою роботи є розробка методу маркшейдерського забезпечення робіт для визначення втрат балансово-промислових запасів, засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин і величин впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві запасів і розпушеній залізорудній масі на однорідність якісно-технологічних показників.

Методи дослідження. Формування товарної залізорудної маси відбувається під впливом втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. Виконується розрахунок ознак усереднення впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників використання одиничних потоків розпушеної залізорудної масі.

Наукова новизна. Отримано вирази, які характеризуються процесами усереднення впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників, втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин при роботі окремих видобувних одиниць. При роботі окремої видобувної одиниці кількість і якість видобутої залізорудної маси, втрачених балансово-промислових запасів, засмічуючих порід і вміст якісно-технологічних показників усередненого корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом, розглядається як випадковий процес. Для характеристики впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеній залізорудній масі використовується математичний апарат теорії випадкових функцій, а показниками приймається кореляційна функція.

Практична значимість. З урахуванням гірничо-геологічних умов видобутку балансово-промислових запасів виконується оцінка впливу втрат і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин на однорідність якісного складу товарної залізорудної маси, яка надходить із забоїв окремих видобувних одиниць. При розрахунках показників однорідності вмісту якісно-технологічних показників складових розпушеної залізорудної маси враховується вплив втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних компонентів у залізорудній масі на процес усереднення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин.

Результати. Розроблено методику і виконано моделювання об'ємно-кількісних характеристик ознак вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин ділянок рудного тіла і покладу родовища залізистих кварцитів відособлених і взаємозалежних динамічних рядів для прогнозування якісно-технологічних показників залізорудного Кривбасу. Видано рекомендації стосовно технології прогнозування з невеликими інтервалами дискретності впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників.

Ключові слова: Запаси, корисні копалини, вміст якісно-технологічних показників, втрати, засмічення.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-106-30-36

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Розробка ділянок рудного тіла і покладу родовища залізистих кварцитів супроводжується втратами балансово-промислових запасів і засміченням вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у розпушеній залізорудній масі [1; 10]. Втрати балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізорудній масі безпосередньо і істотно впливають на однорідність вмісту якісно-технологічних показників корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом [2–4]. Під впливом втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у розпушеній залізорудній масі зростають коливання вмісту корисних компонентів у потоці.

Аналіз досліджень і публікацій. При розрахунках показників однорідності якісно-технологічних складових залізорудної маси при експлуатації гірничодобувних підприємств враховується вплив втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізорудній масі на процес усереднення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин [5; 6]. У зв'язку із цим актуальні завдання вивчення процесів втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізорудній масі, виявлення закономірностей їх утворення і протікання в часі при різних системах і способах видобутку балансово-промислових запасів ділянок рудного тіла і покладу залізорудного родовища.

Постановка завдання. Виникає питання, як однорідність якісно-технологічних характеристик складових залізорудної маси, пов'язана із втратами балансово-промислових запасів і засміченням вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. Однорідність якісно-технологічних характеристик складових загальнорудничного потоку залізорудної маси залежить від однорідності одиничних потоків, які надходять із забоїв окремих видобувних одиниць. В свою чергу, формування кожного з одиничних потоків залізорудної маси відбувається під впливом втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізорудній масі. Тому з урахуванням впливу втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізорудній масі виконується, в першу чергу, розрахунок показників усереднення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин.

Викладення матеріалу та результати. Для розв'язку цієї задачі скористаємося дослідженнями [7; 8; 11] в яких виразами балансу об'єму залізорудної маси і балансу вмісту якісно-технологічних показників корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом, при видобутку балансово-промислових запасів справедливі для будь-яких ділянок рудного тіла і покладу залізорудного родовища, яке технологічно відпрацьовується. Використаємо для оцінки кількості вмісту якісно-технологічних показників корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом і вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізорудній масі, видобутої однією видобувною одиницею у певний період часу (година, зміна, доба). Стосовно роботи однієї видобувної одиниці в i -у зміну вирази мають показники видобутку і втрат балансово-промислових запасів, засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин і вмісту якісно-технологічних показників корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом, які встановлені для ділянок родовища, відпрацьованого в i -у зміну [12]. Мінливість показників D_i , P_i , B_i , C_i розглядається як випадкова функція, яка змінюється протягом розглянутого періоду (місяць, квартал і інше). Це значить, що при роботі окремої видобувної одиниці кількість і якість видобутої залізорудної маси, втрачених балансово-промислових запасів, кількість засмічуючих порід і вмісту якісно-технологічних показників корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом, розглядається як випадковий процес і для характеристики використовується математичний апарат теорії випадкових функцій. У якості показників характеристик процесів втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин приймаються відповідно кореляційні функції r_{dd} , r_{mm} , r_{vv} . Значення залежної мінливої, яка визначається, вираз для балансу кількості вмісту якісно-технологічних показників корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом, при видобутку i -ої ділянки покладу корисних копалин з масиву залізистих кварцитів прийме вид

$$D_i a_i = D_i c_i + P_i c_i + B_i b_i - B_i c_i - P_i c_{Pi}. \quad (1)$$

Визначається коваріаційна функція правої і лівої частин рівності (1). Задача розв'язується у загальному виді з урахуванням взаємної кореляції всіх випадкових функцій D_i , P_i , B_i , C_i і т. д. [13]. Визначення впливу втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин на технологічні процеси видобутку та усереднення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин приводить до необхідності розширення і поглиблення уявлень про сутність втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. Засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин розглядається як процес залучення до видобутку пустих порід, некондиційної залізорудної маси і забалансових за вмістом якісно-технологічних показників корисних копалин запасів наведено в таблиці 1. Для характеристики процесу засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин використовується математичний апарат теорії випадкових функцій. Тому обмежимося розглядом характерного випадку видобутку балансово-промислових запасів, при якому випадкові функції D_i , P_i , B_i є взаємно корелюючими, а всі інші випадкові функції, що входять у вираз (1), будуть вважатися некорелюючими [14]. Для цих умов, враховується, що X і X' є значення випадкової функції, яка відноситься до різних моментів часу t і t' (до різних перетинів випадкової функції), отримується

$$\begin{aligned}
r_{DD'}r_{aa'} &= \overline{DD'}r_{aa'} + \overline{aa'}r_{DD'} = r_{DD'}r_{cc'} + \overline{DD'}r_{cc'} + \overline{cc'}r_{DD'} + r_{PPP'}r_{cc'} + \overline{PPP'}r_{cc'} + \\
&+ \overline{cc'}r_{PPP'} + r_{BB'}r_{cc'} + \overline{BB'}r_{cc'} + \overline{cc'}r_{BB'} + r_{PPP'}r_{c_{\Pi c_{\Pi}}} + \overline{PPP'}r_{c_{\Pi c_{\Pi}}} + \overline{c_{\Pi c_{\Pi}}}r_{PPP'} + \\
&+ r_{BB'}r_{bb'} + \overline{BB'}r_{bb'} + \overline{bb'}r_{BB'} + 2r_{Dc, \Pi c} - 2r_{Dc, Bc} - 2r_{Dc, \Pi c_{\Pi}} + 2r_{Dc, Bb} - 2r_{\Pi c, Bc} - \\
&- 2r_{\Pi c, \Pi c_{\Pi}} + 2r_{\Pi c, Bb} + 2r_{Bc, \Pi c_{\Pi}} - 2r_{Bc, Bb} - 2r_{\Pi c_{\Pi}, Bb},
\end{aligned} \quad (2)$$

де $r_{X \times Y, Z \times U}$ – взаємна коваріаційна функція добутку $X \times Y$ і $Z \times U$ випадкових функцій X, Y, Z, U ; $M[X] = \bar{X}$ – математичне очікування випадкової функції X .

Таблиця 1

Засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин стосовно до умов розробки дільниць рудного тіла і покладів Криворізького залізорудного родовища

Група	Підгрупа	Вид
I. Засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізорудній масі на стадії розпушення масиву балансово-промислових запасів	I.1. Внаслідок залучення порід при відбійці (видобутку)	I.1.1. Від порід всячого і лежачого боків (покрівлі, підшві), по контурах дільниць рудного тіла і покладу родовища, прошарку корисних копалин I.1.2. Від внутрішньо контурних включень більше встановлених кондицій I.1.3. Від закладного матеріалу (сухої гідравлічної закладки, що твердіє і т. п.), залежаних і завалених порід з боку раніше відпрацьованих блоків, камер I.1.4. Від залучення порід при роздільній відбійці корисних копалин і у прохідницьких забоях
	I.2. Внаслідок залишення частини багатих корисних копалин	I.2.1. Від втрат балансово-промислових запасів більш багатих корисних копалин (у рудних прошарках на днищі блоків, підшві, покрівлі камер, у лежачого боку) I.2.2. Від обвалення порід всячого і лежачого боків і руйнування днищ блоків
II. Засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізорудній масі після розпушення масиву балансово-промислових запасів	II.1. В очисних забоях від примішування відбитих або порід, що обрушилися	II.1.1. Від обвалення порід всячого і лежачого боків, по контурах дільниць рудного тіла і покладу родовища, при випуску з камер II.1.2. Від проникнення в корисну копалину, що налягають і бічних порід при випуску із блоків II.1.3. Від обвалення порід покрівлі у відкритих камерах при навантаженні II.1.4. Від втрат балансово-промислових запасів: більш багаті частини відбитих корисних копалин (зокрема, залізорудному дріб'язку) на підшві камер, уступів, на лежачому боці, на днищі блоку, внутрішньо-контурних включень, не предметів видобутку II.1.5. Від обвалення закладного матеріалу (закладки, що твердіє) або злежалих завалених порід з боку раніше відпрацьованих блоків II.1.6. Від змішування з породами при роздільному видобутку
	II.2. У місцях перевантаження, складування, попередньої концентрації і сортування	II.2.1. Від залучення порід при перевантаженні, складуванні і навантаженні II.2.2. Від втрат балансово-промислових запасів багатого дріб'язку при складуванні і навантаженні II.2.3. Від залучення породи із прохідницьких вибоїв II.2.4. Від зайвого виділення багаті фракції при попередній концентрації і сортуванні

Взаємні коваріаційні функції визначаються наступним способом

$$r_{Dc, \Pi c} = M[D_c \Pi_c] - M[D_c]M[\Pi_c] = \overline{D\Pi c^2} - \overline{D_c} \overline{\Pi_c} = D\Pi \sigma_c^2 r_{D\Pi} (\sigma_c^2 + c^2), \quad (3)$$

де $r_{D\Pi}$ – взаємна коваріаційна функція випадкових функцій D_i і Π_i .

$$\begin{aligned}
&\text{Згідно досліджень [11] аналогічно отримується } r_{Dc, \Pi c} = \overline{D\Pi} \sigma_c^2 + (\sigma_c^2 + c^2) r_{D\Pi}; \\
&r_{Dc, \Pi c_{\Pi}} = \overline{c_{\Pi}} r_{D\Pi}; \quad r_{Dc, Bb} = \overline{c_{\Pi}} r_{D\Pi}; \quad r_{\Pi c, Bc} = \overline{B\Pi} \sigma_c^2 + (\sigma_c^2 + c^2) r_{\Pi B}; \quad r_{\Pi c, \Pi c_{\Pi}} = \overline{c_{\Pi}} \sigma_{\Pi}^2; \quad r_{\Pi c, Bb} = \overline{c_{\Pi}} r_{\Pi B}; \\
&r_{Bc, \Pi c_{\Pi}} = \overline{c_{\Pi}} r_{B\Pi}; \quad r_{Bc, Bb} = \overline{c_{\Pi}} \sigma_B^2; \quad r_{\Pi c_{\Pi}, Bb} = \overline{c_{\Pi}} \overline{B\Pi}.
\end{aligned}$$

Підставивши отримані значення коваріаційних функцій у вираз (2) і розв'язуючи його відносно $r_{aa'}$, будемо мати

$$r_{aa'} = \frac{1}{r_{DD'} + \overline{DD'}} [(r_{cc'} + \overline{cc'}) (r_{DD'} + r_{PP'} + r_{BB'}) + r_{cc'} (\overline{DD'} + \overline{PP'} + \overline{BB'}) + r_{c_{II}c_{II'}} (r_{PP'} + \overline{PP'}) + r_{bb'} (r_{BB'} + \overline{BB'}) + (\overline{cc'} - 2\overline{cc_{II'}}) r_{PP'} + (\overline{bb'} - 2\overline{bb'}) r_{BB'} - \overline{aa'} r_{DD'} + 2r_{DII} (\sigma_C^2 + \overline{c}^2 - \overline{cc_{II}}) - 2r_{DB} (\sigma_C^2 + \overline{c}^2 - \overline{cb}) - 2r_{IB} (\sigma_C^2 + \overline{c}^2 - \overline{cb} - \overline{cc_{II'}} + \overline{c_{II}b}) + 2\sigma_C^2 (\overline{DII} - \overline{DB} - \overline{IB})]. \quad (4)$$

Отриманий вираз показує, яким чином пов'язані між собою показники впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників використання корисного компонента, пов'язаного з магнетитом у надрах, що характеризують процеси втрат балансово-промислових запасів, засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин і усереднення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин при роботі окремої видобувної одиниці. В окремому випадку при $t=t'$ формула (4) перетвориться у формулу для визначення дисперсії вмісту якісно-технологічних показників усередненого корисного компонента, пов'язаного з магнетитом у розпушеній залізородній масі

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{\sigma_D^2 + \overline{D}^2} [(\sigma_C^2 + \overline{c}^2) (\sigma_D^2 + \sigma_{II}^2 + \sigma_B^2) + \sigma_C^2 (\overline{D}^2 + \overline{P}^2 + \overline{B}^2) + \sigma_{c_{II}}^2 (\sigma_{II}^2 + \overline{P}^2) + \sigma_b^2 (\sigma_B^2 + \overline{B}^2) + (\overline{c}^2 - 2\overline{cc_{II'}}) \sigma_{II}^2 + (\overline{b}^2 - 2\overline{cb}) \sigma_B^2 - \overline{a}^2 \sigma_D^2 + 2K_{DII} (\sigma_C^2 + \overline{c}^2 - \overline{cc_{II}}) - 2K_{DB} (\sigma_C^2 + \overline{c}^2 - \overline{cb}) - 2K_{IB} (\sigma_C^2 + \overline{c}^2 - \overline{cb} - \overline{cc_{II'}} + \overline{c_{II}b}) + 2\sigma_C^2 (\overline{DII} - \overline{DB} - \overline{IB})], \quad (5)$$

де K_{DII} , K_{DB} , K_{IB} – кореляційні моменти величин D і II , D і B , II і B .

Випадки, які зустрічаються на практиці видобутку балансово-промислових запасів з дільниць рудного тіла і покладу Криворізького залізородного родовища [15, 16].

1. Засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у товарній залізородній масі проводимо забалансовими за вмістом якісно-технологічних показників корисних копалин запасами. Це значить, що для визначення коваріаційної функції у формулі (4) слід припустити, що $b=b'=0$, $r_{bb}=0$

$$r_{aa'} = \frac{1}{r_{DD'} + \overline{DD'}} [(r_{cc'} + \overline{cc'}) (r_{DD'} + r_{PP'} + r_{BB'}) + r_{cc'} (\overline{DD'} + \overline{PP'} + \overline{BB'}) + r_{c_{II}c_{II'}} (r_{PP'} + \overline{PP'}) + r_{PP'} (\overline{cc'} - 2\overline{cc_{II'}}) - \overline{aa'} r_{DD'} + 2r_{DII} (\sigma_C^2 + \overline{c}^2 - \overline{cc_{II}}) - 2r_{DB} (\sigma_C^2 + \overline{c}^2) - 2r_{IB} (\sigma_C^2 + \overline{c}^2 - \overline{cc_{II'}}) + 2\sigma_C^2 (\overline{DII} - \overline{DB} - \overline{IB})]. \quad (6)$$

Для розрахунків дисперсії впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників використання корисного компонента, пов'язаного з магнетитом у надрах, при засміченні пустими породами допускається, що $b=0$ і $\sigma_b=0$. Тоді

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{\sigma_D^2 + \overline{D}^2} [(\sigma_C^2 + \overline{c}^2) (\sigma_D^2 + \sigma_{II}^2 + \sigma_B^2) + \sigma_C^2 (\overline{D}^2 + \overline{P}^2 + \overline{B}^2) + \sigma_{c_{II}}^2 (\sigma_{II}^2 + \overline{P}^2) + \sigma_{II}^2 (\overline{c}^2 - 2\overline{cc_{II'}}) - \overline{a}^2 \sigma_D^2 + 2K_{DII} (\sigma_C^2 + \overline{c}^2 - \overline{cc_{II}}) - 2K_{DB} (\sigma_C^2 + \overline{c}^2) - 2K_{IB} (\sigma_C^2 + \overline{c}^2 - \overline{cc_{II'}}) + 2\sigma_C^2 (\overline{DII} - \overline{DB} - \overline{IB})]. \quad (7)$$

2. Засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у товарній залізородній масі відсутнє. Для розрахунку коваріаційної функції впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компонента, пов'язаного з магнетитом у формулі (6) приймається, що $B=B'=0$, $r_{BB'}=0$. Тоді

$$r_{aa'} = \frac{1}{r_{DD'} + \overline{DD'}} [(r_{cc'} + \overline{cc'}) (r_{DD'} + r_{PP'}) + r_{cc'} (\overline{DD'} + \overline{PP'}) + r_{c_{II}c_{II'}} (r_{PP'} + \overline{PP'}) + r_{PP'} (\overline{cc'} - 2\overline{cc_{II'}}) - \overline{aa'} r_{DD'} + 2r_{DII} (\sigma_C^2 + \overline{c}^2 - \overline{cc_{II}}) + 2\sigma_C^2 \overline{DII}]. \quad (8)$$

Для розрахунку дисперсії у формулі (7) припустимо, що $B=0$, $\sigma_B=0$, $K_{DB}=0$, $K_{IB}=0$ і тоді

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{\sigma_D^2 + \bar{D}^2} [(\sigma_C^2 + \bar{C}^2)(\sigma_D^2 + \sigma_{II}^2) + \sigma_C^2(\bar{D}^2 + \bar{I}^2) + \sigma_{CII}^2(\sigma_{II}^2 + \bar{I}^2) + \sigma_{II}^2(\bar{C}^2 - 2\bar{C}\bar{C}_{II}) - \bar{a}^2\sigma_D^2 + 2K_{DII}(\sigma_C^2 + \bar{C}^2 - \bar{C}\bar{C}_{II}) + 2\sigma_C^2\bar{D}\bar{I}]. \quad (9)$$

3. Втрати балансово-промислових запасів при технологічних процесах видобутку відсутні. Це означає, що у виразі (4) значення всіх показників, які пов'язанні із втратами балансово-промислових запасів слід прийняти такими, що дорівнюють нулю. При цьому будемо мати

$$r_{aa'} = \frac{1}{r_{DII'} + \bar{D}\bar{D}'} [(r_{CC'} + \bar{C}\bar{C}') (r_{DII'} + r_{BB'}) + r_{CC'}(\bar{D}\bar{D}' + \bar{B}\bar{B}') + r_{BB'}(r_{BB'} + \bar{B}\bar{B}') + r_{BB'}(\bar{b}\bar{b}' - 2\bar{C}\bar{b}') - \bar{a}\bar{a}'r_{DII'} - 2r_{DB}(\sigma_C^2 + \bar{C}^2 - \bar{C}\bar{b}') - 2\sigma_C^2\bar{D}\bar{B}]. \quad (10)$$

Дисперсію для цього випадку отримаємо з виразу (5), приймаючи всі значення показників втрат балансово-промислових запасів залізистих кварцитів, які дорівнюють нулю

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{\sigma_D^2 + \bar{D}^2} [(\sigma_C^2 + \bar{C}^2)(\sigma_D^2 + \sigma_B^2) + \sigma_C^2(\bar{D}^2 + \bar{B}^2) + \sigma_B^2(\sigma_B^2 + \bar{B}^2) + \sigma_B^2(\bar{b}^2 - 2\bar{C}\bar{b}') - \bar{a}^2\sigma_D^2 - 2K_{DB}(\sigma_C^2 + \bar{C}^2 - \bar{C}\bar{b}') - 2\sigma_C^2\bar{D}\bar{B}]. \quad (11)$$

4. Втрати балансово-промислових запасів відсутні, а засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізородній масі проводиться забалансовими за вмістом якісно-технологічних показників корисних копалин запасами. У цьому випадку у формулі (10) приймається $b=b'=0$, $r_{bb'}=0$, а вираз для розрахунків прийме вид

$$r_{aa'} = \frac{1}{r_{DII'} + \bar{D}^2} [(r_{CC'} + \bar{C}\bar{C}') (r_{DII'} + r_{BB'}) + r_{CC'}(\bar{D}\bar{D}' + \bar{B}\bar{B}') - \bar{a}\bar{a}'r_{DII'} - 2r_{DB}(\sigma_C^2 + \bar{C}^2) - 2\sigma_C^2\bar{D}\bar{B}]. \quad (12)$$

Аналогічно з формули (11) отримується вираз для розрахунків дисперсії функції впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{\sigma_D^2 + \bar{D}^2} [(\sigma_C^2 + \bar{C}^2)(\sigma_D^2 + \sigma_B^2) + \sigma_C^2(\bar{D}^2 + \bar{B}^2) - \bar{a}^2\sigma_D^2 - 2K_{DB}(\sigma_C^2 + \bar{C}^2)]. \quad (13)$$

При відсутності втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин, як випливає з формул (12) і (13), коваріаційна функція і дисперсія вмісту якісно-технологічних показників усередненого корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом, залежать тільки від фактору впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників використання корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом у надрах

$$r_{aa'} = \frac{1}{r_{DII'} + \bar{D}^2} (r_{CC'}r_{DII'} + \bar{C}\bar{C}'r_{DII'} + \bar{D}\bar{D}'r_{CC'} - \bar{a}\bar{a}'r_{DII'}), \quad (14)$$

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{\sigma_D^2 + \bar{D}^2} (\sigma_C^2\sigma_D^2 + \sigma_D^2\bar{C}^2 + \sigma_C^2\bar{D}^2 - \bar{a}^2\sigma_D^2), \quad (15)$$

що підтверджує справедливості встановлених залежностей.

Формули (1)–(15) дозволяють з урахуванням гірничо-геологічних умов видобутку балансово-промислових запасів зробити оцінку впливу втрат і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у розпушеній залізородній масі на однорідність якісного складу одиничного потоку залізородної маси, що надходить із забоїв окремих видобувних одиниць. Найбільші труднощі представляє виявлення коваріаційних функцій $r_{BB'}$, $r_{bb'}$, $r_{III'}$, $r_{CII'}$ при підземному способі видобутку балансово-промислових запасів, так як цього дотепер не виконували, що пов'язано з постановкою спеціальних досліджень. У зв'язку із цим актуальні завдання вивчення процесів втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у розпушеній залізородній масі, виявлення закономірностей їх утворення і протікання в часі при різних системах і способах видобутку промислових запасів з дільниць рудного тіла і покладу родовища магнетитових роговиків.

Процеси втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин в найбільш загальному випадку нерівномірні, тобто в однакові інтервали часу у видобуток залучається різна кількість порід з різним вмістом якісно-технологічних показників корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом, а також втрачається різна кількість балансово-промислових запасів з різним вмістом якісно-технологічних показників корисних копалин. Для підвищення однорідності показників якісно-технологічних складових товарної залізорудної маси, організовується видобуток балансово-промислових запасів так, щоб процеси втрат і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізорудній масі протікали у часі рівномірно. Оцінюючи вплив засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізорудній масі на усереднення вмісту якісно-технологічних показників необхідно мати на увазі, що між середньою величиною засмічення і середнім квадратичним відхиленням є залежність. Вона виявлена у результаті аналізу звітних даних гірничовидобувних підприємств Кривбасу протягом декількох десятків років. Результати кореляційного аналізу свідчать про наявність зв'язку між розглянутими величинами: коефіцієнт кореляції дорівнює 0,714; похибка коефіцієнта кореляції становить 0,04; що свідчить про вірогідність отриманих результатів та рівняння регресії.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Визначення впливу втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин на технологічні процеси видобутку та усереднення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин приводить до необхідності розширення і поглиблення уявлень про сутність втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. Засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин розглядається як процес залучення у видобуток пустих порід і забалансових за вмістом якісно-технологічних показників корисних копалин запасів. Для характеристики процесу засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин використовується математичний апарат теорії випадкових функцій. Залежність середнього квадратичного відхилення величини засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у товарній залізорудній масі від середнього значення спрощує розрахунки і оцінку впливу засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин на процес усереднення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин, що виключає необхідність проведення експериментальних робіт. Наявність закономірності пояснюється тим, що середня величина завжди пов'язана з розмахом коливань засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізорудній масі, тобто з величиною середнього квадратичного відхилення. Для підвищення однорідності показників якісно-технологічних складових залізорудної маси, доцільно так організувати видобуток балансово-промислових запасів, щоб процеси втрат і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у залізорудній масі протікали у часі рівномірно.

Список літератури

1. Сборник руководящих материалов по охране недр (1973). – М., Недра.
2. Измерение качества продукции. Вопросы квалитрии (1971). Под ред. А.В. Гличева. – М. : Стандарт. – 108 с.
3. Бастан П.П., Азбель Е.И., Ключкин Е.И. (1979). Теория и практика усреднения руд. М., Недра.
4. Арсеньев С.Я., Прудовский А.Д. (1980). Внутрикьерное усреднение железных руд. М., Недра
5. Шолох М.В. (2016). Методика визначення і нормування вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у промислово-балансових запасах – Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ». – 160 с. Іл.
6. Шолох М.В. (2018). Вплив втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин на процес усереднення. / 36. наукових праць ДВНЗ «КНУ» «Гірничий вісник» Науково-технічний збірник: Кривий Ріг, 2018. – Вип. 103. – С. 50–55.
7. Шолох М.В. (2018). Маркшейдерське забезпечення прогнозування і управління якісними показниками при розробці залізорудних родовищ. – С. 160–168. / Форум гірників – 2018: матеріали міжнар. конф., 10–13 жовтня 2018 р. – Дніпро: Середняк Т.К. – 2018. – 307 с. ISBN 978-617-7696-55-0.
8. Шолох М.В. (2018). Моделі і критерії оптимізації якісно-технологічних показників видобутку магнетитових роговиків. – С. 65–78. / The 6th International conference - Science and society – (August 3, 2018) Accent Graphics Communications & Publishing, Hamilton, Canada. 2018. 250 p. ISBN 978-1-77192-360-6.
9. Шолох М.В. (2018). Моделювання прогностичної оцінки мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. 274–287. / The 3rd International youth conference – Perspectives of science and education – (July 6, 2018) SLOVOWORD, New York, USA. 2018. 524 p. ISBN 978-1-77192-403-0.
10. Metallurgical and Mining industry. (2015). № 4, p.p. 322–324.

12. **Sholokh M.V.** (2018). Optimization of preparedness for extraction of balance industrial mineral reserves. 133–165. / Topical issues of resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Petrosani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2018. – 270 p. ISBN 978-973-741-585-1.
13. **Sholokh M.V.** (2018). Determination and research of norms of the ferrous quartzites prepared to booty. 25–52. / Development of scientific foundations of resource-saving technologies of mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Sofia: Publishing House «St. Ivan Rilski», 2018. – 264 p. ISBN 978-954-353-355-8.
14. **Sholokh M. V.** (2018). Estimation of content of quality indexes of minerals in array of roginitums of magnetite and in stream of iron-ore mass. 180–208. / Resources and resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Petroșani. Romania: UNIVERSITAS Rublishing, 2018. – 363 p. 180–208. ISBN 978-973-741-592-9.
15. **Sholokh M.V.** (2018). An analysis of surveyor control of losses of balance-industrial supplies is at mastering. – C. 132–135. / International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Resource-Saving Technologies of Mineral Mining and Processing». Book of Abstracts. – Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2018 – 221 p. ISBN 978-973-741-615-5 (print).
16. **Sholokh M.V., Sholokh S.M., Sergieieva M.P.** (2018). An analysis of surveyor control of losses of balance-industrial supplies is at mastering of bowels of the Earth. 415–438. / Innovative development of resource-saving technologies for mining. Multi-authored monograph. – Sofia: Publishing House «St. Ivan Rilski», 2018. – 439 p. ISBN 978-954-353-351-0.

Рукопис подано до редакції 26.09.2019

УДК 624.153.524

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

МОДЕЛЮВАННЯ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ПІДПІРНОЇ СТІНИ З ОСНОВОЮ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ LIRA 9.6

Мета. При будівництві підпірних стін в складних інженерно-геологічних умовах необхідно досягти: підвищення стійкості і міцності підпірних стін; зниження витрат використовуваних будівельних матеріалів; зменшення обсягів земляних робіт; зниження нерівномірності деформацій; зниження термінів будівництва; поліпшення умов відсіпання і ущільнення засипки; підвищення експлуатаційної надійності, якості виконання робіт і збільшення термінів служби підпірних стін. Таким чином, для оцінки НДС підпірних стінок кутового профілю необхідний облік спільної роботи всієї стінки з ґрунтом і застосування більш обґрунтованих моделей ґрунту в районі її вертикального і горизонтального елементів. Метою досліджень є дослідження напружено-деформованого стану підпірної стіни зі структурною поверхнею (ПССП) з урахуванням її контактної взаємодії з ґрунтовим масивом.

Методи дослідження. Перспективним напрямком досліджень НДС системи «підпірна стіна - ґрунт» є використання методів математичного моделювання на основі чисельних методів аналізу. Найпоширенішим на сьогоднішній день є метод кінцевих елементів (МКЕ), який покладено в основу сучасних програмних комплексів для розрахунку будівельних конструкцій, будівель і споруд. У порівнянні з класичними варіаційними методами МКЕ більш гнучкий при завданні геометричних параметрів і граничних умов, наочний і універсальний для широкого кола завдань. При цьому є можливість вибирати різні моделі ґрунту для вирішення поставленого завдання.

Наукова новизна. Актуальність даної роботи пов'язана із розв'язанням поставленої задачі. Її результатом є дослідження напружено-деформованого стану ПССП з урахуванням її контактної взаємодії з ґрунтовим масивом за допомогою програмного комплексу.

Практична значимість. Визначення напружено-деформованого стану підпірної стіни зі структурною поверхнею (ПССП) з урахуванням її контактної взаємодії з ґрунтовим масивом.

Результати. Математичне моделювання дозволило наочно продемонструвати зниження напруги на контактній поверхні. Поетапне заповнення пустот призводить до рівномірного розподілу деформацій, що в довгостроковій перспективі збільшує термін експлуатації споруди, забезпечуючи тим самим економічний ефект. Особливістю конструктивного рішення ПССП, при взаємодії ґрунту зі структурною поверхнею підвищує несучу здатність основи за рахунок спільної роботи конструкції підпірної стіни і деформованої основи.

Ключові слова: підпірна стіна зі структурною поверхнею, кінцево-елементні моделі, напружено-деформований стан, контактна взаємодія, ґрунт, моделювання.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-106-36-42

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Прагнення до раціонального використання міських територій призводить до розвитку і пошуку нових видів споруд, які були б більш економічні і менш трудомісткі. До облаштування підпірних стін пред'являється ряд вимог, більшість яких засновані на вивченні інженерно-геологічних умов території, яка вимагає інженерного захисту. Ці споруди в умовах експлуатації знаходяться в складному

напруженому стані, характеризуються більший обсягом капітальних витрат, складністю і неоднорідністю взаємодії конструкції підпірної стіни і ґрунту [1-3].

Особлива увага приділяється методам розрахунку і проектування даних споруд в складних інженерно-геологічних умовах. Сучасні методи розрахунку дозволяють розрахувати навантаження на стіну, а також дозволяють моделювати напружено-деформований стан ґрунту за допомогою програмних комплексів [4].

Методи і програми для розрахунку підпірних стін розроблені на основі останніх досягнень в галузі будівельної механіки, теорії розрахунку залізобетонних конструкцій, механіки ґрунтів, теорії пружності, обчислювальної математики. Розрахунок підпірних стін, що мають конструктивні особливості, з урахуванням їх спільної роботи з ґрунтом на територіях зі складними інженерно-геологічними умовами є основою для подальших аналітичних і практичних досліджень.

Аналіз досліджень і публікацій. Складні інженерно-геологічні умови - це геологічне середовище, яке включає специфічні ґрунти, небезпечні природні або техногенні процеси, геоморфологічні умови, геологічні та гідрогеологічні чинники взаємодії з будівлями і спорудами, відносяться до II і III категорії складності інженерно-геологічних умов. Багато вчених присвятили свої роботи питанням визначення бокового тиску ґрунту на підпірні стіни з урахуванням їх спільної роботи з ґрунтовим масивом.

Так, В.Ф. Раюк [1, 2] досліджував характер і величину бічного тиску на вертикальну грань підпірної стіни з урахуванням її деформацій і зміщення, використовуючи при цьому модель лінійно-деформуємої чвертьплоскості, але він не розглядав спільну роботу вертикальної стінки і фундаменту як єдиної системи, яка взаємодіє з ґрунтом. Є.І. Чернишова [3] досліджувала питання про вплив гнучкості вертикальної стінки на величину бокового тиску ґрунту.

І.Я. Лучковский [4], використовуючи метод суперпозиції, дає рішення щодо визначення бокового тиску ґрунту на підпірні стінки від вузьких навантажень і зосередженої сили. Він звертає увагу на затухання із заглибленням бічного тиску ґрунту від привантаження. Однак і ці автори при визначенні бічного тиску не враховували спільну роботу вертикальної стінки і фундаменту як єдиної системи, яка взаємодіє з ґрунтом.

І.А. Сімвуді [5] розраховує гнучку підпірну стінку з урахуванням взаємодії всіх її елементів з ґрунтом, але в якості моделі ґрунту, як засипки, так і основи вводять лінійно-деформуєму напівплощину, що є не зовсім коректним. Крім того, цей метод не дозволяє враховувати вплив привантаження на напружено-деформований стан (НДС) системи.

Статичному розрахунку підпірних стінок присвячено значну кількість досліджень [6, 7]. Кількість робіт по динаміці цих споруд, особливо з урахуванням пружно властивостей їх матеріалів, значно менше [8, 9]. Зазвичай, динамічні розрахунки виконуються, якщо на спорудження діють імпульсні, вібраційні або рухомі навантаження [10].

Постановка завдання. При будівництві підпірних стін в складних інженерно-геологічних умовах необхідно досягти: підвищення стійкості і міцності підпірних стін; зниження витрат використовуваних будівельних матеріалів; зменшення обсягів земляних робіт; зниження нерівномірності деформацій; зниження термінів будівництва; поліпшення умов відсипання і ущільнення засипки; підвищення експлуатаційної надійності, якості виконання робіт і збільшення термінів служби підпірних стін. Таким чином, для оцінки НДС підпірних стінок кутового профілю необхідний облік спільної роботи всієї стінки з ґрунтом і застосування більш обґрунтованих моделей ґрунту в районі її вертикального і горизонтального елементів.

Метою досліджень є дослідження напружено-деформованого стану підпірної стіни зі структурною поверхнею (ПССП) з урахуванням її контактної взаємодії з ґрунтовим масивом.

Викладення матеріалу та результати. Чинні нормативні документи рекомендують при розрахунку підпірних стін виконувати розрахунки по визначенню стійкості положення стін проти зсуву, перекидання, повороту, визначати місцеву міцність основи і його несучу здатність, повинна бути забезпечена міцність елементів конструкцій і вузлів з'єднання. Обов'язково повинні бути проведені розрахунки за деформаціями основи. У складних інженерно-геологічних умовах, які характеризуються вертикальними і горизонтальними зміщеннями основи, що викликає складні деформації в конструкціях підпірних стін. В таких умовах неможливо реалізувати існуючі методики розрахунку [11, 12]. Проведені раніше досліді фізичного моделювання [13-15], показують області формування пружних і пластичних зон при контактній взаємодії

ПССП і деформованої основи.

Відомо, що навіть при невеликих навантаженнях ґрунт переходить в пружно-пластичний стан, тому в розрахунках необхідно враховувати цей фактор. Використовується теорія пластичної течії із зміцненням, так як деформаційні теорії при складному навантаженні незастосовні [16]. У такій постановці розглянута тут завдання досліджується вперше. Інтерес представляє розрахунок підпірних стін із структурною поверхнею з урахуванням її спільної роботи з ґрунтом.

Перспективним напрямком досліджень НДС системи «підпірна стіна - ґрунт» є використання методів математичного моделювання на основі чисельних методів аналізу. Найпоширенішим на сьогоднішній день є метод кінцевих елементів (МКЕ), який покладено в основу сучасних програмних комплексів для розрахунку будівельних конструкцій, будівель і споруд. МКЕ найбільш підходить для задач з розвиненою неоднорідністю міцності. У порівнянні з класичними варіаційними методами МКЕ більш гнучкий при заданні геометричних параметрів і граничних умов, наочний і універсальний для широкого кола завдань. При цьому є можливість вибирати різні моделі ґрунту для вирішення поставленого завдання. Нормативні документи, що діють в Україні в даний час [17-19], рекомендують виконувати розрахунки за допомогою програмних комплексів, в яких реалізований МКЕ.

Моделі і кінцево-елементні моделі звичайної підпірної стіни і ПССП подані на рис. 1 і 2. Підпірна стіна спирається безпосередньо на ґрунт, представлений суглинком, в якості ґрунту засипки також прийняті суглинки.

Розрахунок стійкості та міцності підпірної стіни було виконано методом МКЕ за допомогою програмного комплексу LIRA 9.6. Характеристики ґрунтів наведені в табл. 1.

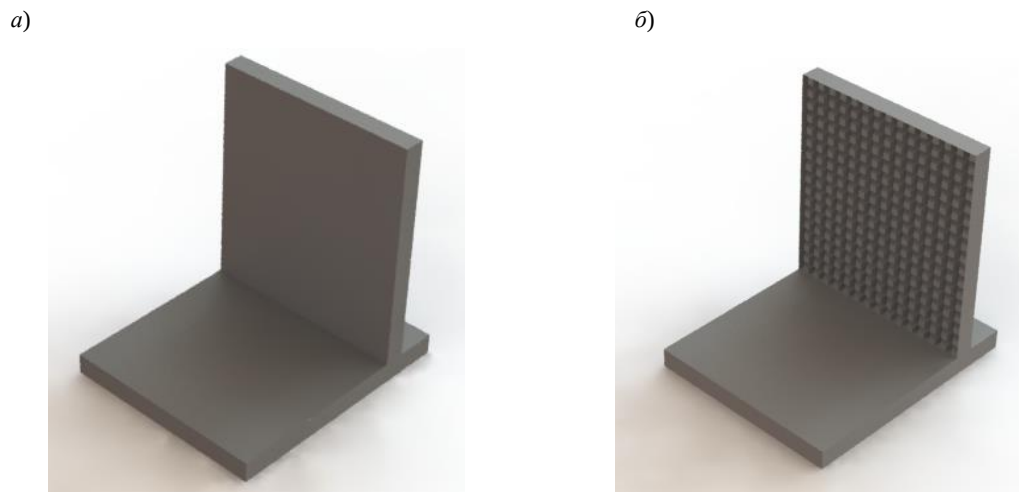


Рис. 1. Моделі: а – звичайна кутникова підпірна стіна; б – підпірна стіна зі структурною поверхнею

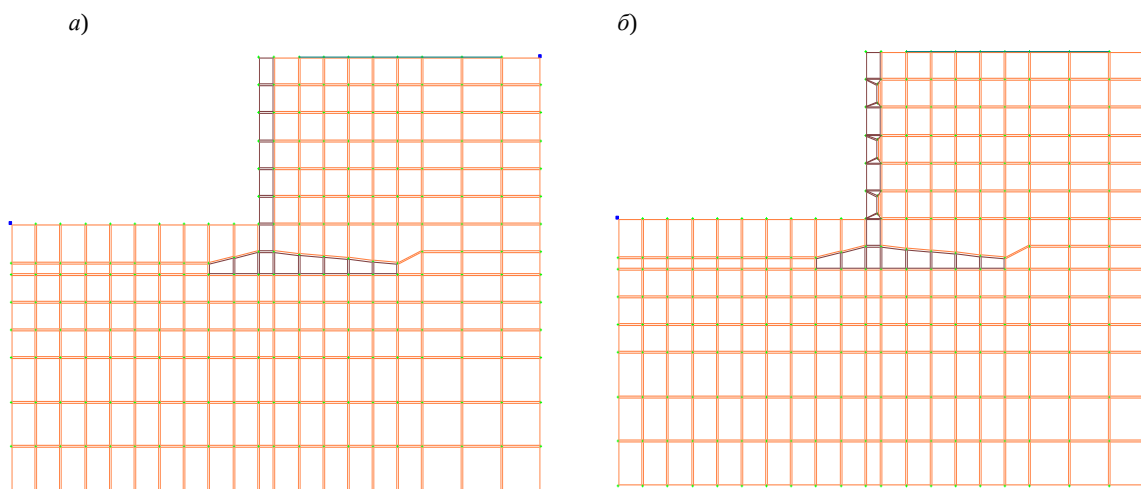


Рис. 2. Кінцево-елементна моделі: а – звичайна кутникова підпірна стіна; б – підпірна стіна зі структурною поверхнею

Характеристики жорсткості

Тип жорсткості	Найменування	Параметри жорсткості (модуль деформації ґрунту – $\tau / \text{м}^2$; коефіцієнт Пуассона; товщина – см; зчеплення – кПа; максимальне напруження при розтягуванні – $\tau / \text{м}^2$)
КЕ 284	Ґрунт основи, ґрунт засипки	$E = 1800$; $\nu = 0,35$; $H = 100$; $C = 19,51$; $R_t = 0,15$

ПССП має вертикальний і горизонтальний елементи на поверхні, у яких з контактної сторони, розміщені опорні частини і порожнечі у вигляді усічених пірамід однакового розміру і спрямованих меншою основою вглиб вертикального і фундаментного елементів [20].

Монолітна підпірна стіна кутового типу складається з фундаментної плити, яка має порожнечі і опорні частини, які розташовані на підшві та з тильного боку вертикального елемента. Ґрунт, спрямований в порожнечі, які мають форму усічених пірамід. Під підшвою фундаментної плити і з тильної сторони вертикального елемента розташовані два листа пружноподатливого матеріалу. З розвитком деформаційного навантаження в часі, тобто з вертикальними і горизонтальними переміщеннями ґрунту по відношенню до монолітної стіни кутового типу, після її установки, відбувається поступове проникнення ґрунту в порожнечі. Передчасне заповнення пустот запобігає листами пружноподатливого матеріалу.

Моделювання роботи ПССП і нерівномірно деформованої основи було проведено в програмному комплексі LIRA 9.6 в умовах плоскої задачі. Це дозволило виконати чисельне моделювання, розрахунок і проектування подібних конструкцій з урахуванням реальних ґрунтових умов.

Процес моделювання проводився в три етапи: створення розрахункової кінцево-елементної моделі споруди; створення розрахункової кінцево-елементної моделі ґрунтового масиву; моделювання поверхні контакту «заглиблена конструкція – ґрунтовий масив».

Для створення розрахункової кінцево-елементної моделі, що враховує спільну роботу конструкцій з ґрунтовим масивом, використовувалися кінцеві елементи: КЕ 284 – фізично нелінійний універсальний прямокутний для плоскої задачі (ґрунт); КЕ 10 – універсальний просторовий стрижневий; КЕ 21 – прямокутний КЕ для плоскої задачі (балка-стінка); КЕ 22 – трикутний КЕ для плоскої задачі (балка-стінка); КЕ 30 – чотирикутний КЕ для плоскої задачі (балка-стінка) [21].

Кінцево-елементна модель (КЕ-модель) має деформаційні граничні умови, а саме обмежене переміщення верхніх вузлів крайніх точок моделі. Висота моделі взята з міркувань спільної роботи стіни і навколишнього масиву, який складений суглинками. СЕ-моделі надаються деформаційні характеристики - модуль пружності E і коефіцієнт Пуассона ν , R_0 – питома вага матеріалу. Після завдання жорсткості СЕ-моделі слід задати значення навантажень у завантаженні.

Аналізуючи горизонтальні переміщення підпірних стін, можна зробити висновок про незначну різницю в значеннях для обох конструкцій, при однакових ґрунтових умовах і завантаженнях.

У той же час про зниження контактних напружень свідчать отримані значення $N_x = 0,78$ кПа, $N_z = 1,57$ кПа, $T_{xz} = 4,70$ кПа, тоді як для звичайної підпірної стіни вони склали $N_x = 1,96$ кПа, $N_z = 4,9$ кПа, $T_{xz} = 11,76$ кПа. НДС кінцеелементних моделі підпірних стін представлені на рис. 3-6.

У цьому дослідженні для моделювання підпірної стіни використовувався кінцево-елементний програмний комплекс LIRA 9.6, що є методом кінцевого елементного програмного забезпечення і знаходиться на стадії постійного вдосконалення протягом багатьох років.

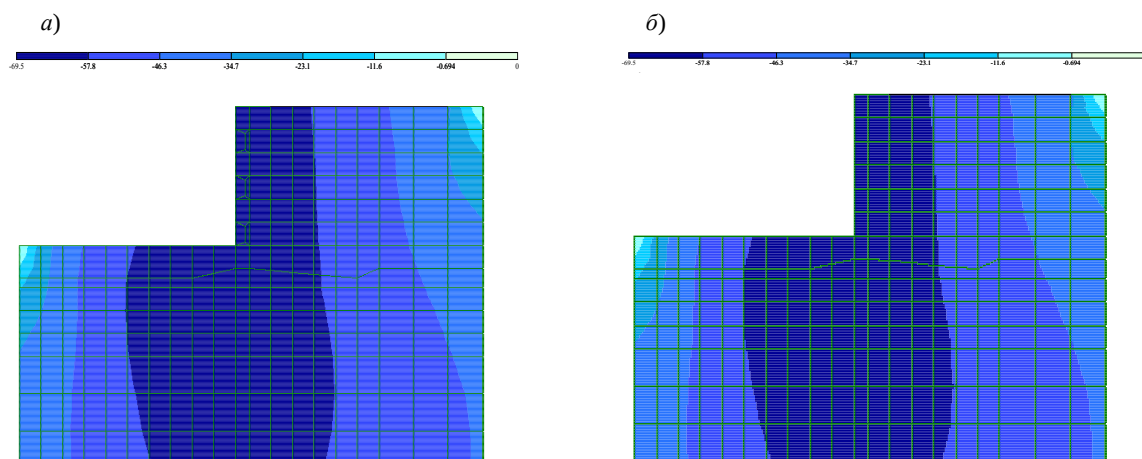


Рис. 3. Ізополя переміщень, мм: *a* – звичайна кутникова підпірна стіна; *б* – підпірна стіна зі структурною поверхнею

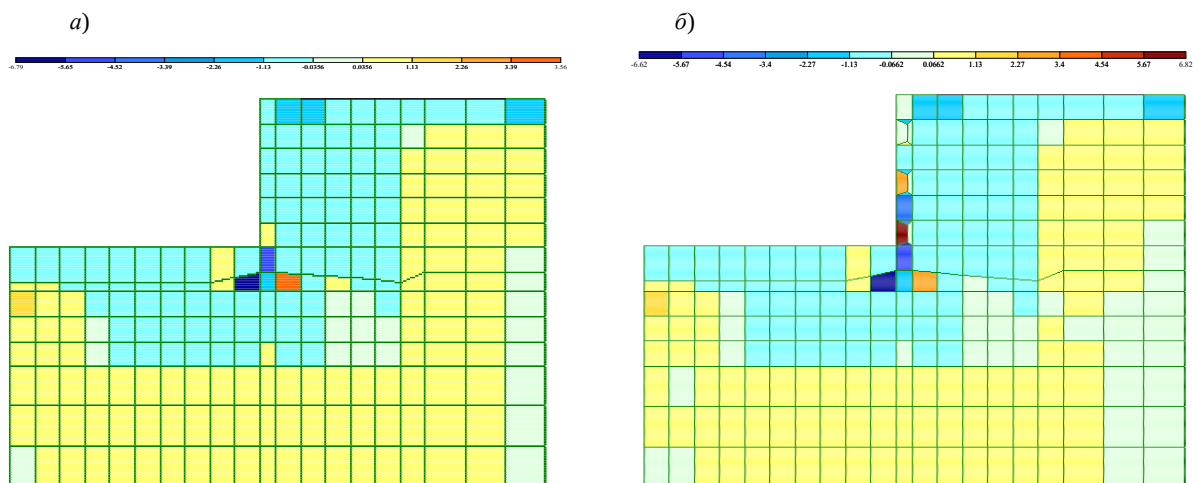


Рис. 4. Ізополя напружень N_x , кПа: *a* – звичайна кутникова підпірна стіна; *б* – підпірна стіна зі структурною поверхнею

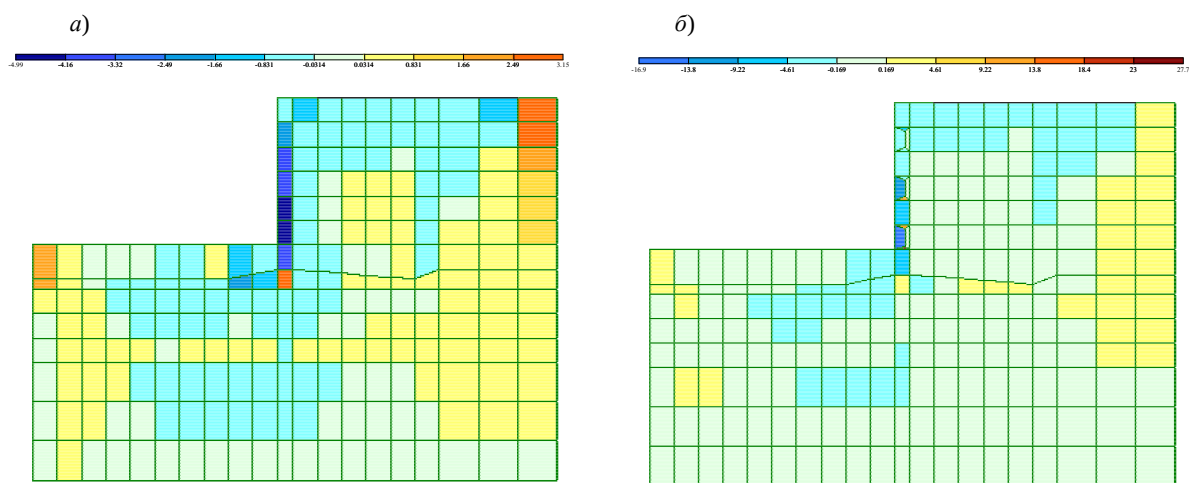


Рис. 5. Ізополя напружень N_z , кПа: *a* – звичайна кутникова підпірна стіна; *б* – підпірна стіна зі структурною поверхнею

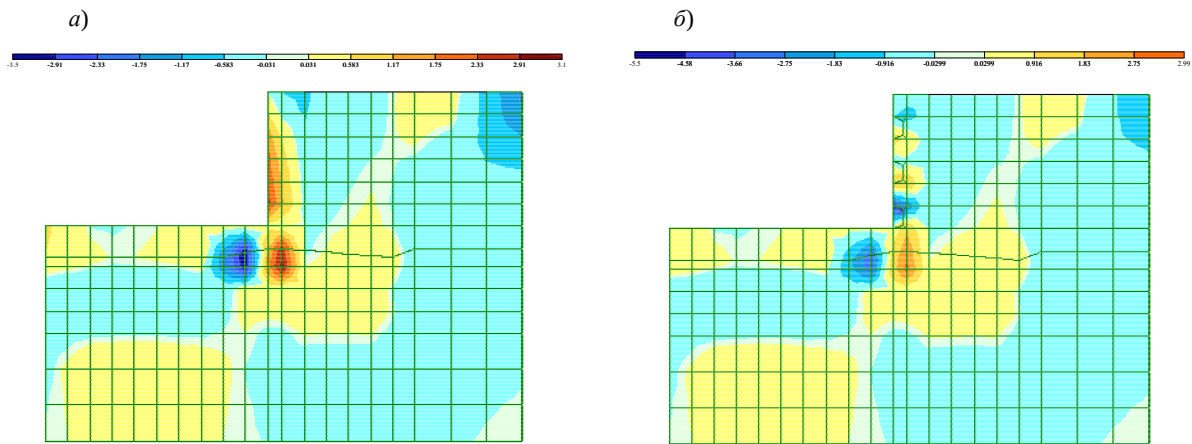


Рис. 6. Ізополя напружень T_{zx} , кПа: *а* – звичайна кутникова підпірна стіна; *б* – підпірна стіна зі структурною поверхнею

Зворотне засипання ґрунту і ґрунту основи були змодельовані за допомогою моделі Кулона - Мора, яка є пружно-пластичною моделлю, здатної враховувати розширення ґрунту. З урахуванням того, що підпірна стіна значно жорсткіша, ніж основа і ґрунт засипки, усі елементи підпірної стіни були прийняті як пружний матеріал.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Результати розрахунків підтвердили експериментальні дослідження, проведені раніше. Математичне моделювання дозволило наочно продемонструвати зниження напруги на контактній поверхні. Поетапне заповнення пустот призводить до рівномірного розподілу деформацій, що в довгостроковій перспективі збільшує термін експлуатації споруди, забезпечуючи тим самим економічний ефект. Особливість конструктивного рішення ПССП, при взаємодії ґрунту зі структурною поверхнею підвищує несучу здатність основи за рахунок спільної роботи конструкції підпірної стіни і деформованої основи.

Внаслідок проведеної роботи було отримано наукові результати: виявлено та проаналізовано особливості НДС основи і споруди в умовах плоскої задачі системи «основа – підпірна стіна» за допомогою моделі в програмному комплексі LIRA 9.6; досліджено вплив використання структурної поверхні ПССП на НДС ґрунтової основи при їх контактній взаємодії; зафіксовано, що основні напруги по ряду перетинів в моделях ПССП менше напружень в моделях звичайної стіни на 15-18%.

Список літератури

1. Раюк В. Ф. Розрахунок тиску ґрунту на підпірні стіни / В. Ф. Раюк // Річковий транспорт. – К., 1965. – № 5. – С. 46-49.
2. Раюк В. Ф. Розрахунок бічного тиску ґрунту на вертикальну грань підпірної стінки з урахуванням її деформації і зміщення / В. Ф. Раюк // Гідротехнічне будівництво. – К., 1968. – № 2. – С.35-40.
3. Чернишова К. Й. Результати дослідження розподілу тиску ґрунту на гнучкі підпірні стіни / К. Й. Чернишова // Доповіді АН УРСР. – К.: Наукова думка. – 1964. – Вип. 12. – С. 1609-1613.
4. Лучковський І. Я. Взаємодія конструкцій з основою / І. Я. Лучковський // Бібліотека журналу ІТЕ. – Харків: ХДАГХ. – 2000. – Т. 3. – 264 с.
5. Сімвуді І. А. Розрахунок інженерних конструкцій на пружній основі // І. А. Сімвуді. – М.: Вища. шк., 1987. – 575 с.
6. Клейн Г. К. Розрахунок підпірних стін // Г. К. Клейн. – М.: Вища школа, 1964. – 196 с.
7. Яковлев П. І. Взаємодія споруд з ґрунтом // П. І. Яковлев, А. Г. Бібічков, Д. А. Бібічков. – М.: Нідра, 1997. – 464 с.
8. Гришин А. В. Нелінійні динамічні задачі розрахунку портових гідротехнічних споруд // А. В. Гришин, Е. Ю. Федорова. – Одеса: ОДМУ, 2002. – 126 с.
9. Гришин А. В. Нелінійна динаміка огорожувальних споруд // А. В. Гришин, Е. Ю. Федорова. – Одеса: ОНМУ, 2002. – 240 с.
10. Смирнов А. Ф. Будівельна механіка. Динаміка і стійкість споруд // А. Ф. Смирнов. – М.: Стройиздат, 1984. – 415 с.
11. Gubrynowicz A. Wychylenia z pionu obiektow budow - lanych na tle nachylen tereny powodowanych wplywami eksploacji gornicze / A. Gubrynowicz // Konferencja naukowo-techniczna "Probleamy budow - nictwa na terenach gorniczych" (m. Glivice, 19-20 pazdziernika. – Glivice, 1978 – P. 75-82.
12. Gucunski N. Seismic analysis of retaining walls, buried structures, embankments, and integral abutments / N. Gucunski, H. Najm, H. Nassif – Piscataway: Dept. of Civil & Environmental Engineering Center for Advanced Infrastructure & Transortation (CAIT) Rutgers, 2005 – 160 p.

13. **Timchenko R. O.** Experimental research of retaining walls with structural surface / **R. O. Timchenko, D. A. Krishko, V. O. Savenko** // Збірник наукових праць «галузевого машинобудування, будівництво», Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка – Полтава, 2017. – №2 (51). – С. 139-144.
14. Тімченко Р. О. Особливості виготовлення фізичних моделей конструкцій (підпирних стін та фундаментів-оболон) Із ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ технологій / Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, В. О. Савенко, І.В. Хоруженко // Гірничий вісник. – Кривий Ріг: КНУ, 2018. – Вип. 103. – С. 65-69.
15. **Тімченко Р. О.** Using a linear regression model in the experimental planning for optimization of constructive solutions of the retaining wall of a special type / **Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, В. О. Савенко** // Містобудування та ТЕРИТОРІАЛЬНЕ планування – К.: КНУБА, 2017. – Вип. 63 – С. 410-415.
16. **Івлєв Д. Д.** Теорія зміцнюючого пластичного тіла // **Д. Д. Івлєв, Г. І. Биковцем.** – М.: Наука, 1971. – 231 с.
17. **ДСТУ-Н Б В.2.1-31: 2014.** Настанова з проектування підпирних стін – К.: Мінрегіон України, 2015. – 86 с.
18. **ДСТУ Б В.3.1-2.** Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 72 с.
19. **ДБН В.2.1-10: 2018.** Основи и фундаменти будівель та споруд. Основні положення. – К.: Мінрегіон України, 2018. – 36 с.
20. **Пат. UA 100212 U** Україна, МПК E02D 29/02. Монолітна підпирна стінка кутикового типу. **Тімченко Р. О., Крішко Д. А., Савенко В. О., Настич О. Б.** (Україна). – UA 100212 U; Заявл. 26.02.2015; Опубл. 10.07.2015, Бюл. № 13. – 4 с.
21. ЛІРА-САПР 2011. Навчальний посібник / **Ю.В. Гензерський, Д.В. Медведенко, О.І. Палієнко, В.П. Титок.** – К.: Електронне видання, 2011. – 396 с.

Рукопис подано до редакції 26.09.2019

УДК: 669.1.785

Ю. С. РУДЬ, д-р техн. наук, проф., В. Ю. БЕЛОНОЖКО, ст. преподаватель
Криворожский национальный университет

ВЫБОР КОНСТРУКТИВНЫХ РАЗМЕРОВ КОЛОСНИКОВ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ МАШИН ПО КРИТЕРИЮ МАЛОЦИКЛОВОЙ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ

Агломерация железорудного концентрата методом просасывания является исключительно эффективным процессом с точки зрения теплотехнических показателей: при содержании углерода в шихте всего 3-5% удается нагревать спекаемый материал до 1400-1450°C.

Целью работы является исследование влияния высоких температур на работоспособность колосников конвейерных агломерационных машин.

Научная новизна. За счет теплообмена колосников со слоем раскаленного агломерата и газом-теплоносителем осуществляется их нагрев. При этом наиболее интенсивному воздействию температурных нагрузок подвергается рабочая поверхность колосника, а решающую роль в обеспечении их стойкости приобретают проблемы химической коррозии поверхностных слоев и деформации рабочего тела колосников. При выборе конструктивных параметров колосников необходимо учитывать особенности механических характеристик материалов, из которых изготовлены колосники. Недостаточная надежность и малая долговечность колосников обусловлены условиями их работы, а также их конструктивными особенностями.

Практическое значение. При эксплуатации агломерационных машин колосники подвергаются интенсивным воздействиям переменных температурных полей и механических нагрузок. На рабочей ветви агломерационной машины температура колосников достигает 1400 - 1450°C, а на холостой ветви - снижается до сезонных летне-зимних температур. Воздействие негативных факторов эксплуатации на колосники приводит к их химической коррозии, деформации рабочего тела колосников и потери их работоспособности. Число циклов смены температур за срок службы машин относительно невелико и поэтому долговечность колосников лимитируется условиями малоциклого разрушения. Недостаточная надежность и долговечность колосников обусловлена условиями работы, а также их конструктивными особенностями.

Результаты. Предложено использовать критерием рациональности конструктивных размеров колосников агломерационных машин показатель малоцикловой и термической прочности. С целью снижения простоев агломерационной машины в ремонте, связанных с заменой колосников, коэффициент кратности замены колосников должен быть целым числом. При изготовлении колосников с одного конструктивного материала, но с разной толщиной рабочей части, долговечность колосников с толщиной рабочей части должна быть меньше долговечности колосников.

Ключевые слова: агломерационная машина, колосник, температура, долговечность, малоцикловая и термическая прочность.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-106-42-48

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Агломерация концентратов железных руд осуществляется на агломерационных машинах шириной 2-4 м и длиной 25-80 м [1, 2]. Агломерационные машины состоят из тележек с бортами – паллет, перемещающихся по рельсам на роликах. Тележка представляет собой смонтированную на четырех роликовых опорах раму, ограниченную с двух сторон бортами. Днище рамы имеет поперечные балки с полками, которые служат для крепления колосников. Каждый колосник состоит из рабочей части и двух головок с зевами для установки их между поперечными балками тележки. Установленные между поперечными балками колосники за счет прямолинейных приливов на их головках создают между рабочими частями смежных колосников щели - технологические зазоры. На большинстве действующих агломерационных фабрик применяются колосники толщиной 40 мм и весом 4-5 кг при высоте прямолинейных приливов 3 мм, которые обеспечивают живое сечение решетки равное 10% от их общей площади.

Компоненты агломерационной шихты (в т.ч. измельченный кокс), дозированные в заданном соотношении, перемешивают, увлажняют, подвергают окомкованию и загружают на колосниковую решетку слоем 300-400 мм. С помощью эксгаустера под колосниковой решеткой создается разрежение, благодаря которому атмосферный воздух, поступающий в слой во время процесса, обеспечивает интенсивное горение кокса. При этом создаются температуры, при которых происходит частичное плавление рудных зерен, их слипание, а затем в ходе кристаллизации образуется пористая структура – агломерат. Агломерация железорудного концентрата методом просасывания является исключительно эффективным процессом с точки зрения теплотехнических показателей: при содержании углерода в шихте всего 3-5% удается нагревать спекаемый материал до 1400-1450°C [3, 4]. В работах [5, 6] отмечается, что в первую очередь высокие температуры оказывают негативное влияние на работоспособность колосников.

Анализ исследований и публикаций. Колосники агломерационных машин работают в окислительной, химически активной среде в широком диапазоне рабочих температур. За счет теплообмена колосников со слоем раскаленных окатышей и газом-теплоносителем осуществляется их нагрев. При этом наиболее интенсивному воздействию температурных нагрузок подвергается рабочая поверхность колосника, а решающую роль в обеспечении стойкости колосников приобретает проблема обеспечения оптимального теплоотвода, обеспечивающего равномерное распределение температуры в теле колосника. Воздействие негативных факторов эксплуатации на колосники приводит к их химической коррозии поверхностных слоев, деформации рабочего тела колосников, потери их работоспособности [7, 8]. Их конструктивные параметры обычно выбираются из условия обеспечения рациональных технологических требований к процессу спекания шихты. При этом особенности механических характеристик материалов, из которых изготовлены сборочные единицы тележек, а также колосников учитываются недостаточно. В то же время долговечность колосниковой решетки ограничивают общую надежность агломерационной машины. Авторы патентов [9, 10] считают, что низкая надежность и малая долговечность колосников обусловлены как условиями работы колосников, так и их конструктивными особенностями.

Колосники с одинаковыми механическими характеристиками, но разной толщиной рабочей части, выходят из строя в разное время. Колосники с меньшей толщиной рабочей части теряют работоспособность быстрее, их долговечности ниже. Различные сроки службы колосников с разной толщиной рабочей части приводят к растяжению срока ремонта по замене колосников.

При эксплуатации тележек агломерационной машины колосники подвергаются интенсивным воздействиям переменных циклических температурных полей и механических нагрузок. На рабочей ветви агломерационной машины температура колосников достигает 1400-1450°C, а на холостой ветви - снижается до сезонных летне-зимних температур. Цикличность действия высоких и низких температур является основной причиной выхода из строя колосников. С такой причинной связью согласен автор работы [11]. Число циклов смены температур за срок службы машин относительно невелико (до $10^3 \dots 10^5$), и поэтому долговечность колосников лимитируется условиями малоциклового разрушения [12].

Обеспечение прочности и долговечности колосников агломерационных машин – сложная научно-техническая проблема, актуальность которой возрастает в связи с непрерывным повышением требований к технико-экономическим показателям и надежности машин.

Постановка задачи. Несмотря на важность и актуальность проблемы выбора рациональных конструктивных размеров колосников агломерационных машин, она не нашла достаточно полного практического решения ни в одном из рассмотренных литературных источников. Таким образом, возникает актуальная задача разработки объективного критерия для выбора и обоснования конструктивных размеров колосников тележек агломерационных машин. Анализ литературных источников и практики эксплуатации агломерационных машин дает основание в качестве такого критерия принять показатель малоцикловой и термической прочности.

Изложение материала и результаты. При оценке совершенства колосников агломерационных машин на стадии их проектирования и эксплуатации предлагается рассматривать влияние действия температурных напряжений на их долговечность при повторном нагревании и охлаждении с позиций теории малоцикловой и термической прочности. Таким образом, критерием совершенства конструктивных размеров колосников агломерационных машин принимается показатель малоцикловой и термической прочности.

В первом приближении представим колосник в виде балки равного сечения, которая закреплена в двух опорах – смежных подколосниковых балках. На расчетную балку действует внешняя нагрузка – масса колосника, а также масса шихты, объем которой равен произведению рабочей площади колосника на высоту слоя шихты, загруженной на тележку агломерационной машины. Внешняя нагрузка приводит к возникновению изгибающих моментов M в вертикальной плоскости и нормального напряжения σ в теле колосника. Максимальное напряжение σ_{max} возникает в точках балки, наиболее удаленных от нейтральной оси балки, причем

$$\sigma_{max} = M/W, \quad (1)$$

где W – момент сопротивления поперечного сечения колосника при изгибе.

Значение момента сопротивления сечения при изгибе W находится по известной формуле

$$W = J/h_{max}, \quad (2)$$

где J – момент инерции расчетного сечения; для колосников прямоугольного сплошного сечения высотой h_{max} и толщиной B момент инерции $J = Bh^3_{max}/12$.

Зависимость напряжения σ_a , которое приводит к разрушению колосника, от числа циклов воздействия на колосник высоких температур N имеет такой вид [12]

$$\sigma_a^m N = C = \text{const}, \quad (3)$$

где m , C – постоянные константы для конструкционного материала, с которого изготовлены колосники; $m = 4-12$ (меньшие значения – жаропрочные чугуны, большие – легированные стали).

Значение максимального напряжения σ_{max} , при котором материал может выдержать без разрушения практически неограниченно число циклов N , называют пределом выносливости σ_{-1} . Разрушение деталей при относительно небольшом числе циклов ($N = 10^2 \dots 10^3$) называют малоциклового усталостью, а способность материала сопротивляться такому разрушению – малоциклового прочностью. При таком подходе для материала колосников можно принять, что

$$\sigma_a^m = \sigma_{-1}. \quad (4)$$

Количественное значение предела выносливости колосников σ_{-1K} , которые имеют определенные конструктивные особенности и размеры, находятся по следующей формуле

$$\sigma_{-1K} = K_d \beta_\sigma \sigma_{-1} / K_\sigma, \quad (5)$$

где σ_{-1} – предел выносливости лабораторных образцов материала, из которого изготовлены колосники; K_d – коэффициент влияния абсолютных размеров; β_σ – коэффициент, учитывающий состояние поверхности колосников; K_σ – эффективный коэффициент концентрации напряжений.

Коэффициент влияния абсолютных размеров K_d рекомендуется определять по графику рисунка 13 [1]. График рисунка 13 можно описать математическим уравнением вида

$$K_d = a/d^b. \quad (6)$$

Приведем размеры прямоугольного поперечного сечения колосника к условному круговому сечению с диаметром d при условии равенства площадей $S_{np}=S_{кр}$

$$Bh_{\max} = \pi d^2 / 4. \quad (7)$$

Откуда

$$d = 2\sqrt{Bh_{\max} / \pi}. \quad (8)$$

Для диапазона приведенных диаметров $d = 6,5 \dots 90$ мм для углеродистых сталей и чугунов $a = 1,6$, $b = 0,18$ и математическое уравнение (6) приобретает следующий вид

$$K_d = 1,6/d^{0,18}. \quad (9)$$

С учетом математического уравнения (9) формулу (5) можно переписать в таком виде

$$\sigma_{-1K} = 1,6\beta_{\sigma}\sigma_{-1}/d^{0,18}K_{\sigma}. \quad (10)$$

Для колосников аналогичной конструкции, но разной толщины рабочей части B_1 , B_2 коэффициенты, учитывающие состояние поверхности $\beta_{\sigma(1)} = \beta_{\sigma(2)}$ и эффективный коэффициент концентрации напряжения $K_{\sigma(1)} = K_{\sigma(2)}$. Учитывая это, а также зависимость (4), перепишем уравнения (12) и предоставим ему другой вид

$$\left(\frac{\sigma_{-1K(1)}}{\sigma_{-1K(2)}} \right)^m \left(\frac{B_2}{B_1} \right)^{0,18m} = \frac{N_2}{N_1}. \quad (11)$$

При изготовлении колосников агломерационной машины с различной толщиной рабочей части B_1 , B_2 с одного конструкционного материала предел выносливости колосников

$$\sigma_{-1K(1)}^m = \sigma_{-1K(2)}^m, \quad (12)$$

а зависимость (13) примет такой вид

$$\frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{B_2}{B_1} \right)^{0,18m}. \quad (13)$$

Из формулы (15) получим следующее соотношение

$$\frac{B_{(1)}}{B_{(2)}} = \left(\frac{N_{(1)}}{N_{(2)}} \right)^{\frac{1}{0,18m}}. \quad (14)$$

Введем понятие термина «коэффициент кратности замены колосников $K_{замB2/B1}$ ». Для колосников с толщиной рабочей части B_2 , этот коэффициент определяет количество замен колосников с толщиной рабочей части B_2 в период сохранения работоспособности колосников с толщиной рабочей части B_1 . Фактически коэффициент кратности замены колосников $K_{зам}$ – это отношение долговечности колосников с толщиной рабочей части B_1 к долговечности колосников с толщиной рабочей части B_2 . При этом будет справедливо уравнение

$$N_1 = K_{замB2/B1} N_2, \quad (15)$$

где $K_{замB2/B1}$ – целое число.

После подстановки уравнения (17) в формулу (16) получим

$$B_{(1)}/B_{(2)} = (K_{замB2/B1})^{\frac{1}{0,18m}}. \quad (16)$$

Подставив в уравнение (18) численное значение коэффициента m , получим возможный диапазон отклонений показателя степени уравнения (16) в диапазоне 0,5 ... 1,4. В результате имеем следующую зависимость [14]

$$B_{(1)}/B_{(2)} = (K_{замB2/B1})^{0,5 \dots 1,4}. \quad (17)$$

На основании анализа математического выражения (19) можно сделать следующие выводы:

с целью снижения простоев агломерационной машины в ремонте, связанным с заменой колосников, коэффициент кратности замены колосников $K_{замB2/B1}$ должен быть целым числом;

при изготовлении колосников с одного конструктивного материала, но с разной толщиной рабочей части B_1 , B_2 , долговечность колосников с толщиной рабочей части B_2 должна быть меньше долговечности колосников с толщиной рабочей части B_1 в $(K_{замB2/B1})^{0,5 \dots 1,4}$ раз.

Практически можно реализовать от одной до трех замен колосников с толщиной рабочей части B_2 в течение сохранения работоспособности колосников с толщиной рабочей части B_1 , т.е. коэффициент кратности замены колосников $K_{замB2/B1}$ имеет значение 1...3. При значении коэффициента кратности замены колосников $K_{замB2/B1} = 1$ толщина рабочей части колосников двух различных конструкций уровне $B_1 = B_2$. Выполняется одна замена колосников с толщиной рабочей части B_2 в течение сохранения работоспособности колосников с толщиной рабочей части B_1 , т.е. они равнонадежны. Это крайний случай, однако он наблюдается наиболее часто.

При коэффициенте кратности замены колосников $K_{замB2/B1} = 2$ в течение эксплуатации определенной партии колосников предполагается выполнить две замены колосников с толщиной рабочей части B_2 в течение сохранения работоспособности колосников с толщиной рабочей части B_1 . Соотношение толщины рабочей части колосников двух различных конструкций B_1/B_2 должно находиться в пределах соотношений (1,4: 1,0) - (2,7: 1,0).

При коэффициенте кратности замены колосников $K_{замB2/B1} = 3$ в течение эксплуатации определенной партии колосников предполагается выполнить три замены колосников с толщиной рабочей части B_2 при сохранения работоспособности колосников с толщиной рабочей части B_1 . Соотношение толщины рабочей части колосников двух различных конструкций находится в пределах $B_1/B_2 = (1,7: 1,0) - (4,7: 1,0)$.

Отдельным случаем использования найденного решения по выбору и обоснованию конструктивных размеров колосников агломерационных машин по критерию малоцикловой и термической прочности является обеспечения *равной долговечности колосников с разной толщиной рабочей части B_1 и B_2* . Необходимость в этом возникает при смене партии колосников, которые эксплуатируются на агломерационной машине, на новые. В этом случае на агломерационной машине некоторое время будут использоваться колосники двух разных партий. Здесь возникает необходимость выбирать такие конструкционные материалы для колосников с разной толщиной рабочей части B_1 и B_2 , которые могли бы обеспечить сопротивление усталости равному числу циклов воздействия высоких температур $N_1 = N_2$. При этом зависимость (13) примет такой вид

$$\left(\frac{\sigma_{-1K(1)}}{\sigma_{-1K(2)}} \right)^m \left(\frac{B_2}{B_1} \right)^{0,18m} = 1. \quad (18)$$

Из формулы (20)

$$\sigma_{-1K(2)} = \sigma_{-1K(1)} (B_2/B_1)^{0,18}. \quad (19)$$

Учитывая зависимость (10), уравнение (18) можно переписать так [15]

$$\sigma_{-1(2)} = \sigma_{-1(1)} (B_1/B_2)^{0,18}, \quad (20)$$

где $\sigma_{-1(1)}$ - предел выносливости материала колосников с толщиной рабочей части B_1 .

То есть, при необходимости обеспечения *равной долговечности колосников с разной толщиной рабочей части*, и изготовленных из различных конструкционных материалов, числовое значение величины предела выносливости материала $\sigma_{-1(2)}$ колосников с толщиной рабочей части B_2 , должно равняться произведению предела выносливости материала колосников $\sigma_{-1(1)}$ с толщиной рабочей части B_1 на величину отношения B_1/B_2 в степени 0,18.

Предел выносливости материала $\sigma_{-1(2)}$ колосников изменяется чаще всего путем использования дорогих легирующих элементов [13]. Так в работе [14] исследовалось влияние хрома на увеличение запаса прочности колосников массой 3,4 кг. При содержании 24,5-27,0% Cr высокотемпературное сопротивление окислению колосников является достаточным для достижения срока службы, превышающего три года. Авторы статьи [15] отмечают, что жаропрочные и износостойкие сплавы, применяемые для изготовления колосников спекательных тележек агломерационных машин, содержат 25-30% хрома и 1,5-2,0% остродефицитного никеля, что экономически не оправдано. Для колосников агломерационных машин ими разработан экономлегируемый сплав 65X20Г2С2АЮТП, эксплуатационная стойкость которого соответствует стойкости колосников, изготовленных из более дорогих сталей 75Х28Н2СЛ и чугунов ЧХ24ТЛ и ЧХ28Л.

Выводы и направления дальнейших исследований. При эксплуатации тележек агломерационных машин колосники подвергаются интенсивным воздействиям переменных температурных полей и механических нагрузок. На рабочей ветви агломерационной машины температура колосников достигает 1400-1450°C, а на холостой ветви - снижается до сезонных летне-зимних температур. Воздействие негативных факторов эксплуатации на колосники приводит к их химической коррозии, деформации рабочего тела колосников, потери их работоспособности. Цикличность действия высоких и низких температур является основной причиной выхода из строя колосников. Число циклов смены температур за срок службы машин относительно невелико (до $10^3 \dots 10^5$), и поэтому долговечность колосников лимитируется условиями малоциклового разрушения. Недостаточная долговечность колосников и низкая надежность решетки обусловлена условиями работы колосника, а также его конструктивными особенностями. Предложено использовать в качестве критерия рациональности конструктивных размеров колосников агломерационных машин показатель малоциклового и термической прочности. С целью снижения простоев агломерационной машины в ремонте, связанных с заменой колосников, коэффициент кратности замены колосников $K_{замB2/B1}$ должен быть целым числом. При изготовлении колосников с одного конструктивного материала, но с разной толщиной рабочей части B_1, B_2 , долговечность колосников с толщиной рабочей части B_2 должна быть меньше долговечности колосников с толщиной рабочей части B_1 в $(K_{замB2/B1})^{0,5 \dots 1,4}$ раз.

Список литературы

1. Астахов А.Г. Справочник агломератчика [Текст] / А.Г. Астахов, В.И. Мачковский, А.И. Никитин, Н.В. Федоровский. – Киев: Техніка, 1964, стр. 315-316.
2. Левицкий Д.А. Эксплуатация и ремонт механического оборудования агломерационных фабрик [Текст] / Д.А. Левицкий. – М.: Металлургиздат, 1963. – 252 с.
3. Вегман Е.Ф. Теория и технология агломерации [Текст] / Е.Ф. Вегман. — М.: Металлургия, 1974. — 288 с.
4. Коротич В.И. Теоретические основы технологий окискования металлургического сырья. Агломерация: учебное пособие. — 2-е, исправл. и дополн. [Текст] / В.И. Коротич, Ю.А. Фролов, Л.И. Каплун. — Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2009. — 417 с.
5. Yun Ping W.. Fatigue Analysis of Band Sintering Machine Trolley Grate Bars [Текст] / Ping W. Yun, L.H. Chang, Jiang L. Xue // Applied Mechanics and Materials, Vols. 246-247, pp. 47-51, 2013. December 2012.
6. Yun Ping Wei . Fatigue Analysis of Band Sintering Machine Trolley Grate Bars [Текст] / Ping Wei Yun , Lan Hu Chang , Jiang Liu Xue // Applied Mechanics and Materials, Vols. 246-247, pp. 47-51, 2013/ December 2012.
7. Учитель А.Д. Аналіз конструкцій колосників і колосникових решіток для конвеєрних випалювальних машин [Текст] / А.Д. Учитель, В.Г. Григор'єва, А.С. Іванов. - www.nbu.gov.ua/old_jm/natural/newtech/2008_4/articles/3-7.pdf.
8. Захарченко В.Н. Анализ конструкций колосников агломерационных машин [Текст] / В.Н. Захарченко, Н.Р. Руденко, К.А. Мусиенко, Р.Н. Руденко. - www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?].
9. Патент №120268 Україна. МПК C22B 1/20 F27B 21/06. Візок агломераційної конвеєрної машини / Рудь Ю.С., Кучер В.Г., Білоножко В.Ю.; власник ДВНЗ «Криворізький національний університет». – u 2017 04506; заяв. 10.05.2017; опублік. 25.10.2017. - Бюл. № 20. – 12 с.
10. Патент №121622 Україна. МПК F27B 21/06 F27B 21/08. Візок агломераційної конвеєрної машини / Рудь Ю.С., Кучер В.Г., Білоножко В.Ю.; власник ДВНЗ «Криворізький національний університет». – u 2017 06269; заяв. 19.06.2017; опублік. 11.12.2017. - Бюл. № 23. – 14 с.
11. Nilsson E. A. Thermal cycling of grate-link material for iron ore pelletizing process [Текст] / E. A. A. Nilsson, R. Tegman // Journal Article published 26 Jul 2016 in Iron making & Steelmaking volume 44 issue 4 on pages 269 to 280 // Research funded by Hallmark Lundbom Research Centre.
12. Биргер И. А. Расчет на прочность деталей машин: Справочник [Текст] / Биргер И. А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г. Б. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1993. — 640 с.
13. Гохвельд Д.А. Механические свойства сталей и сплавов при нестационарном нагружении. Справочник [Текст] / Д.А. Гохвельд, Генцов Л.Б., Кульчихин Е.Т. и др. – Екатеринбург: УрОПАН, 1996
14. Niegobauer G. O. Life of grate bars of sintering machines made of chromium alloys [Текст] / G. O. Niegobauer, B. A. Fel'dman, V. P. Sergeev, V. F. Noskova, P. D. Krikunenko // *Metallurgist* / May 1971, Volume 15, Issue 5, pp 290–292.
15. Чейлах А.П. Разработка и исследование нового экономлегированного сплава для колосников агломерационных машин [Текст] / А.П.Чейлах, С.В. Прекрасный, В.В. Климанчук, П.Н. Кириленко. – Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2008. – Вип. №18.

Рукопись поступила в редакцию 27.09.2019

А.В. ШАПУРИН, д-р техн. наук, проф.
Криворожский национальный университет

ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЗАРЯДОВ ВВ И КУСКОВАТОСТЬЮ ГОРНЫХ ПОРОД ВО ВЗРЫВНОМ РАЗВАЛЕ

Цель. Основной целью работы является составление математических зависимостей между параметрами расположения современных водоземлюсильных ВВ: Анемикса – 70, Анемикса – 80, Украинита – ПП-2Б, Эмонита – Н на уступах карьеров Кривбасса в горных породах различной крепости и блочности и качеством дробления горных пород во взрывном развале, для обеспечения регулируемого их дробления в различных технологических ситуациях.

Методы исследования. В работе применен комплексный метод выполнения исследований, который на основе известной крепости горных пород, плотности применяемого ЭВВ и его энергии, позволяет получить расчетные формулы для установления параметров расположения сетки скважин на уступе карьера и удельного расхода ВВ на дробление горных пород, а также на основе установленного в каждом экскаваторном забое количества негабаритных кусков приходящихся на 1000 м^3 отгруженных пород, позволяет определить выход негабарита и размера среднего куска во взрывном развале.

Научная новизна. Представлено ряд новых формул для вычисления различных технологических параметров. Их практическая ценность подтверждается тем, что в ряде случаев, формулы, полученные разными методами (аналитически или статистически) в технологических расчетах дают практически одинаковые результаты.

Практическая значимость. Практическая значимость работы заключается в обеспечении горных инженеров в технических отделах карьеров и научных сотрудников в различных НИИ и ВУЗах математическим аппаратом для установления прогнозируемого качества взрывных работ, или для корректировки показателей качества дробления на труднодробимых участках карьерного поля.

Результаты. Приведены новые расчетные формулы для определения важных технологических параметров размера сетки скважин, удельного расхода ВВ, размера среднего куска измельченных взрывом горных пород, содержания негабарита и представлены расчетные таблицы для широкого диапазона изменений крепости горных пород по шкале М.М. Протодяконова, а также их блочности.

Ключевые слова. Сетка скважины, удельный расход ВВ, коэффициент крепости горных пород, коэффициент равномерности дробления горных пород, размер среднего куска, выход негабарита.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-106-48-55

Проблема и её связь с практическими задачами. Буровзрывные работы – в настоящее время наиболее эффективный способ рыхления скальных горных пород перед выемкой. Наряду с общим удовлетворительным качеством дробления пород на горных предприятиях имеются карьеры, на которых объем кусков, превышающих кондицию по крупности, составляет 15-20 % общего объема взрывааемых пород. Для подавляющего большинства предприятий характерна неравномерность дробления, т. е. значительная вариация размера среднего куска в блоках горных пород одной разновидности. Это свидетельствует о необходимости совершенствования методов управления качеством дробления горных пород, разработка которых базируется на достоверной и конкретной информации.

Правильное принятие решений при проектировании горных предприятий, обеспечение производительной работы оборудования немислимы без детальной информации о свойствах горных пород данного месторождения и их влиянии на эффективность технологических операций.

Эффективность бурения шпуров из скважин, износ бурового инструмента, а также броней дробилок в наибольшей степени определяются свойствами пород в образце: твердостью, абразивностью, зернистостью, вязкостью – поскольку зона воздействия рабочего органа ограничивается небольшими размерами, не превышающими параметры монолитной отдельности в массиве.

При взрывном дроблении уступов пород зона разрушения одного заряда в зависимости от его диаметра и прочих условий взрывания, изменяется от 3,5 до 11 м, а для серий зарядов во взрывном блоке иногда превышает 1 км. На конечный результат в данном случае, кроме названных, влияют свойства пород в массиве – трещиноватость, разделяющая еще до взрыва массив на блоки различной крупности, ориентация систем трещин относительно свободной поверхности и направления отбойки, вариация интенсивности трещиноватости и прочностных свойств пород в пределах одного пласта, перемежаемость пластов с различными свойствами.

Анализ публикаций. За последние 10-15 лет отечественными и зарубежными учеными решены важные теоретические и практические задачи в области взрывания скважин и зарядов

для различных горно-геологических условий разработки полезных ископаемых. Обоснованы и усовершенствованы взрывчатые вещества, разработаны рациональные схемы монтажа сети скважинных зарядов, их конструкции, методы расчета параметров взрывных работ. Рядом авторов предложены методы оперативного управления комплексом буровзрывных работ на основе минимизации стоимостных затрат и энергоемкости технологических процессов.

Анализ существующих методов оценки гранулометрического состава горной массы, методов прогнозирования кусковатости взрывных развалов, их влияния на процессы бурения, взрывания, экскавации, разделки негабаритов показывают, что эти факторы не в полной мере учтены. Это не позволяет в современных условиях жесткой конкуренции использовать такие модели для оперативного управления основными процессами добычи полезного ископаемого.

Постановка задачи. Необходимо решить актуальную научно-практическую задачу установления закономерностей разрушения горных пород под действием взрывных нагрузок. При этом следует учесть дефекты структуры массивов, влияния на этот процесс параметров зарядов, свойств ВВ. Необходимо выполнить системную увязку между собой управляющих параметров и состояний управляемых объектов. Это позволит прогнозировать гранулометрический состав раздробленных пород во взрывном развале. Решений такой актуальной научно-технической задачи позволит повысить конкурентно способность отечественных горнорудных предприятий, что весьма важно для экономики Украины.

Изложение материала и результаты. Удельный расход – количество ВВ, приходящееся на единицу объема горных пород, обеспечивает достижение поставленных технологических целей, например, рыхления пород перед экскавацией, или доставки взрывом. В любом случае значение удельного расхода ВВ наиболее точно определяют экспериментально, т.е. по данным действующего промышленного предприятия, по которому выполняется проектирование БВР.

При отсутствии этих данных, или при освоении нового вида ВВ, удельный расход можно определить по формуле, предложенной автором совместно с П.Я. Кириком [10], кг/м³

$$q = (10,5 + 0,05 \times f) \sqrt[4]{\Delta f^3 / Q^3}, \quad (1)$$

где $(10,5 + 0,05f)$, кДж^{0,75}/м^{2,25}, – эмпирический и размерностный коэффициент; f – коэффициент крепости горных пород по шкале проф. М.М. Протодяконова; Δ – плотность ВВ, для широко применяемых эмульсионных ВВ находится в пределах 1100-1245 кг/м³, а для Анемикс – 70 который применялся нами в расчетах: 1220 кг/м³; Q – теплота взрыва (энергия), для того же ВВ 3117 кДж/кг (табл. 1).

Таблица 1
Расчетные значения удельного расхода ВВ для широкого диапазона крепости горных пород и ЭВВ Анемикс - 70

f	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32
$q, \text{кг/м}^3$	0,505	0,735	0,946	1,1484	1,346	1,541	1,733	1,925	2,116	2,306
$q_1, \text{кг/м}^3$	0,509	0,7595	0,9481	1,1518	1,3464	1,5441	1,735	1,9251	2,1145	2,3047

При применении приведенных значений удельного расхода ВВ и минимальных отклонениях параметров расположения зарядов в массиве горных пород от проектных значений прогнозируемое значение линейного размера среднего куска в развале горных пород (d_{cp}), может быть вычислено по эмпирической формуле разработанной автором, м

$$d_{cp} = ((4,2 + 0,1f)D \times \Delta^{0,1}) / (q + 1,38) Q^{0,345}, \quad (2)$$

где D – размер среднего структурного блока в массиве горных пород, м (табл. 2).

Таблица 2
Расчетные значения линейного размера среднего куска

f	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32
$d_{cp}, \text{м}$	0,032	0,1066	0,178	0,245	0,310	0,373	0,435	0,496	0,556	0,615

Формула (2) содержит трудно измеряемый с высокой точностью натурными измерениями параметр D . Для уточнения его значения на различных участках карьера предлагается проводить экспериментальные измерения, а при экскавации горных пород полученных развалов тщательно устанавливать количество негабаритных кусков на 1000 м³ отгруженных пород. Результат, при этом, получается дробным, например $N=5,38$, или 4,13 и др. Таким его и следует использовать при вычислении выхода негабарита по уравнению регрессии – формула (3), % (табл. 3)

$$Y_{\geq 1,2} = 0,003N^3 + 0,02N^2 + 0,02N + 0,02. \quad (3)$$

Таблица 3

Результаты расчетов по формуле (3)

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Y_{\geq 1,2}$	0,0646	0,1728	0,3662	0,6664	1,095	1,672	2,4276	3,0072	4,5254	5,92

Нелинейный рост выхода негабарита объясняется наблюдаемым на практике увеличением размеров кусков при возрастании их количества в забое. Естественно, вычисления выхода негабарита могут быть выполнены при любом дробном значении N . Имея точное значение выхода негабарита, мы можем вычислить фактическое значение размера среднего куска в развале горных пород, используя уравнение Розина-Раммлера, %

$$Y_{\geq 1,2} = 100e^{-(1,2/d_{cp})^n}, \quad (4)$$

где e – основание натуральных логарифмов; n – показатель равномерности дробления пород, изменяющийся в пределах 1,0–1,75.

Для вычисления этого показателя можно воспользоваться формулой Каннингема В. Б. [11]. Характерными особенностями коэффициента равномерности дробления n являются:

его изменение в ограниченных пределах $1,75 \div 1,0$;

максимальное значение при минимальной крепости горных пород $f = 2$, а минимальное – в крепчайших породах;

его уменьшение с ростом крепости пород неравномерное: сначала быстрое, затем замедляется, достигая минимума;

фактор крепости пород является постоянно действующим, его можно учесть с помощью табл. 4.

Есть другие факторы, влияющие на неравномерность дробления горных пород, их следует учитывать индивидуально на основе имеющегося опыта работы, или изучая В.Б. Каннингема.

Таблица 4

Значения показателя равномерности дробления горных пород, в соответствии с коэффициентом их крепости

Значение f	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
Значение n	1,75	1,59	1,46	1,35	1,26	1,16	1,11	1,09	1,05	1,03	1,024	1,018	1,012	1,006	1,002	1,0

В формуле (4), при известном точно установленном выходе негабарита и установленном показателе n , неизвестным оказывается фактический линейный размер среднего куска во взрывном развале, который нами вычислен по формуле (2) и значения занесены в табл. 2. После этого, используя формулу (2), вычисляем фактические значения размеров структурных блоков в массивах горных пород на конкретных участках карьера D , которые другими способами определить с высокой точностью трудно, и применяем их при последующем выполнении взрывных работ для выполнения вычислений по формулам, содержащим D . Они занесены в табл. 5.

Таблица 5

Расчетные значения размеров структурных блоков в массивах, в соответствии с их крепостью

f	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32
$D, \text{ м}$	0,1	0,35	0,6	0,85	1,1	1,35	1,6	1,85	2,1	2,35

Уравнение (2), кроме других величин содержит значение удельного расхода ВВ, которое будучи решенным относительно этого показателя, примет вид

$$q_1 = ((Dd_{cp} \times Q^{0,345}) / (4,2 + 0,1f) \Delta^{0,1}) - 1,38, \text{ кг/м}^3. \quad (5)$$

В табл. 1 приведены значения удельного расхода ВВ, полученные по этой формуле. Они хорошо согласуются с вычисленными по формуле (1). Это не случайно, и только свидетельствует в пользу того и другого подхода к определению удельного расхода ВВ. Иерархически таким же важным показателем, как удельный расход ВВ, является параметр сетки скважин (табл. 6), назовем его W_2 , в отличие от W_1 – линии сопротивления по подошве перед первым рядом скважин. W_2 может быть определен по следующей формуле (6), м

$$W_2 = (1,37 - 0,11 \ln f) d_{zap} \times \sqrt[4]{\Delta Q / f}. \quad (6)$$

Расчетные значения параметра сетки скважин W_2

f	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32
W_2	9,20	7,8	6,95	6,4	5,9	5,56	5,27	5,02	4,81	4,63
W_{2a}	9,15	7,8	7,0	6,44	6,0	5,68	5,41	5,18	4,93	4,7

В этой же табл. 6 под символом W_{2a} содержатся значения параметра сетки скважин, рассчитанные с учетом факторных признаков: d_{cp} ; D ; а также высоты уступа H_y и длины заряда L_{zap} по формуле приведенной ниже, м

$$W_{2a} = d_{zap} \times \sqrt{(0,785 \times \Delta^{0,75} \times Q^{0,75} \times d_{cp} \times L_{zap}) / ((0,9 \times f^{1,19} + 0,6 \times f^{0,19}) \times D^{0,61} \times H_y)}. \quad (7)$$

Введение в формулу (7) значений размера структурного блока в массиве D , а также размера среднего куска во взрывном развале d_{cp} позволяет обеспечивать прогноз кусковатости в проектируемом к взрыву блоке с учетом структурных особенностей взрывааемых горных пород. Относительные отклонения рассчитанных параметров сетки скважин по варианту W_{2a} в сравнении с предыдущим вариантом не превышают 2%. В формуле (7) присутствует параметр – длина заряда L_{zap} которую вычисляли по формуле, м

$$L_{zap} = W_2^2 \times H_y q / p, \text{ где } p = 3,14 d_{zap}^2 \times \Delta / 4. \quad (8)$$

Все изложенное сначала статьи включая вычисления по формулам (1-8), с формированием табл. 1-6 относится к последующим рядам в каждом взрывном блоке, где скважины расположены равномерно.

В особом положении находится первый ряд скважин, в котором при проектной высоте уступа 15 м сопротивление действию взрыва на уровне подошвы уступа постоянно меняется от 8 до 20 метров.

Такой широкий диапазон изменений в основном объясняется постоянно изменяющейся структурой слоистых горных пород, часто осложненных складчатостью высоких порядков. Взглянем на таблицу 6, в которой для очень крепких пород $f=14$ расстояние между зарядами диаметром 0,256 м, рекомендуется 6,4 м, а в крепчайших породах $f=20$ – 5,6 м, а в особо крепких $f=32$ – 4,63 м; сравним эти значения с ЛСПП пород перед 1-м рядом – 8-20 м.

Не случайно, в паспорте на выполнение БВР в карьере Ингулецкого ГОКа одна страница уделена сложным ситуациям, возникающим перед первым рядом скважин.

На этой странице (рис.1) представлены методы использования групп вертикальных скважинных зарядов: 2-х, 3-х и даже 4-х сближенных между собой до расстояний 1,5-2,5 метра, воплощая идею, что группа скважин, срабатывающих одновременно действуют как одна скважина эквивалентная по вместимости ВВ большого диаметра и способная преодолевать большие сопротивления по подошве уступа (рис.1).

Достоинство объясняется просто: группа вертикальных сближенных скважин, несомненно, преодолеет большее сопротивление, чем одиночная скважина.

Однако есть много недостатков:

трудности бурения сближенных скважин, шлам от последующих скважин затекает в устья уже выбуренных;

не контролируется несомненное расхождение концов скважин на уровне подошвы уступа, их совместное срабатывание становится менее эффективным;

значительно увеличивается сейсмика при срабатывании группы зарядов.

Предлагается более простой вариант – одиночные наклонные скважины.

Недостаток один – снижается скорость шарошечного бурения. В остальном одни достоинства.

Ниже приводится табл. 7 значений уменьшения сопротивлений взрыву на уровне подошвы уступа в зависимости от угла наклона скважин к вертикали.

Данные табл. 7 убеждают, что если даже ЛСПП = 21 м, то применение наклонной скважины под углом 35° к вертикали трансформирует ЛСПП = 21 м в новое его значение 10,5 м, которое сравнительно легко преодолевается. Все остальные значения завышенных ЛСПП, от 12 до 20 м наклонными скважинами преодолеваются легко.

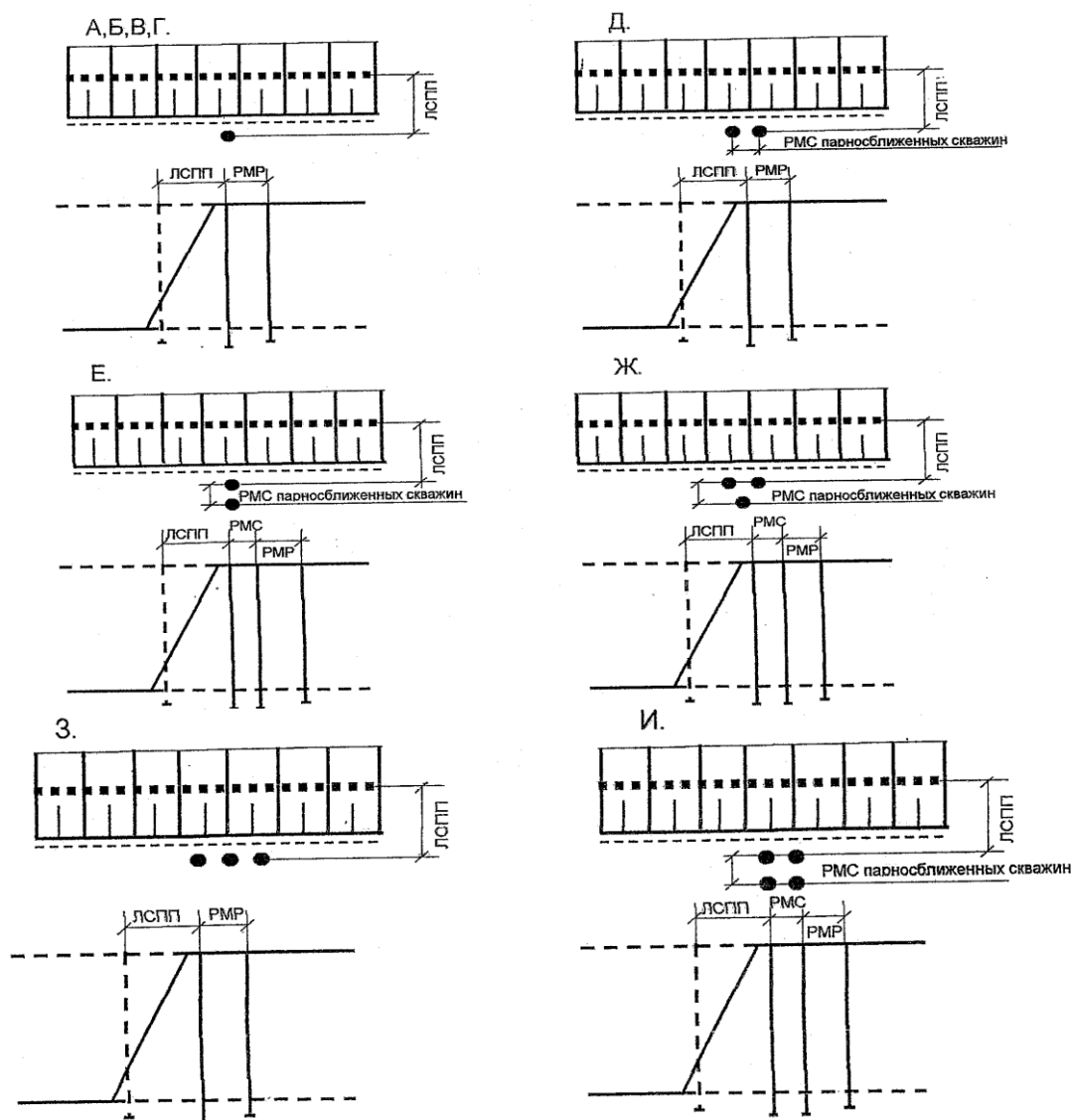


Рис.1. Расположение скважин первого ряда: ● – буровая скважина;
 ■■■■ – граница ранее взорванных скважин; — — — — — верхняя бровка уступа

Таблица 7

Значения уменьшения сопротивлений взрыву на уровне подошвы уступа, м,
 в зависимости от угла наклона скважин к вертикали, град

Угол наклона скважины к вертикали, град.	5	10	15	20	25	30	35
Приближение заряда к нижней бровке уступа, м	1,3	2,6	4,0	5,5	7,0	8,7	10,5

При взрыве наклонных зарядов условия использования отраженной взрывной волны более благоприятны. Профессор Б. Кохановский объясняет это обстоятельство следующим образом. При взрыве заряда ВВ, помещенного на какой-то глубине от поверхности, в среде возникают напряжения сжатия, вызванные динамическим ударом и статическим давлением газов взрыва, и происходят деформации, интенсивность которых вблизи скважин достаточна для разрушения породы; по мере удаления от заряда интенсивность их уменьшается до полного затухания. Напряжения сжатия распространяются от заряда до тех пор, пока не отразятся от боковой поверхности уступа. В этом случае возникают напряжения, за счет которых происходит деформация породы уже в направлении от поверхности к заряду. Поскольку сопротивление породы при растяжении в 10-30 раз меньше, чем при сжатии, отраженная волна способна произвести значительные объемы разрушения породы.

Сравним три уступа одинаковой высоты, но с различным углом наклона скважин. При детонации ВВ на стенке скважины образуется взрывная волна, распространяющаяся в сторону боковой поверхности. При вертикальной скважине отражается только 50% взрывной волны, а остальные 50% уходят в глубь массива и встречают неограниченное сопротивление. При угле наклона скважины 22,5° от вертикали около 72% энергии взрывной волны может отразиться и 28% теряется. При угле 45° вся энергия взрывной волны отражается от боковой поверхности уступа. Следовательно, в этом случае по сравнению с вертикальной скважиной можно использовать вдвое больше энергии для разрушения породы за счет напряжений растяжения. В кратком справочнике по открытым горным работам [12] приводится производственная информация о работе станка СБШ-250 с наклонным упорным домкратом (табл. 8).

Таблица 8

Показатели работы станка СБШ-250 с наклонным упорным домкратом

Показатели	Угол наклона скважины к горизонту, градус			
	90	80	70	60
Суммарная длина, пробуренных скважин, м	487	937	512	293
Чистая скорость бурения, м/ч	13	12,95	12,8	12,65
Производительность станка, м/смену	75,7	73,8	71	68,6
Производительность станка по обуренной горной массе, м ³ /смену:				
в породах III категории по взрываемости	2570	3810	3970	3980
то же, IV категории	2420	2950	3000	3020

Ниже приведен учет негабарита, который выполнялся работниками геологической службы карьера по составленной нами методике. При этом по завершению учета у конкретного экскаватора, диспетчеру сообщали номер экскаватора, количество бутов и текущее время, формирующее объем отгрузки, а на последнем буге ставилась метка краской из баллончика, как ориентир для учета в последующее посещение. Такие замеры выполняются два раза в неделю (преимущественно). Приведенный учет нужно четко соотносить с типами горных пород в отгружаемом блоке. По мере накопления информации может быть составлена более полная таблица, как сведения о результатах взрывного дробления для всех работающих и, как инструмент для пользования, например, начальниками участков, руководством карьера, для расчетов по оплате труда подрядчиков, для уточнения паспортов БВР (табл. 9).

Таблица 9

Информация о количестве, среднем размере и объеме негабаритов в карьере ИнГОКа

№ экскаваторов	Месячная производительность, тыс м ³	Количество негабаритов, шт	N _{шт} /1000, м ³	Усредненный максимальный размер негабаритов, м	Средний объем негабаритов, м ³	Месячный объем неотгруженных негабаритов, м ³
25	90,1	433	4,806	3,7	9,12	3948,96
26	90,7	449	4,95	3,75	9,24	4002,32
27	142,2	199	1,4	1,86	0,88	175,12
28	96,3	419	4,35	3,24	5,89	2467,91
29	95,9	157	1,637	1,5	0,61	95,77
30	95,8	297	3,1	2,56	3,54	1051,38
92	119,6	305	2,55	2,4	2,49	759,45
99	78,9	473	5,6	4,02	11,52	5448,96
91	109,7	314	2,86	3,16	5,66	1777,14
86	98,5	427	4,335	3,28	6,34	2708,75
74	110,2	217	1,97	1,92	1,27	275,5
69	103,2	283	2,74	2,73	3,65	1032
66	78,6	290	3,69	2,33	2,28	661,03
68	89,3	457	5,118	4,09	12,34	5652,69

Выводы. 1. Приведена новая формула для определения линейного размера среднего куска (d_{cp}) во взрывном развале, в зависимости от коэффициента крепости горных пород, размера естественного блока разрушаемых горных пород, плотности и энергии применяемого ЭВВ, и удельного его расхода, которая при изменении крепости от 5 до 32 и блочности от 0,1 м до 2,35 м дает следующие результаты:

$f = 5:$	$d_{cp} = 0,032 \text{ м};$
$f = 14:$	$d_{cp} = 0,245 \text{ м};$
$f = 20:$	$d_{cp} = 0,373 \text{ м};$
$f = 26:$	$d_{cp} = 0,496 \text{ м};$
$f = 32:$	$d_{cp} = 0,615 \text{ м}.$

2. Получена новая формула для определения выхода негабарита в зависимости от количества негабаритных кусков на 1000 м³ отгруженных пород, дающая следующие результаты:

- 1 негабарит на 1000 м³ отгрузки – $\gamma_n = 0,043 \%$;
- 4 негабарита на 1000 м³ отгрузки – $\gamma_n = 0,532 \%$;
- 7 негабаритов на 1000 м³ отгрузки – $\gamma_n = 2,1 \%$;
- 10 негабаритов на 1000 м³ отгрузки – $\gamma_n = 5,2 \%$.

3. Получена формула для определения параметра сетки скважин в последующих рядах взрывного блока в зависимости от: диаметра заряда; коэффициента крепости пород; плотности заряжания и энергии применяемого ЭВВ.

Формула дает следующие результаты для зарядов 0,256 м

$f = 5:$	$W_2 = 9,2 \text{ м};$
$f = 14:$	$W_2 = 6,4 \text{ м};$
$f = 20:$	$W_2 = 5,7 \text{ м};$
$f = 26:$	$W_2 = 5,0 \text{ м};$
$f = 32:$	$W_2 = 4,6 \text{ м}.$

4. Получена формула для определения удельного расхода ЭВВ (q), дающая следующие результаты:

$f = 5:$	$q = 0,5052 \text{ кг/м}^3;$
$f = 14:$	$q = 1,1484 \text{ кг/м}^3;$
$f = 20:$	$q = 1,541 \text{ кг/м}^3;$
$f = 26:$	$q = 1,925 \text{ кг/м}^3;$
$f = 32:$	$q = 2,3 / \text{кг/м}^3.$

5. Получены формулы для определения (W_2) и (q) с включением в них размера среднего куска во взрывном развале (d_{cp}) и естественного блока в массиве (D), длины заряда ($L_{зар}$) и высоты уступа (H_y) при этом результаты вычислений по ним отличаются от указанных выше пункты 3 и 4 на 1-3%.

6. Предлагается применение наклонных скважинных зарядов, в первом ряду взрывных блоков, для преодоления высоких значений ЛСПП. Приводятся убедительные свидетельства как теоретические, так и практические.

Список литературы

1. **Dahlhielm, S., Franklin, J.A., Katsabanis, P.D.** Промышленное применение анализа изображений. Система IPACS для измерения фрагментации взрыва. Balkema, Rotterdam, 1996, pp 59-65.
2. **Maerz, N.H., Palangio, T.C. and Franklin, J.A.** WipFrag image based granulometry sustem. Proceedings of the FRAGBLAST 5 Workshop on Measurment ofblast fragmentation, Montreal, Quebec, Canada, 23-24 Aug., 1996.
3. **Eden, D.J., and Franklin, J.A.** Fusion and disintegration problems., 1996.
4. **Cochrane, Wiliam G.** Sampling Tehniques. New York: John Wiley, and Sons, inc, 1977.
5. **Kemeny, J.M.** Practical technique for determiningthe size distribution of blasted benches, waste dump and heap leach sites. Min. Engg., 1994, pp 1281-1284.
6. **Spathis, A.T.** 2004. Personal cjmunication on paper to be published in Fragblast journa, 2005.
7. **Ещенко А.А., Шапурин А.В., Полищук Г.К., Грибенко Н.Г.** К оценке кусковатости горных пород фотометрическими методами. Горный журнал. Изв. ВУЗов, 1972, №11.
8. **Шапурин А.В., Васильчук Я.В.** Качество дробления горных пород как результат комплексного влияния различных факторов.// Весник КНУ, -Кривой Рог, 2013.-вып.32.
9. **Кузнецов В.М.** Математические модели взрывного дела. Новосибирск, 1977.
10. **Шапурин О.В., Кирик П.Я.** Руйнування гірничих порід вибухом: Навч. Посібник. К. ІСДО, 1995. 280с.
11. **Каннингем К.В.** Модель Куз-Рам – 20 лет спустя. Европейская федерация инженеров взрывников: материалы брайтонской конференции, - Брайтон, 2005.-с.201-210.
12. **Мельников Н.В.** Краткий справочник по открытым горным работам. – М., Недра.

Рукопись поступила в редакцию 31.10.2019

ПИТАННЯ ЯКІСНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ АРХІТЕКТУРНОГО СЕРЕДОВИЩА У ВИШАХ

Мета. Метою даної роботи є показати необхідність поновлення об'ємно-просторової організації архітектурного середовища вищих навчальних закладів в умовах комплексної реконструкції або якісної модернізації, поставити завдання і методи дослідження.

Методи дослідження. В представленій роботі виконано детальний аналіз сучасного стану архітектурного середовища у вищих навчальних закладах; аргументована необхідність поновлення об'ємно-просторової організації архітектурного середовища вишів в умовах комплексної реконструкції або якісної модернізації, поставлені відповідні завдання та визначені відповідні методи дослідження.

Наукова новизна. Акцентуація саме на питаннях виконання якісної модернізації складає актуальність роботи. Її метою є створення більш якісного та сучасного предметно-просторового середовища вишу, впровадження інноваційних технологій у науковий та освітній простори, забезпечення динамічного взаємозв'язку між людиною і середовищем.

Практична значимість. Відзначено, що архітектурне середовище будівель вишів знаходиться в нерозривній залежності від змін, що відбуваються в різних сферах діяльності суспільства. Переосмислення підходів до формування сучасного архітектурного середовища для вищої освіти зумовлює вдосконалення та подальший розвиток архітектури вишу. Визначені основні прогресивні підходи та напрямки якісної модернізації архітектурного середовища вишів в умовах реконструкції, розглянуті основні принципи, які допоможуть у вирішенні цього питання. результати роботи зацікавлять всіх фахівців та спеціалістів, що задіяні у освітньому процесі, архітектурній та будівельній галузях.

Результати. Встановлено, що в умовах реконструкції архітектурного середовища вищих навчальних закладів достатньо велика необхідність та більш доцільне (з точки зору капітальних витрат) виконання саме якісної модернізації зовнішнього та внутрішнього архітектурного простору, так як освіта і наука є частиною основного фундаменту функціонування і процвітання регіону та навіть країни в цілому.

Визначені основні прогресивні підходи та напрямки якісної модернізації архітектурного середовища вишів в умовах реконструкції, розглянуті основні принципи, які допоможуть у вирішенні цього питання. Також для вирішення низки існуючих проблем поставлені завдання і методи дослідження даної теми.

Ключові слова: реконструкція, якісна модернізація, архітектурне середовище, інновації, науковий і освітній простори, вищий навчальний заклад.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-106-55-59

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Насьогодні в сучасних умовах розвитку і функціонування освітньої діяльності виникають проблеми, пов'язані з організацією якісного архітектурного середовища вишу, які піддаються реконструкції, а частіше модернізації, як менш витратному процесу.

У нових умовах безперервної трансформації соціальної та економічної сфери необхідно розглядати вищі навчальні заклади з нової точки зору. Архітектурний образ через просторові форми і планувальну структуру зобов'язаний виражати домінуючі в суспільстві уявлення про сучасну роль науки та освіти. Наука і освіта на сьогоднішній день є фундаментом для будівництва сучасного інноваційного світу. Нові підходи, ідеї, різні відкриття та дослідження допомагають вирішити безліч проблем сучасного світу. Для поліпшення якості наукового процесу та результату потрібне переосмислення ролі архітектурного середовища вищого навчального закладу як такого. Організація процесу навчання тісно пов'язана і безпосередньо залежить від організації предметно-просторового середовища вишу. Вдала побудова системи внутрішнього об'ємно-просторового та зовнішнього облаштування території неодмінно дадуть значимі результати.

Аналіз досліджень і публікацій. В рамках даної проблеми окремі її аспекти і прояви були раніше розглянуті та вивчені вітчизняними вченими. Так, питання реконструкції архітектурного середовища розглянуті в роботах Солобая А.П. [5]. Питання формування простору університетських закладів розглянуті в публікаціях Козоріза Б.І. та Ковальського Л.М. [2]. Питання формування якісного архітектурно-просторового середовища з урахуванням архітектурних, екологічних та містобудівних чинників розглядалися у роботах Зеньковича Н.Г. [1], Кравцова В.Л., Максимюка Т.М. [3], Шимка В.Т. [6]; з урахуванням потреб маломобільних груп в роботах Шолуха Н.В. [8]. Але на сьогоднішній день не достатньо вивчені проблеми комплекс-

ної реконструкції або модернізації вищих навчальних закладів з позиції сучасної інтеграції в середовище, яке стрімко змінюється.

Постановка завдання. Показати необхідність поновлення об'ємно-просторової організації архітектурного середовища вищих навчальних закладів в умовах комплексної реконструкції або якісної модернізації, поставити завдання і методи дослідження.

Викладення матеріалу та результати. Архітектурне середовище будівель вишів знаходиться в нерозривній залежності від змін, що відбуваються в різних сферах діяльності суспільства. Переосмислення підходів до формування сучасного архітектурного середовища для вищої освіти зумовлює вдосконалення та подальший розвиток архітектури вишу. Об'ємно-просторова організація архітектурного середовища вищих навчальних закладів в умовах реконструкції, а частіше модернізації - це в першу чергу: впровадження інноваційних технологій у науковий та освітній простори; їх інтеграція у існуючі системи, що призводить до трансформації та оновлення об'ємно-просторової організації архітектурного середовища вищих навчальних закладів; забезпечує динамічний взаємозв'язок між людиною і середовищем [1, 10].

З огляду на те, що багато вищих навчальних закладів пострадянського простору були під впливом радянської системи, до сих пір відчуються відгомони минулого, що на сьогодні не відповідає сучасним вимогам і тенденціям. Якщо сама система освіти і науки поступово переходить на світові чи європейські стандарти, а де і зовсім вже підлаштувалася під сучасні інноваційні методи, але на жаль цього не скажеш про облаштування самого середовища навчальних закладів. Організація архітектурного середовища таки зависла на стадії переходу, а інколи і зовсім залишилася вірною тенденціям минулого століття, що вступає в дисонанс з сучасними методами навчання, тим самим негативно впливаючи на всю освітню систему, яка є важливою частиною для розвитку і процвітання регіону та всієї країни.

Освітні об'єкти повинні створювати середовище, яке оптимально підходить для складних процесів навчання, виховання, побуту, суспільної діяльності, творчості, фізичного розвитку, культурного вдосконалення, які беруть участь у формуванні молодих фахівців. Будинки й корпуси вишів створюють систему, яка враховує динаміку учбового і наукового процесу та дозволяє розвивати навчальний заклад шляхом впровадження універсальних архітектурно-планувальних рішень, змінювати і трансформувати технологію й устаткування, удосконалювати технічну оснащеність в процесі експлуатації [2].

Умови, що сприяють найкращому функціонуванню вищих навчальних закладів, є основою для створення вимог до формування їх архітектурного середовища. Таке середовище повинно володіти:

- ефективним функціональним зонуванням [2];
- динамічністю архітектурного простору і можливостями його трансформації [1];
- яскравим архітектурно-художнім образом [1];
- місцями для заняття спортом, як на повітрі, так і в приміщеннях [2];
- великою кількістю озелених і водних поверхонь [3];
- наявністю зон відпочинку;
- безпечним перебуванням на території установи;
- легкодоступністю до всіх корпусів даного об'єкту.

Наприклад, сучасний стан головних вузів Криворіжжя вимагає не тільки кардинального оновлення елементів благоустрою (а де й повної заміни), а й оновлення і вдосконалення архітектурного середовища в цілому шляхом застосування сучасних композиційних рішень, сучасних малих архітектурних форм, можливостей сучасних матеріалів, різних технологічних новинок. Зокрема, у Криворізькому національному університеті останніми роками виконувались конкретні проектні напрацювання по якісному поліпшенню існуючого благоустрою академічної площі та модернізації фасадів одного з учбових корпусів, але їх реальне втілення ще попереду. Впровадження інноваційних технологій в процес функціонування цілого комплексу навчального закладу дають можливості для більш якісного використання його простору, що послужить більш продуктивної діяльності для отримання високих результатів.

Якість архітектурного середовища вишу визначається не тільки будівлями та спорудами, які входять до нього, їх зовнішнім і внутрішнім виглядом, але і, за великим рахунком, відкритий простором, його конфігураціями та загальним композиційним рішенням. Головну роль для комфортного соціального простору і створення іміджу мають «центральні» громадські просто-

ри і рекреаційні території. Для подальшого успішного розвитку вишу особливе значення мають резервні території. «Центральні простори» - це ті простори, які найчастіше оточують основні об'єкти навчального закладу (основні корпуси, адміністрація, бібліотека і т.д.) і вони служать для зібрання студентів, різних публічних виступів, урочистих заходів, зборів і просто активного проведення часу. Простори тихої зони - це звичайно ж паркові рекреаційні простори, що використовуються для занять і відпочинку, які необхідні навчальному комплексу для підтримки сприятливого комфортного середовища [3]. Озеленені й водні поверхні також відіграють велику роль в створенні цілісного і якісного образу архітектурного середовища будь-якого об'єкта, а тим більше такого значущого для суспільства і країни як вища школа.

Так само необхідно виділяти простори для транспорту, пішоходів, спеціальних інженерних зон, які служать для зв'язку з різними ділянками всього комплексу, забезпечуючи найкоротший і безпечний шлях для пішохідного і транспортного руху, враховуючи і уникаючи транзитних потоків. Дуже важливо продумувати концептуальну просторову організацію території вишу для ефективного і повноцінного його функціонування [2].

Сучасні малі архітектурні форми і пристрої освітлення створюють сприятливу атмосферу у благоустрої території. Правильний підхід до застосування освітлювальних установок, застосування енергозберігаючих технологій якісно наповняють вигляд вишу у вечірній час [4]. ТанDEM малих архітектурних форм зроблять естетично привабливим освітню установу, доповнять його архітектурно-художні якості.

Модеонізація “зеленої” архітектури вишу є також дуже важливим напрямом розвитку діяльності вишу, оскільки його території займають важливе місце в цілісній структурі. Вони створюють середовище, яке оточує людину та має відповідати потребам функціонального та естетичного комфорту. В середовищі вишу реалізуються комунально-господарські, навчальні і рекреаційні процеси життєдіяльності і тому зелений простір різного розміру та типу є поліфункціональним, і що більше число функцій він виконує, то значною є його роль у системі озеленення [7].

Кожний елемент ландшафту виконує такі основні функції, як:

бере участь в організації території та формуванні архітектурно-художнього образу;

забезпечує рекреаційні потреби;

захищає від транспортного та інших шумів, від вихлопних газів та пилу;

створює оптимальні умови мікроклімату, регулює температурно-вологісний, радіаційний та вітровий режими в межах об'єктів вишу і на прилягаючих територіях.

В основу озеленення території покладаються архітектурно-художні принципи, які забезпечують не лише естетизацію довкілля, але й покращують його санітарно-гігієнічні й архітектурно-планувальні параметри. Взаємозв'язок простору, площини й об'ємів виражається об'ємно-просторовою композицією, заснованою на загальних закономірностях побудови ландшафту. При вирішенні композиційних завдань необхідно враховувати цілий ряд властивостей, якими володіють просторові форми різних видів озеленення.

Таким чином при створенні нового сучасного образу академічного містечка вишу засобами ландшафту необхідно досягати за допомогою зелених об'єктів якнайбільшого психологічного комфорту відвідувачів та гармонії усіх компонентів благоустрою – і природних і штучних[9]. Розробляючи кожний із проектних варіантів якісної модернізації вирішення території, потрібно запропонувати новий образ, який відповідає сучасним тенденціям у проектуванні “зеленої” архітектури та дасть змогу створити функціонально достатнє та неповторне середовище.

Так само при формуванні архітектурного середовища вищого навчального закладу необхідно враховувати потреби маломобільних груп населення, так як вища освіта повинна бути доступною для всіх. Адаптований простір також для людей з обмеженими можливостями дасть можливість зручного і комфортного перебування на території навчального закладу [8].

Крім того, у ДБН В.2.2-17:2006 «Будинки і споруди. Доступність будинків і споруд для маломобільних груп населення» містяться відповідні вимоги до проектування та реконструкції цивільних (житлових та громадських) будинків і споруд, вимоги до облаштування земельних ділянок, де враховуються різні види тактильних засобів на пішохідних шляхах; облаштування автостоянок; спорудження сходів і пандусів, світлової та звукової інформуючої сигналізації ліфтів та підйомників; вимоги до світлової застосування опоряджувальних матеріалів для організації шляхів евакуації та пожежонебезпечних зон. Саме ці моменти необхідно обов'язково враховувати при проведенні якісної модернізації освітнього простору.

Всі ці критерії є фундаментом для забезпечення якісної працездатності усіх учасників освітнього процесу. В умовах реконструкції або модернізації перетворити простір набагато складніше, так як вже сформоване середовище має свій характер, наповнений як позитивним, так і негативним змістом.

Для вирішення проблем об'ємно-просторової організації архітектурного середовища вишів в умовах якісної модернізації необхідно провести відповідні наукові дослідження.

Для цього ставляться наступні завдання, як:

виявити передумови об'ємно-просторової організації архітектурного середовища вищих навчальних закладів;

дослідити вітчизняний і зарубіжний досвід об'ємно-просторової організації архітектурного середовища вишів, які схильні до реконструкції чи модернізації;

сформулювати основні принципи і прийоми організації архітектурного середовища вишів в умовах реконструкції;

визначити основні прогресивні підходи та напрямки об'ємно-просторової організації архітектурного середовища з урахуванням прогресивних напрямків в архітектурно-дизайнерській діяльності;

запропонувати універсальну логічну модель об'ємно-просторової організації архітектурного середовища вищих навчальних закладів, які піддаються реконструкції;

розробити науково-практичні рекомендації щодо організації архітектурного середовища вишів в умовах реконструкції.

Більш доцільні наступні методи даного дослідження:

графоаналітичний метод (що полягає в систематизації даних та нормативних і довідникових джерел, в тому числі і проектних матеріалів);

метод порівняльного типологічного аналізу (враховує існуючі типологічні рішення подібних об'єктів);

структурно-просторовий метод (що включає в себе основні вимоги щодо організації архітектурного середовища вишів);

метод варіантного проектування (включає розгляд можливих варіантів оптимізації середовища будівель вишів);

комплексний аналіз існуючих наукових концепцій організації архітектурної середовища у вищих навчальних закладів (який розглядає науково-методологічні підходи подібного процесу);

метод експериментального проектування (що ґрунтується на розробці проектних пропозицій в рамках науково-дослідної роботи);

метод експериментального моделювання (що включає формування комп'ютерних моделей архітектурного середовища вищих навчальних закладів в умовах плануємої реконструкції чи модернізації).

Висновки та напрямки подальших досліджень. Необхідність якісної модернізації архітектурного середовища вищих навчальних закладів в умовах реконструкції достатньо велика у сучасному світі, так як освіта і наука є частиною основного фундаменту функціонування і процвітання регіону та навіть країни в цілому.

Встановлено, що в умовах реконструкції архітектурного середовища вищих навчальних закладів достатньо велика необхідність та більш доцільне (з точки зору капітальних витрат) виконання саме якісної модернізації зовнішнього та внутрішнього архітектурного простору.

Можна також відзначити, що архітектурне середовище будівель вишів знаходиться в нерозривній залежності від змін, що відбуваються в різних сферах діяльності суспільства. Переосмислення підходів до формування сучасного архітектурного середовища для вищої освіти зумовлює вдосконалення та подальший розвиток архітектури вишу в цілому.

Посилаючись на вище викладений матеріал, визначені основні прогресивні підходи та напрямки якісної модернізації архітектурного середовища вишів в умовах реконструкції, розглянуті основні принципи, які допоможуть у вирішенні цього питання. Також для вирішення низки існуючих проблем поставлені завдання і методи дослідження даної теми.

Список літератури

1. **Зенькович Н. Г.** Простір і середовище, як об'єкти проектування / Н. Г. Зенькович // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. - 2011. - Вип. 26. - С. 26-31. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Spam_2011_26_6

2. Козорез Б.И., Ковальський Л.Н. Архитектура учебных зданий. Київ: Будівельник, 1980. 141 с.
3. Кравцов В.Л., Максимюк Т.М. Экологическая среда для высшей школы. // Проектирование объектов высшей школы. /Тезисы докладов всесоюзной научной конференции. - Львов: ЛПИ, 1974. - С. 18-20.
4. Ковальський Л. М. Архитектура вищих навчальних закладів. Університети 3-го тисячоліття / Л. М. Ковальський, Г. Л. Ковальська ; під заг. ред. Л. М. Ковальського. – К.: Основа, 2011. – 253 с.
5. Солобай П.А. Основы и принципы реконструкции архитектурной среды вузов [Текст]/Вісник ХДАДМ. – 2008. –Вип. №1. С. 114-121.
6. Шимко В.Т. Архитектурно-дизайнерское проектирование городской среды. – М.: Архитектура-С., 2006. – 276-288 с.;
7. Горбачев В. Н. Архитектурно-художественные компоненты озеленения городов: Учеб. пособие для худож.-пром. вузов иarchit. фак. – М.: Высш. шк.,1983 – 207 с.
8. Шолух Н.В. Проектирование для нужд маломобильных групп населения в фокусе внимания академической науки: опыт Донбасской национальной академии строительства и архитектуры[Текст]/ Н. В. Шолух, А. В. Анисимов, А. Е. Надьярная, А. В. Бородин//Современное промышленное и гражданское строительство. – 2016. –Том 12, Номер 1. –С. 13–22.
9. Шевченко Л.С., Різник В.О. Формування архітектурно-ландшафтного середовища вищих навчальних закладів //Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Випуск 43.Частина 2.-2016.- Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, 2016 - С. 364-368.
10. Новый образ образования [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://comfortbud.ua/ru/ua-novij-obraz-osviti/> (Дата звернення: 20.09.2019)

Рукопис подано до редакції 17.10.2019

УДК 622.72:622.341

В.А. АЗАРЯН, д-р техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ФІНАЛЬНОГО ІНТЕГРОВАНОГО РУДОПОТОКУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗБАГАЧЕННЯ

Метою роботи є дослідження впливу коливань сировинної якості фінального інтегрованого рудопотоку на показник ефективності збагачення. Відомо, що якість кінцевої продукції комбінату безпосередньо залежить від характеристик руди, яка надходить на рудозбагачувальних фабрику (РЗФ) у вигляді інтегрованого фінального рудопотоку, тому що оптимальні режими збагачення можливо забезпечити лише при строго визначених показниках вмісту корисного компонента (в.к.к.) у цьому потоці. Залізорудна сировина має неоднорідний розподіл в.к.к. в межах родовища, видобувне та транспортне обладнання працює неритмічно, внаслідок чого рудні вантажопотоки різного ступеню інтеграції мають значні амплітудно-частотні коливання як за якісними, так й за кількісними показниками. Нестабільність в.к.к. у фінальному рудному вантажопотоці, що спрямовується на збагачення, призводить до зниження виходу концентрату, збільшення втрат у хвостах, підвищення витрат, зниження прибутку підприємства та падіння його конкурентоздатності.

Методи досліджень. В роботі було застосовано основні методи гірничої справи та математичне моделювання з подальшим графоаналітичним аналізом отриманих залежностей.

Наукова новизна полягає у встановленні залежностей між показником діапазонних значень в.к.к. інтегрованого фінального рудопотоку гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК) та ефективністю збагачення, яка визначається ступінню повноти витягу корисного компоненту у концентрат, та аналітично має вигляд відношення різниці кінцевих значень збагачувального процесу до в.к.к. вхідної руди.

Практичне значення полягає у отриманні інформації щодо показників кінцевих значень збагачувального процесу в залежності від діапазону коливань в.к.к. у фінальному інтегрованому рудопотоці ГЗК. Наявність цієї інформації дозволить здійснювати планування, контроль та управління якістю гірничих робіт комбінату з урахуванням, насамперед, основних вимог збагачувального комплексу, що забезпечить оптимізацію процесу переробки, дозволить отримати концентрат відповідної якості та у заданому обсязі.

Висновки. Внаслідок проведених досліджень встановлено зворотньо-пропорційну залежність значень середньоквадратичного відхилення (СКВ) в.к.к. в сформованому фінальному рудопотоці ГЗК та показників ефективності збагачення. Встановлено, що при збільшенні амплітуди коливань в.к.к. фінального рудопотоку за менш якісній руді відбувається більш активне падіння показника ефективності збагачення.

Ключові слова: рудний вантажопотік, оптимізація процесу збагачення, діапазон коливань вмісту корисного компоненту, ефективність збагачення, середньоквадратичне відхилення.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-106-59-63

Проблема та її зв'язок з практичними завданнями. Держкомітет по запасах України оцінив загальні обсяги залізистих кварцитів станом на 2005 р. у 11711,9 млн. т [1]. Ці запаси можуть забезпечити функціонування гірничовидобувної та переробної промисловості України ще декілька десятиліть. Але, при наявності значних запасів залізорудної сировини, є певні проблеми, які значно ускладнюють розвиток цієї галузі виробництва.

Однією з ключових проблем сучасної залізорудної промисловості України є низька її конкурентоспроможність, що є наслідком у тому числі значних коливань вмісту корисного компоненту у кінцевих (фінальних) інтегрованих рудопотоках гірничо-збагачувальних комбінатів, які фактично є вхідною сировиною РЗФ. Тому, умовах жорсткої конкуренції світових виробників залізорудної сировини, погіршення гірничо-технологічних умов розробки родовищ, зниження якості сировинної бази України та підвищення собівартості виробництва, питання формування фінальних інтегрованих рудних вантажопотоків ГЗК з відповідною якістю набуло максимального значення [2].

Стабілізація якісних показників фінальних рудопотоків є актуальною науково-практичною проблемою, тому що стала якість вхідної сировини забезпечує відповідний рівень якості продукції РЗФ. Оптимізація процесу збагачення, яка заснована на стабільності в.к.к. у вхідній руді, буде відображена у відповідних показниках виходу концентрату з руди γ , вилучення корисного компонента в концентрат ϵ та рівня якості в концентраті β [3].

Аналіз досліджень і публікацій. На необхідності стабілізації якості залізорудної сировини раніше наголошували такі відомі вчені, як Бизов В.Ф., Жуков С.О., Ломоносов Г.Г., Четверик М.С. та ін. Відомо, що рудозбагачувальні фабрики є високоінерційними виробничими системами, налаштованими на певний показник якості у заданому діапазоні коливань. Надмірні коливання вмісту корисного компоненту у рудопотоці на вході РЗФ, що виходять за межі заданого розрахункового діапазону, призводять до зниження виходу концентрату, збільшення втрат у хвостах, підвищення собівартості переробки [4]. Саме тому нестабільність якісних характеристик залізовмісної сировини викликає такі негативні наслідки, як зниження прибутків гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) та падіння їх конкурентноздатності [5,6].

Режими збагачення, за яких відбувається оптимальний вихід концентрату з заданими якісними показниками, можуть бути отримані при певних показниках в.к.к. у вхідній руді РЗФ. Робота в таких режимах збагачення дозволяє не тільки отримувати концентрат з найбільш прийнятними значеннями за якістю, але й заощадити електроенергію, воду, футерування та кулі млинів, що також позитивно позначиться на загальних техніко-економічних показниках виробництва [7].

Вимога до стабільності якісних показників обумовлюється, перш за все, тим, що робота РЗФ є найбільш ефективною при таких постійних показниках в.к.к., що відповідають плановим значенням, а оптимальні показники режиму збагачення за величиною вилучення та втрат у хвостах залежать не тільки від якості рудної сировини, а й від її стабільності в потоці [8].

Постановка завдання. З метою визначення впливу діапазонних коливань в.к.к. фінального інтегрованого рудопотоку на ефективність процесу збагачення та оцінки прогнозних показників збагачення у відповідності до різних значень сировинної якості вхідної руди збагачувального комплексу, провести дослідження з використанням наявної статистичної бази даних, з подальшою побудовою відповідних залежностей та графоаналітичним аналізом отриманих даних.

Викладення матеріала і результатів. Сучасне гірничовидобувне підприємство являє собою складну систему з розвиненою ієрархічною структурою, основною метою функціонування якої є видобуток руди. Виходячи з цієї мети, формуються вимоги до якості сировини, що видобувається. Розподіл в.к.к. в забоях кар'єру часто носить хаотичний характер [9]. Разом з тим, фінальний рудний вантажопотік повинен мати визначену величину в.к.к., який не виходить за межі заданого діапазонного значення в будь-який момент часу, що продиктовано вимогами комплексу переробки [10].

Математична модель формування фінального, або загального рудопотоку, може бути представлена у вигляді вимог, що реалізуються системою управління якістю гірничого підприємства. Загальний обсяг рудопотоку математично визначається можливостями РЗФ, він є заданою величиною

$$\sum_{k=1}^N m_k = m_0, \quad (1)$$

де m_0 – заданий на вході РЗФ для переробки обсяг руди, т; m_k – кількість руди, що доставляється транспортом з k -го забою, т.

У свою чергу, згідно з технологічними вимогами, в.к.к. в руді після усереднення має відповідати заданій величині, тобто має місце рівність за якістю, що пов'язує ці характеристики у рудних забоях та в рудопотоці

$$\sum_{k=1}^N c_k m_k = m_0 \cdot c_0, \quad (2)$$

де c_0 – заданий вміст в рудопотоці після формування шляхом усереднення, c_k вміст корисного компонента в руді, що доставляється з k -го забою.

Апріорною вимогою є обмеження обсягів руди, що доставляються із забоїв у вигляді окремих локальних рудопотоків

$$0 \leq m_k \leq \bar{m}_k, \quad (k = 1, 2, \dots, N), \quad (3)$$

де m_k – максимально можливий обсяг руди, що доставляється з k -го забою, т.

Формули (1)-(3) представляють математичну модель, що є основою формування рудного вантажопотоку гірничовидобувного підприємства.

Можливо інше формулювання цієї моделі, в якій умова (2) замінюється обмеженнями за амплітудою коливань в.к.к. у руді після усереднення, тобто після формування рудопотоку

$$c_{\min} \cdot m_0 \leq \sum_{k=1}^N c_k m_k \leq c_{\max} \cdot m_0, \quad (4)$$

де $c_{\min}$, $c_{\max}$ – найменша і найбільша допустимі показники вмісту корисного компоненту рудного вантажопотоку, тобто діапазонні обмеження за вимогами РЗФ [11].

Дослідження впливу якісних показників фінального інтегрованого рудопотоку ГЗК на показник ефективності збагачення виконувалися у наступному порядку.

Відомо, що ефективність збагачення – це ступінь повноти витягу корисного компоненту у концентрат, яка аналітично визначається за формулою (5) та представлена як відношення різниці кінцевих значень збагачувального процесу (в.к.к. в концентраті та в хвостах, помножених на вихід концентрату) до в.к.к. вхідної руди РЗФ [12]

$$E = \frac{\gamma(\beta_{\text{конц.}} - \beta_{\text{хв.}})}{\alpha(100 - \alpha)} \times 100\%. \quad (5)$$

Також відомо, що вхідна руда збагачення – це фактично фінальний інтегрований рудопотік гірничо-збагачувального комбінату, що формується з рудопотоків кар'єрів, усереднювальних складів та інших, як власних, так і зовнішніх джерел сировини [13].

Фінальний рудопотік, як і будь-який інший потік руди, має амплітудні та часові коливання сировинної якості, які безпосередньо впливають на показники збагачення [14]. Тому було досліджено та визначено взаємозв'язок між показником ефективності збагачення та величиною середньоквадратичного відхилення в.к.к. в фінальному рудопотоці залізорудного ГЗК.

Математичну модель було представлено в табличному вигляді (табл. 1), який відображає прогнозні значення показника ефективності збагачення.

Таблиця 1

Прогнозні значення показника ефективності збагачення в залежності від величини СКВ в.к.к. в фінальному рудопотоці ГЗК за різних значень якості ($\text{Fe}_{\text{магн.}}$)

СКВ, %	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
$\alpha=27\%$	85	84,4	84,3	82,6	80,6	77,2	72,4	66,7	58,3	49,8
$\alpha=25\%$	83	82,6	81,1	78,3	75,0	70	64,3	58	49,4	40,2
$\alpha=23\%$	80,7	80,0	78	74,6	70,0	64,6	57,6	49,1	40,6	30,7
$\alpha=21\%$	78,1	76,9	74,3	70,0	65,2	57,8	48,7	39,4	30,0	19,6

Ефективність збагачення було розраховано за формулою (5) для різних значень СКВ в.к.к. фінального рудопотоку: при середньому показнику в.к.к. 27 %, 25 %, 23 % та 21 % ($Fe_{\text{магн}}$).

Побудовані на основі отриманих за розрахунком даних графіки залежності ефективності збагачення від величини середньоквадратичного відхилення в.к.к. фінального рудопотоку ГЗК наведено на рис. 1.

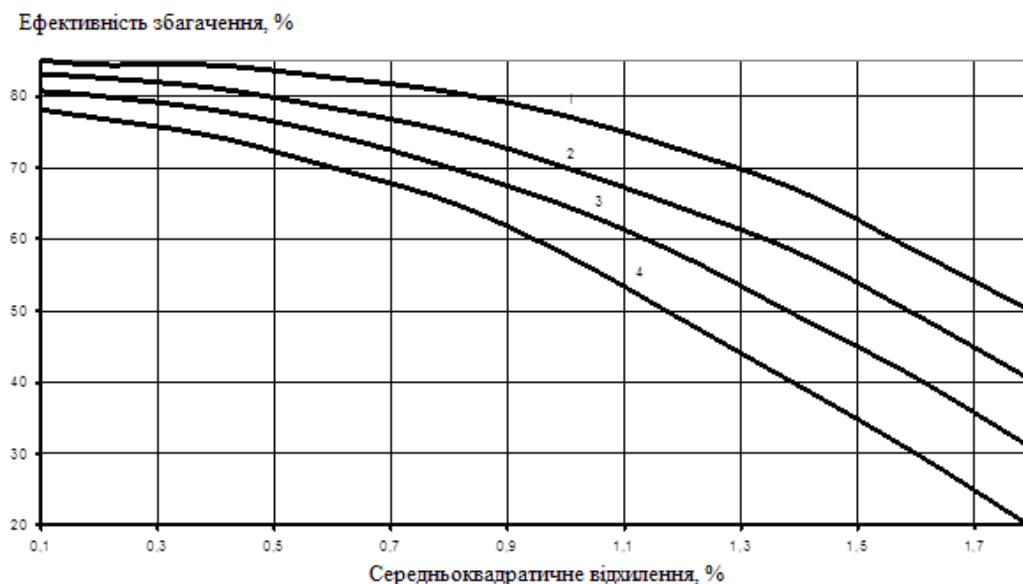


Рис. 1. Залежність ефективності збагачення від значення середньоквадратичного відхилення в.к.к. фінального рудопотоку: 1 – при α 27 % рівняння кривої: $y = -3,0949x^3 - 6,2439x^2 + 1,7777x + 84,651$; 2 – при α 25 % рівняння кривої: $y = -1,0301x^3 - 10,676x^2 - 1,3848x + 83,3$; 3 – при α 23 % рівняння кривої: $y = 1,229x^3 - 17,678x^2 - 0,0128x + 80,782$; 4 – при α 21 % рівняння кривої: $y = 4,4222x^3 - 27,329x^2 + 2,5103x + 77,734$

Відомо, що середньоквадратичне відхилення у відповідності до правила «три сигма» характеризує величину максимальної амплітуди коливань в.к.к. в рудопотоці, що також обумовлено коефіцієнтом «мінімах».

Графоаналітичне дослідження отриманих залежностей дозволяє зробити висновок, що, чим більшим є значення середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента в сформованому фінальному рудопотоці ГЗК – тим нижчим є показник ефективності збагачення.

При цьому амплітуда коливань в 1 % викликає незначне зниження ефективності, в межах 3–5 %; амплітуда коливань у 2 % знижує ефективність від 5 до 10 %, а амплітуда коливань 3 % знижує ефективність збагачення вже на 15–25 %.

При величині середньоквадратичного відхилення фінального інтегрованого рудопотоку 1,8 %, що відповідає амплітуді коливань вмісту корисного компонента в рудопотоці в 5,4 %, спостерігається падіння ефективності збагачення від 35 % при середньому значенні якості 27 % до 55 % при середньому значенні якості 21 %.

Таким чином, зі збільшенням амплітуди коливань в.к.к. фінального рудопотоку та при менш якісній руді відбувається більш активне падіння показника ефективності збагачення.

Висновки. Внаслідок проведених досліджень встановлено:

1. Чим більшим є значення середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента в сформованому фінальному рудопотоці ГЗК – тим нижчим є показник ефективності збагачення.

2. Зі збільшенням амплітуди коливань вмісту корисного компоненту фінального рудопотоку при менш якісній руді відбувається більш активне падіння показника ефективності збагачення.

Список літератури

1. **Азарян А.А.** Качество железорудного сырья подземной и открытой добычи как основа конкурентоспособности горнодобывающей промышленности Украины / **А.А. Азарян, Ю.Г. Вилкул, В.А. Азарян, В.А. Колосов** // Металлургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск. – 2012. – №5. – С. 1–4.14.
2. **Жуков С.О.** Дослідження процесів стабілізації амплітудних коливань якості рудопотоків залізорудних кар'єрів / **С.О. Жуков, В.А. Азарян**, // Вісник ЖДТУ : наук. журнал. – Житомир. – 2018. – Вип. 1 (81). – С. 240–245.
3. **Азарян В.А.** Управление качеством в рудопотоках железорудных карьеров Украины / **В.А. Азарян** // "Стратегия качества в промышленности и образовании", международная конференция (6; 2010; Варна, Болгария): 6 Международная конференция (4-10 июня 2010 г.): материалы : в 2-х т. / М-во образ. и науки Украины, НМетАУ, ГИПОП-ром [и др.]. – Днепропетровск; Варна, 2010. – С. 52-56.
4. **Азарян В.А.** PProceedings of the III International Scientific and Practical Conference "The goals of the World Science 2017" (January 31, 2017, Dubai, UAE). № 2(18), Vol.1, February 2017 – С. 20–24.
5. **Жуков С.О.** Исследование влияния периода опробования забоев железорудного карьера на прибыль горно-обогатительного комбината / **С.А. Жуков, В.А. Азарян, В.А. Стриха**// Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2017. – Вип. 3(79). – С. 42-52.
6. **Галиев С.Ж.** Методика оперативного мониторинга и управления рудопотоком. / **С.Ж. Галиев, А.А. Бояндинова, Ж.А. Адилханова, К.К. Жусупов, С.Е. Пуненков**. // Научный журнал КазНТУ "Вестник". Наука о земле, – Алматы, 2009. С. 64-70.
7. **Ломоносов Г.Г.** Формирование качества руды при открытой добыче / **Г.Г. Ломоносов** - М.: Недра, 1975 – 224 с.5.
8. **Бызов В.Ф.** Об усреднении качества руд при объединении грузопотоков / **В.Ф. Бызов, Ю.Г. Вилкул И.И. Максимов** // Металлургическая и горная промышленность, 1982. – №2. – С. 64-65.
9. **Бызов В.Ф.** Управление качеством продукции карьеров : учеб. для вузов по спец. "Открытые горные работы" / **В. Ф. Бызов**. – М. : Недра, 1991. – 239 с.
10. **Азарян В.А.** Обоснование периода опробования забоев карьера / **В.А. Азарян, С.А. Жуков** // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпро. – 2017. – №51. – С. 8–18.
11. **Азарян В.А.** Модель стабилизации колебаний содержания полезного компонента в рудопотоке карьера / **В.А. Азарян** // Европейская наука и технологии (European Science and Technology). Мюнхен, Германия, – 3-4 октября 2013 г.: Материалы 5 Международной научно-практической конференции. Мюнхен. – С. 331 – 336.
12. **Білецький В.С.** Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина III. Заключні процеси / **В.С. Білецький, Т.А. Олійник, В.О. Смирнов, Л.В. Скляр** // Навчальний посібник. — Кривий Ріг : ФОП Чернявський Д. О., 2019. — 211 с. — ISBN 978-617-7553-80-8
13. **Азарян В.А.** Дослідження процесів стабілізації амплітудних коливань якості рудопотоків залізорудних кар'єрів / **В.А. Азарян, С.О. Жуков** // Вісник ЖДТУ : наук. журнал. – Житомир. – 2018. – Вип. 1 (81). – С. 240–245.
14. **Азарян В.А.** Комплексная система контроля и управления качеством в рудопотоках карьеров / **В.А. Азарян** // Комбинированные технологии разработки месторождений глубокими карьерами и шахтами : Материалы международного симпозиума. КТУ 18-23 июня 2012 г. г. Партенит. – Кривой Рог С.112

Рукопис подано до редакції 31.10.2019

АНОТАЦІЇ

УДК 622.83

Шашенко О.М., Чередник В.А. Сучасні уявлення щодо виникнення газових покладів в підроблених вуглепородних масивах

Мета. Метою роботи є аналіз кількості газу при дегазації вугільних пластів. Результати спостережень за роботою дегазаційних свердловин, пробурених з поверхні діючих вугільних шахт, свідчать про те, що до підходу очисних робіт газовиділення в свердловині практично не спостерігається і тільки в окремих випадках в усті свердловин відзначені сліди метану з концентрацією 5-10%. Як в першому, так і в другому випадках швидкості дренажування метану в свердловині різко зростають, коли газоприймаюча частина цієї свердловини потрапляє в зону впливу гірничих робіт, межі якої визначаються поточним станом максимуму опорного тиску в просторі вмщувального гірського масиву.

Методи. Використовувався метод аналізу та узагальнення інформації щодо сучасного стану вугільної промисловості України при розгляді родовища, як газувугільного. В даний час в Україні щорічні викиди метану в атмосферу становлять близько 20-50 млн.м³ на кожен 1 млн.тонн видобутого вугілля. Якщо додатково врахувати неконтрольовану емісію метану на поверхню в межах гірничих відводів закритих шахт, а також при розгазуванні шахт після раптових викидів, то ця цифра буде значно більшою. Усі ці явища і призводять до необхідності корисного використання шахтного метану.

Наукова новизна. Висока теплота згоряння метану, постійна потреба країни в цьому газі і його ціна на світових ринках вказують на доцільність використання шахтного метану як енергоносія. На прикладі досвіду закордонних та українських шахт розглянуто способи видобутку та використання шахтного метану.

Практична значимість дослідження, що планується виконати, дозволить узагальнити інформацію щодо пошуку зон активного скупчення метану, задля подальшого використання.

Результати. Сформульовані основні задачі дослідження технологій управління процесами видобування метану задля промислового використання та збільшення безпеки видобування вугілля.

Ключові слова: вугільна промисловість, метан, колектори, газове родовище, дегазація, гірський тиск.

Шашенко А.Н., Чередник В.А. Современные представления о возникновении газовых залежей в подработанных углепородных массивах

Цель. Целью работы выступает анализ количества газа при дегазации угольных пластов. Результаты наблюдений за работой дегазационных скважин, пробуренных с поверхности действующих угольных шахт, свидетельствуют о том, что до подхода очистных работ газовыделения в скважины практически не наблюдается и только в отдельных случаях в устье скважин отмечены следы метана с концентрацией 5-10%. Как в первом, так и во втором случаях скорости дренирования метана в скважины резко возрастают, когда газопринимающая часть этой скважины попадает в зону влияния горных работ, границы которой определяются текущим состоянием максимума опорного давления в пространстве вмещающего горного массива.

Методы. Использовался метод анализа и обобщения информации о современном состоянии угольной промышленности Украины при рассмотрении месторождений, как газозольных. В настоящее время в Украине ежегодные выбросы метана в атмосферу составляют около 20-50 млн.м³ на каждый 1 млн тонн добытого угля. Если дополнительно учесть неконтролируемую эмиссию метана на поверхность в пределах горных отводов закрытых шахт, а также при разгазировании шахт после внезапных выбросов, то эта цифра будет значительно больше. Все эти явления и приводят к необходимости полезного использования шахтного метана.

Научная новизна. Высокая теплота сгорания метана, постоянная потребность страны в этом газе и его цена на мировых рынках указывают на целесообразность использования шахтного метана как энергоносителя. На примере опыта зарубежных и украинских шахт рассмотрены способы добычи и использования шахтного метана.

Практическая значимость исследования, которое планируется выполнить, позволит обобщить информацию по поиску зон активного скопления метана для дальнейшего использования.

Результаты. Сформулированы основные задачи исследования технологий управления процессами добычи метана для промышленного использования и с целью повышения безопасности добычи угля.

Ключевые слова: угольная промышленность, метан, колекторы, газовое месторождение, дегазация, горное давление.

Shashenko O.M., Cherednyk V.A. Modern outlook on the gas deposits origins in undermined coal masses

Purpose. The aim of the work is the analysis of gas amount during the gases draining-out of coal seams. The results of observations of the work of gases draining-out wells, drilled from the surface of existing coal mines, indicate that prior to the approach of treatment work, gas evolution into the wells is practically not observed and only in some cases, traces of methane with a concentration of 5-10% were noted at the wellhead. In both the first and second cases, the methane drainage rates into the wells increase sharply when the gas receiving part of this well falls into the mining influence zone. The zone boundaries are determined by the current state of the maximum reference pressure in the enclosing rock mass space.

Research methods. The method of analysis and generalization of information on the Ukrainian coal industry current state was used when considering deposits as gas-coal. At present, in Ukraine, annual methane emissions into the atmosphere are about 20-50 million m³ for every 1 million tons of coal mined. If additionally consider the methane uncontrolled emission to the surface within the closed mines, as well as during the of mines draining-out of gases after sudden emissions, this figure will be bigger. All these phenomena lead to the need for the mine methane beneficial use.

Scientific novelty. The high calorific value of methane, the country's constant need for this gas and its price on world markets indicate the advisability of using coal mine methane as an energy carrier. Using the experience of foreign and Ukrainian mines as an example, methods for the extraction and use of mine methane are considered.

Practical value of the research, that is planned to be carried out, will make possible to summarize information about the search of active methane accumulation zones for further use in coal mine conditions.

Results. The main tasks of research of methane production process control technologies for industrial needs are defined. As well as methods of improving coal mining safety are founded.

Key words: coal industry, methane, collectors, gas reservoir, draining-out of gases, rock pressure.

УДК 504.06:504.064

Чоботко І.І., Тинина С.В. Моніторинг теплового стану породних відвалів

Мета. Аналіз теплового стану породних відвалів для нормалізації теплових параметрів та вивчення щільності фракційного складу порід відвалу, впливу навколишнього середовища й способів формування породних відвалів на виникнення осередків займання та процесу формування концентраторів горіння.

Методи дослідження. У роботі використано аналітично-порівняльні дослідження результатів термографічних зйомок породних відвалів шахт Західного Донбасу, що були накоплені на протязі 7 років спостережень з використанням тепловізора.

Наукова новизна. Вперше встановлено особливості формування концентраторів підвищеної температури займання породних відвалів та динаміку розвитку осередків горіння на них.

Встановлено залежність формування концентраторів займання породних відвалів від структури породних відвалів його технологічних схем формування й обслуговування.

Проведено детальний аналіз зв'язку технологічних схем формування породних відвалів, як початковий етап зародження теплових концентраторів майбутніх осередків горіння. Запропоновано заходи щодо попередження виникнення теплових зон концентраторів шляхом проведення моніторингу з використанням термографічної зйомки. Проведено дослідження з оцінки горіння териконів, зміни форм териконів.

Практичне значення. Полягає в розробленні заходів попередження й зниження кількості осередків горіння. Проведена термографічна зйомка породних відвалів дозволяє виявити точне розташування осередків горіння та своєчасне їх виявлення й вжиття заходів щодо попередження самозаймання порід. Дозволяє виявити площу і температуру поверхні горіння, що допомагає при розробці проектів гасіння та рекультивациі на відвалах, точному розрахунку валових викидів шкідливих речовин.

Результати. Встановлено закономірність формування концентраторів та розвитку зон осередків горіння породних відвалів. Проведений аналіз термографічних зйомок стану поверхні породних відвалів дозволив побачити наявність та кількість теплових зон концентраторів. Обґрунтовано необхідність формування баз даних породних відвалів, що горять, розташованих на територіях діючих і закритих шахт. Встановлено терміни горіння та згасання породних відвалів з оцінкою ймовірності утворення майбутніх концентраторів горіння.

Ключові слова: аналітично-порівняльні, термографічних зйомок, породні відвали, осередки займання, термографічні зйомки, тепловізор, концентратори горіння.

Чоботко И.И., Тынина С.В. Мониторинг теплового состояния породных отвалов

Цель. Анализ теплового состояния породных отвалов для нормализации тепловых параметров и изучения плотности фракционно состава пород отвала, воздействия окружающей среды и способов формирования породных отвалов на возникновение очагов возгорания и процессы формирования концентраторов горения.

Методы исследования. В работе использованы аналитически-сравнительные исследования результатов термографических съемок породных отвалов шахт Западного Донбасса, которые были накопленные в течение 7 лет наблюдений с использованием тепловизора.

Научная новизна. Впервые установлены особенности формирования концентраторов повышенной температуры воспламенения породных отвалов и динамику развития очагов горения на них.

Установлена зависимость формирования концентраторов возгорания породных отвалов от структуры породных отвалов его технологических схем формирования и обслуживания.

Проведен Детальный анализ связи технологических схем формирования породных отвалов, как начальный этап зарождения тепловых концентраторов будущих очагов горения. Предложены мероприятия по предупреждению возникновения тепловых зон концентраторов путем проведения мониторинга с внедрением термографической съемки. Проведено исследование по оценке горения терриконов, изменения форм терриконов.

Практическая значимость. Заключается в разработке меры предупреждения и снижения количества очагов горения. Проведенная термографическая съемка породных отвалов позволяет выявить точное расположение очагов горения и своевременное их выявление и принятие мер по предупреждению самовозгорания пород. Позволяет определить площадь и температуру поверхности горения помогает при разработке проектов тушения и рекультивации на отвалах, точном расчете валовых выбросов вредных веществ.

Результаты. Установлена закономерность формирования концентраторов и развития зон очагов горения породных отвалов. Проведенный анализ термографических съемок состояния поверхности породных отвалов позволил увидеть наличие и количество тепловых зон концентраторов. Обоснована необходимость формирования баз данных породных отвалов, расположенных на территориях действующих и закрытых шахт. Установлены сроки горения и угасание породных отвалов с оценкой вероятности образования будущих концентраторов горения.

Ключевые слова: аналитически-сравнительные, термографических съемок, породные отвалы, очаги возгорания, термографические съемки, тепловизор, концентраторы горения.

Chobotko I.I., Tynyna S.V. Monitoring the thermal state of waste dumps

Purpose. Analysis of the thermal state of the waste dumps to normalize the thermal parameters and study the density of the fractional composition of the dump rocks, the environmental impact and the methods of formation of the waste dumps on the occurrence of fires and the formation of combustion concentrators.

Research methods. The paper used analytical and comparative studies of the results of thermographic surveys of rock dumps in the mines of the Western Donbass, which were accumulated during 7 years of observations using a thermal imager.

Scientific novelty. For the first time, the features of the formation of concentrators of elevated ignition temperature of waste dumps and the dynamics of the development of burning centers on them have been established.

The dependence of the formation of ignition concentrators of waste dumps on the structure of the waste dumps of its technological schemes of formation and maintenance is established.

A detailed analysis of the connection of technological schemes for the formation of waste dumps, as the initial stage of nucleation of thermal concentrators of future foci of combustion, was carried out. Measures are proposed to prevent the occurrence of thermal zones of concentrators by monitoring with the introduction of thermographic imaging. A study was conducted to evaluate the burning of heaps, changes in the forms of heaps.

Practical value. It consists in developing measures to prevent and reduce the number of foci of combustion. A thermographic survey of waste dumps allows us to identify the exact location of the foci of combustion and their timely identification and the adoption of measures to prevent spontaneous combustion of rocks. It allows you to determine the area and temperature of the combustion surface; it helps in the development of extinguishing and reclamation projects on dumps, the accurate calculation of gross emissions of harmful substances.

Results. The regularity of the formation of concentrators and the development of zones of foci of burning waste dumps is established. The analysis of thermographic surveys of the state of the surface of waste dumps made it possible to see the presence and number of thermal zones of concentrators. The necessity of forming databases of waste dumps located in the territories of existing and closed mines is substantiated. The terms of burning and extinction of waste dumps are established with an estimate of the probability of the formation of future combustion concentrators.

Key words: analytical and comparative, thermographic surveys, rock dumps, fire sources, thermographic surveys, thermal imager, combustion concentrators.

УДК 622.261.2

Григор'єв О.Є., Дубовик О.І., Хозяйкіна Н.В. Вплив стану протяжних виробок вугільних шахт на обсяги споживаної електроенергії

Мета. На цей час, не зважаючи на тенденції, що пов'язані з декарбонізацією енергетики, вугілля в Україні ще тривалий час буде забезпечувати сировиною теплові електростанції. Така тенденція, за оцінкою експертів, збережеться до 2050 року. Основним недоліком українського вугілля є його висока собівартість. Це пов'язано, перш за все, важкими гірничо-геологічними умовами, глибиною розробки, розгалуженою системою підземних виробок, які потребують їх постійного ремонту для підтримки у нагляді, що відповідає вимогам правил експлуатації. Мета даної роботи полягає в обґрунтуванні таких параметрів кріплення, що дозволили би повторне використання конвеєрних виробок вугільної шахти.

Методи досліджень. В представленій роботі проведено аналіз актуальних джерел інформації, в організації і виконанні натурних досліджень та аналітичних досліджень на основі геомеханічних моделей, в економічному аналізі отриманих результатів.

Наукова новизна. Теоретичні дослідження полягають в отриманні аналітичних залежностей величини загальношахтної депресії і пов'язаної з нею використаною електроенергією, що живить вентилятори головного провітрювання, від стану протяжних виробок, який, у свою чергу, залежить від вчасного виконання ремонтних робіт.

Практична цінність. Виконані дослідження полягають у розробці методики вчасного приведення до експлуатаційного стану протяжних виробок, що дають змогу скоротити витрати на споживану електроенергію і зменшити собівартість вугілля, що видобувається.

Результати. На підставі виконаних досліджень отримані математичні залежності, які можуть бути покладеними в основу подальших наукових розробок, пов'язаних з оптимізацією діяльності вугільної шахти. Аналіз собівартості вугілля на шахтах показує, що основні витрати пов'язані з матеріальною складовою, серед якої найбільш вагомі є витрати на споживану електроенергію, основна частина якої задіяна на роботу вентиляторів головного провітрювання. Депресія розгалуженої системи виробок суттєво залежить від їх стану, який оцінюється величиною залишкового перерізу, що зменшується у часі. Отримані залежності дозволяють у першому наближенні визначити обсяг і строки виконання ремонтних робіт, мінімізувати собівартість вугілля, що видобувається.

Ключові слова: декарбонізація, вугілля, собівартість, стан виробки, депресія, ремонтні роботи

Григорьев А.Е., Дубовик А.И., Хозяйкина Н.В. Влияние состояния протяженных выработок угольных шахт на объемы потребляемой электроэнергии

Цель. В настоящее время, несмотря на тенденции, связанные с декарбонизацией энергетики, уголь в Украине еще долго будет обеспечивать сырьем тепловые электростанции. Такая тенденция, по оценке экспертов, сохранится до 2050 года. Основным недостатком украинского угля является его высокая себестоимость. Это связано, прежде всего, тяжелыми горно-геологическими условиями, глубиной разработки, разветвленной системой подземных выработок, требующих их постоянного ремонта для поддержания в надзоре, что соответствует требованиям правил эксплуатации. Цель исследований заключается в обосновании таких параметров крепления, которые позволили бы повторное использование конвейерных выработок угольной шахты.

Методы исследований. В представленной работе представлен анализ актуальных источников информации, в организации и выполнении натурных исследований, а также аналитических исследований на основе геомеханических моделей, в экономическом анализе полученных результатов.

Научная новизна. Теоретические исследования заключаются в получении аналитических зависимостей величины общешахтной депрессии и связанной с ней использованной электроэнергии, которая питает вентиляторы главного проветривания, от состояния протяженных выработок, которое, в свою очередь, зависит от своевременного выполнения ремонтных работ.

Практическая ценность. Выполненные исследования заключается в разработке методики своевременного приведения к эксплуатационному состоянию протяженных выработок, позволяющие сократить затраты на потребляемую электроэнергию и уменьшить себестоимость добываемого угля.

Результаты. На основе выполненных исследований получены математические зависимости, которые могут быть положены в основу дальнейших научных разработок, связанных с оптимизацией деятельности угольной шахты.

Анализ себестоимости угля на шахтах показывает, что основные затраты связаны с материальной составляющей, среди которых наиболее значимые являются затраты на потребляемую электроэнергию, основная часть которой задействована на работу вентиляторов главного проветривания. Депрессия разветвленной системы выработок существенно зависит от их состояния, которое оценивается величиной остаточного сечения, которое уменьшается во времени. Полученные зависимости позволяют в первом приближении определить объем и сроки выполнения ремонтных работ, минимизировать себестоимость добываемого угля.

Ключевые слова: декарбонизация, уголь, себестоимость, состояние выработки, депрессия, ремонтные работы

Hrihoriev O.Ye., Dubovyk O.I., Khoziaikina N.V. Influence of coal mines extended excavation state on electricity consumption volumes

Purpose. Despite the trends associated with energy decarbonization, coal in Ukraine will provide thermal power plants with raw materials for a long time to come. According to experts, this trend will hold until 2050. The main disadvantage of Ukrainian coal is a high producing cost. This is due, first of all, to the difficult mining and geological conditions, the depth of development, branching system of underground excavation that require constant repair to be maintained in supervision, which correlates with operating rules requirements. The purpose of the research is to justify support parameters that would allow the reuse of conveyor excavations of a coal mine.

Research methods. Research methods consist of the analysis of current sources information; organization and implementation of in-situ researches; analytical researches based on geomechanical models and the economic analysis of the results.

Scientific novelty. The scientific novelty of the performed research is to obtain the analytical dependencies of the generalized mines' depression and the associated used electric energy, which feeds the main blowing-over fans. And also on the extended excavations state, which depends on the timely repair work accomplishment.

Practical value. The practical value of the performed research involves the development of a method for timely bringing to the operation of extended excavations. This method allows reducing the electricity consumed cost and reduce the coal mined producing cost.

Results. The research results are mathematical dependencies that can be the basis for further scientific developments related to the coal mine work optimization. Analysis of the coal producing cost in mines shows that the main costs are associated with the material component. The most relevant of them is the electricity consumed costs, the bulk of which is involved in the operation of the main blowing-over fans. The depression of the branch excavation system depends on their condition. It is estimated by the value of the residual section, which decreases in time. The obtained dependencies allow, in the first approximation, to determine the volume and terms of repair work, to minimize the producing cost of coal.

Key words: decarbonization, coal, producing cost, excavation state, depression, repair works

УДК 622.013:[622.271.33:622.12]

Жуков С.О., Луценко С.О. Удосконалення методів визначення граничного коефіцієнту розкриття

Мета. Удосконалити науково-методичну базу в області проектування і планування відкритих гірничих робіт шляхом розробки нових і коригування існуючих методів визначення граничних коефіцієнтів розкриття і границь відкритих гірничих робіт, виходячи з умови конкурентоспроможності товарної залізрудної продукції проектного кар'єру на світовому ринку.

Методика. В основу визначення граничного коефіцієнта розкриття покладена умова, що ціна виробленої товарної продукції проектного підприємства не повинна перевищувати ціну цієї ж товарної продукції на світовому ринку. Реалізація цієї умови досягається аналітичним шляхом. При цьому враховується вплив норми прибутку на кінцеву глибину проектного кар'єру.

Результати. Розроблено новий метод визначення граничного коефіцієнта розкриття, що забезпечує конкурентоспроможність залізрудного концентрату на світовому ринку. Визначено значення граничних коефіцієнтів розкриття для Першотравневого кар'єру Північного ГЗК в залежності від ситуації на ціну на залізовмісну товарну продукцію, які забезпечують конкурентоспроможність товарної залізрудної продукції на внутрішньому і на світовому ринку. На прикладі кар'єрів, які відображають характерні особливості розробки крутоспадних родовищ України, продемонстровано вплив поточних коефіцієнтів розкриття діючих кар'єрів на граничний коефіцієнт розкриття, який служить головним критерієм при визначенні меж відкритих гірничих робіт для проектованих кар'єрів.

Наукова новизна. Встановлено, що при збереженні рентабельності підприємства на одному рівні при збільшенні коефіцієнта розкриття ціна продукції повинна зростати. При постійному коефіцієнті розкриття збільшення рентабельності можливо тільки зі збільшенням ціни продукції. Таким чином, зі збільшенням коефіцієнта розкриття і зі збільшенням рентабельності підприємства буде зростати ціна продукції підприємства, що проектується.

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

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

Жуков С.А., Луценко С.А. Совершенствование методов определения граничного коэффициента вскрыши

Цель. Усовершенствовать научно-методическую базу в области проектирования и планирования открытых горных работ путем разработки новых и корректировки существующих методов определения граничных коэффициентов вскрыши и границ открытых горных работ, исходя из условия конкурентоспособности товарной железорудной продукции проектируемого карьера на мировом рынке.

Методика. В основу определения граничного коэффициента вскрыши положено условие, что цена готовой товарной продукции проектируемого предприятия не должна превышать цену этой же товарной продукции на мировом рынке. Реализация этого условия достигается аналитическим путем. При этом учитывается влияние нормы прибыли на конечную глубину проектируемого карьера.

Результаты. Разработан новый метод определения граничных коэффициентов вскрыши, которые обеспечивают конкурентоспособность железорудного концентрата на мировом рынке. Определено значение граничных коэффици-

ентов вскряши для Первомайского карьера Северного ГОКа в зависимости от сложившейся цены на железосодержащую товарную продукцию, которые обеспечивают конкурентоспособность товарной железорудной продукции на внутреннем и на мировом рынке. На примере карьеров, отражающих характерные особенности разработки крутопадающих месторождений Украины, продемонстрировано влияние текущих коэффициентов вскряши действующих карьеров на граничный коэффициент вскряши, который служит главным критерием при определении границ открытых горных работ для проектируемых карьеров.

Научная новизна. Установлено, что при сохранении рентабельности предприятия на одном уровне, при увеличении коэффициентов вскряши, цена продукции должна расти. При постоянных коэффициентах вскряши увеличение рентабельности возможно только с увеличением цены продукции. Таким образом, с увеличением коэффициентов вскряши и с увеличением рентабельности предприятия будет расти цена продукции проектируемого ГОКа.

Практическая значимость. Результаты выполненных исследований могут быть использованы проектными организациями и горнодобывающими предприятиями при определении перспективных контуров карьеров.

Ключевые слова: открытые горные работы, перспективные контуры карьера, границы карьера, граничный коэффициент вскряши, глубина открытых горных работ, себестоимость концентрата.

Zhukov S.A., Lutsenko S.A. Improving the methods for determining the critical stripping ratio

Purpose. To improve the research and methodological base in designing and planning fields of open pit mining by developing new and adjusting existing methods for determining the critical stripping ratio and the boundaries of quarry mining, based on the competitiveness of the designed quarry marketable iron ore products in the world market.

Research methods. The basis for determining the critical stripping ratio is the condition that the price of the manufactured marketable product of the designing company shall not exceed this product price in the world market. The implementation of this condition is achieved analytically. At that, the profit margin impact on final depth of the designed quarry is considered.

Results. A new method for determining the critical stripping ratio ensuring the competitiveness of iron ore concentrate in the world market has been developed. The value of the critical stripping coefficients for the Pershotravnevy quarry of the Northern ore mining and processing enterprise has been determined, with respect to situation with the price for iron-containing marketable products that ensure competitiveness of marketable iron ore products both in the domestic and world markets. On the example of quarries, which reflect the peculiarities in development of steep deposits in Ukraine, there shown the influence of current stripping ratio of operating quarries on the critical stripping ratio, which serves as the main criterion for determining the boundaries of quarry mining for the quarries under design.

Scientific novelty. It has been found, that when maintaining the profitability of the enterprise on the same level in the time of stripping ratio increase, the products price shall increase. If stripping ratio is constant, the increase of profitability is possible only along with the increase in the price of products. Thus, together with the increase of stripping ratio and increase of enterprise profitability, will increase the price of the product of the enterprise being designed.

Practical value. The results of the performed analyses can be used by engineering organizations and mining enterprises when determining perspective quarry contours.

Key words: quarry mining, perspective quarry contours, quarry boundaries, critical stripping ratio, depth of quarry mining, concentrate prime cost.

УДК 004.896:681.3:621.311

Котов І.А. Алгоритмізація мережі станів тригерної інтелектуальної підсистеми диспетчеризації енергосистеми гірничо-металургійного комплексу

Мета. Виклад результатів розробки принципової укрупненої тригерної схеми алгоритму функціонування системи підтримки прийняття рішень (СППР). Запропонована модель візуалізації алгоритмів у вигляді тригерної мережі станів, що має взаємодію із зовнішнім середовищем. Введена нова інтерпретація компонентів мережевої тригерної моделі. Модель тригерної системи підтримки рішень інтерактивно пов'язана як з діями користувача-оператора, так і зі станами компонентів енергосистеми. Проблема реалізації операцій управління формами знань, які являють собою приватні програмні контролери знань, ініційовані тригерами, є актуальною.

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

Наукова новизна полягає в новій моделі подієвої взаємодії системи підтримки рішень з енергооб'єктами електроенергетичної системи. Для схеми станів реалізована автоматна модель функціонування з конкретизацією семантики станів, транзакцій і тригерів. Показано, що структурна схема тригерних станів реалізує базовий набір структур алгоритму. Розроблена схема візуалізації виконання транзакцій, як одного стану програмної системи. Здійснено узагальнення в єдину структуру еволюційної ієрархії всіх контролерів управління онтологіями знань.

Практична значимість роботи полягає в розробці алгоритмів синтезу баз знань і подієво-керованого логічного висновку, що дає можливість розробки надійних уніфікованих інтелектуальних систем високої складності, взаємодіючих з зовнішнім середовищем. Реалізація та впровадження програмного комплексу дозволить, підвищити якість диспетчерського управління режимами і технологічними процесами електричних мереж.

Результати роботи. Розроблено новий формалізм подання алгоритмів керування базами знань, взаємодіючих з зовнішнім середовищем, котрий агрегує примітиви станів, тригерів і транзакцій операцій, узагальнюючий стандартні мови візуалізації алгоритмів. Це дозволяє описувати алгоритми роботи баз знань і подієво-керованого висновку, що забезпечує розробку надійних уніфікованих інтелектуальних систем, взаємодіючих з зовнішнім середовищем.

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

Котов И.А. Алгоритмизация сети состояний триггерной интеллектуальной подсистемы диспетчеризации энергосистемы горно-металлургического комплекса

Цель. Изложение результатов разработки принципиальной укрупненной триггерной схемы алгоритма функциони-

рования системы поддержки принятия решений (СППР). Предложена модель визуализации алгоритмов в виде триггерной сети состояний, имеющей взаимодействие с внешней средой. Введена новая интерпретация компонентов сетевой триггерной модели. Модель триггерной системы поддержки решений интерактивно связана как с действиями пользователя-оператора, так и с состояниями компонентов энергосистемы. Проблема реализации операций управления формами знаний, которые представляют собой частные программные контроллеры знаний, инициированные триггерами, является актуальной.

Методы исследования заключаются в применении автоматной модели состояний и триггерной модели функционирования программной системы поддержки решений. При этом состояние автоматной модели связывается с выполнением пакета метаправил для управления логическим выводом. В работе использованы методы теории множеств, математической логики, теории автоматов, электроэнергетических систем (ЭЭС), теории графов, математической статистики.

Научная новизна заключается в новой модели событийного взаимодействия системы поддержки решений с энергообъектами электроэнергетической системы. Для схемы состояний реализована автоматная модель функционирования с конкретизацией семантики состояний, транзакций и триггеров. Показано, что структурная схема триггерных состояний реализует базовый набор структур алгоритма. Разработана схема визуализации выполнения транзакции, как одного состояния программной системы. Осуществлено обобщение в единую структуру эволюционной иерархии всех контроллеров управления онтологиями знаний.

Практическая значимость работы заключается в разработке алгоритмов синтеза баз знаний и событийно-управляемого логического вывода, что дает возможность проектирования надежных унифицированных интеллектуальных систем высокой сложности, взаимодействующих с внешней средой. Реализация и внедрение программного комплекса позволит повысить качество диспетчерского управления режимами и технологическими процессами электрических сетей.

Результаты работы. Разработан новый формализм представления алгоритмов управления базами знаний, взаимодействующих с внешней средой, который агрегирует примитивы состояний, триггеров и транзакций операций, обобщающий стандартные языки визуализации алгоритмов. Это позволяет описывать алгоритмы работы баз знаний и событийно-управляемого вывода, что обеспечивает разработку надежных унифицированных интеллектуальных систем, взаимодействующих с внешней средой.

Ключевые слова: транзакция, энергосистема, автомат, онтология, эвристика, база знаний, инкорпорация

Kotov I.A. Network algorithmization of the trigger intelligent subsystems states for dispatcherization of the mine-metallurgical complex power system

Purpose. To present the results of the development of a principle enlarged trigger scheme of the algorithm for the functioning of the decision support system (DSS). To propose the algorithm visualization model in the trigger network states interacting with the external environment. A new interpretation of the components of the network trigger model is introduced. The model of a trigger decision support system is interactively connected both with the actions of the user-operator and with the states of the power system components. The problem of implementing operations to manage forms of knowledge, which are private software knowledge controllers initiated by triggers, is relevant.

Research methods are the use of an automatic state model and a trigger model functioning of a software solution support system. In this case, the state of the automaton model is associated with the implementation of a meta-rule package to control the inference. The methods of set theory, mathematical logic, the theory of automata, electric power systems (EPS), graph theory, and mathematical statistics are used.

Scientific novelty lies in the new model of event interaction of the decision support system with the power facilities of the electric power system. For the state diagram, an automaton model of functioning is implemented with concretization of the semantics of states, transactions, and triggers. It is shown that the block diagram of trigger states implements a basic set of algorithm structures. A visualization scheme for transaction execution as a single state of a software system has been developed. The generalization into a single structure of the evolutionary hierarchy of all knowledge ontology controllers is carried out.

Practical value. Development of algorithms for the synthesis of knowledge bases and event-driven logical inference, which makes it possible to develop reliable unified intelligent systems of high complexity interacting with the external environment. The implemented software package improves the quality of dispatch control modes and technological processes of electric networks.

Results. A new formalism has been developed for the representation of knowledge base management algorithms interacting with the external environment, which aggregates primitives of states, triggers, as well as transactions, generalizing standard algorithm visualization languages. This allows us to describe the algorithms of knowledge bases and event-driven output, which ensures the development of reliable unified intelligent systems that interact with the external environment.

Key words: transaction, power system, automaton, ontology, heuristic, knowledge base, incorporation

УДК 622.03:622.3–045.623

Шолох М.В., Сергеева М.П. Фактор впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин на технологічний процес усереднення.

Мета. Метою роботи є розробка методу маркшейдерського забезпечення робіт для визначення втрат балансово-промислових запасів, засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин і величин впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізрудної масі на однорідність якісно-технологічних показників.

Методи дослідження. Формування товарної залізрудної масі відбувається під впливом втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин. Виконується розрахунок ознак усереднення впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників використання одиничних потоків розпушеної залізрудної масі.

Наукова новизна. Отримано вирази, які характеризуються процесами усереднення впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників, втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин при роботі окремих видобувних одиниць. При роботі окремої видобувної одиниці кількість і якість видобутої залізорудної маси, втрачених балансово-промислових запасів, засмічуючих порід і вміст якісно-технологічних показників усередненого корисного компоненту, пов'язаного з магнетитом, розглядається як випадковий процес. Для характеристики впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин у масиві балансово-промислових запасів і розпушеної залізорудної маси використовується математичний апарат теорії випадкових функцій, а показниками приймається кореляційна функція.

Практична значимість. З урахуванням гірничо-геологічних умов видобутку балансово-промислових запасів виконується оцінка впливу втрат і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин на однорідність якісного складу товарної залізорудної маси, яка надходить із заборів окремих видобувних одиниць. При розрахунках показників однорідності вмісту якісно-технологічних показників складових розпушеної залізорудної маси враховується вплив втрат балансово-промислових запасів і засмічення вмісту якісно-технологічних показників корисних компонентів у залізорудній масі на процес усереднення вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин.

Результати. Розроблено методику і виконано моделювання об'ємно-кількісних характеристик ознак вмісту якісно-технологічних показників корисних копалин ділянок рудного тіла і покладу родовища залізистих кварцитів відособлених і взаємозалежних динамічних рядів для прогнозування якісно-технологічних показників залізорудного Кривбасу. Видано рекомендації стосовно технології прогнозування з невеликими інтервалами дискретності впливу природно-просторового розміщення мінливості вмісту якісно-технологічних показників.

Ключові слова: балансові запаси, корисні копалини, вміст якісно-технологічних показників, втрати, засмічення, усереднення.

Шолох Н.В., Сергеева М.П. Фактор влияния природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей полезных ископаемых на технологический процесс усреднения.

Цель. Целью работы является разработка метода маркшейдерского обеспечения работ для определения потерь балансовой промышленной запасов, засорения содержания качественных показателей полезных ископаемых и величин влияния природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей полезных ископаемых в массиве балансовой промышленной запасов и взрыхленной железорудной массе на однородность качественных показателей.

Методы исследования. Формирование товарной железорудной массы происходит под влиянием потерь балансовой промышленной запасов и засорения содержания качественных показателей полезных ископаемых. Выполняется расчет признаков усреднения влияния природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей использования единичных потоков разрыхленной железорудной массе.

Научная новизна. Получены выражения, характеризующие процессы усреднения влияния природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей, потерь балансовой промышленной запасов и засорения содержания качественных показателей полезных ископаемых при работе отдельных добывающих единиц. При работе отдельной добывающей единицы количество и качество добываемой железорудной массы, утраченных балансовой промышленной запасов, засоряющих пород и содержание качественных показателей усредненного полезного компонента, связанного с магнетитом, рассматривается как случайный процесс. Для характеристики влияния природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей полезных ископаемых в массиве балансовой промышленной запасов и взрыхленной железорудной массе используется математический аппарат теории случайных функций, а показателями принимается корреляционная функция.

Практическая значимость. С учетом горно-геологических условий добычи балансово-промышленных запасов выполняется оценка влияния потерь и засорения содержания качественных показателей полезных ископаемых на однородность качественного состава товарной железорудной массы, поступающей из забоев отдельных добывающих единиц. При расчетах показателей однородности содержания качественных составляющих разрыхленной железорудной массы учитывается влияние потерь балансово-промышленных запасов и засорения содержания качественных показателей полезных компонентов в железорудной массе на процесс усреднения содержания качественных показателей полезных ископаемых.

Результаты. Разработана методика и выполнено моделирование объемно-количественных характеристик признаков содержания качественных показателей полезных ископаемых участков рудного тела и залежи месторождения железистых кварцитов обособленных и взаимосвязанных динамических рядов для прогнозирования качественных показателей железорудного Кривбасса. Выданы рекомендации относительно технологии прогнозирования с небольшими интервалами дискретности влияния природно-пространственного размещения изменчивости содержания качественных показателей.

Ключевые слова: балансовые запасы, полезные ископаемые, содержание качественных показателей, потери, засорение, усреднение.

Sholokh M.V., Sergieieva M.P. Influence of the natural-spatial location of the content variability in qualitative mineral indices on technological averaging.

Purpose. To develop a method of mine surveying to determine the losses of balance-industrial reserves, contamination of the content of quality indicators of minerals and the magnitude of the impact of natural-spatial location variability of the content of qualitative indicators of minerals in an array of balance-industrial stocks and loose iron ore mass on the homogeneity of quality indicators.

Research methods. Formation of commodity iron ore is under losses of balance-industrial stocks and debris content of qualitative indicators of minerals. The calculation of the signs of averaging of the influence of natural-spatial placement of the variability of the contents of qualitative indicators of the use of individual streams of loose iron ore mass is underway.

Scientific novelty. Expressions that are characterized by processes of averaging of the influence of natural-spatial placement of the variability of the contents of qualitative indicators, losses of balance-industrial stocks and contamination of the content of qualitative indices of minerals in the work of individual extractive units are obtained. When working on a separate extractive unit, the quantity and quality of the extracted iron ore, lost balance-industrial stocks, clogging rocks and the content of qualitative indicators of the average useful component associated with magnetite, is considered as a random process. To characterize the influence of the natural-spatial location of the variability of the content of the qualitative indices of minerals in an array of balance-industrial stocks and loose iron ore mass, the mathematical apparatus of the theory of random functions is used, and the correlation function is adopted by the indicators.

Practical value. Taking into account the mining-geological conditions of production of balance-industrial stocks, an estimation of the influence of losses and debris of the content of qualitative indices of minerals on the homogeneity of the qualitative composition of the commodity iron-ore mass, which comes from the faces of individual extractive units, is performed. In calculating the indicators of homogeneity of the content of qualitative indicators of the components of loose iron ore, account is taken of the effect of losses of balance-industrial stocks and debris content of qualitative indices of useful components in the iron ore mass on the process of averaging the content of qualitative indices of minerals.

Results A methodology was developed and modeling of the volume-quantitative characteristics of the contents of the qualitative indices of minerals of the ore body sections and deposits of ferrous quartzites of isolated and interrelated dynamic series for prediction of qualitative parameters of iron-ore Krivbass. Recommendations concerning the technology of forecasting with small intervals of the discreteness of the influence of natural-spatial placement of the variability of the contents of qualitative indicators were published.

Key words: balance reserves, minerals, content of qualitative indicators, losses, clogging, averaging.

УДК 624.153.524

Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Савенко В.О. Моделювання контактної взаємодії підпірної стіни з основою за допомогою програмного комплексу LIRA 9.6

Мета. При будівництві підпірних стін в складних інженерно-геологічних умовах необхідно досягти: підвищення стійкості і міцності підпірних стін; зниження витрат використовуваних будівельних матеріалів; зменшення обсягів земляних робіт; зниження нерівномірності деформацій; зниження термінів будівництва; поліпшення умов відсіпання і ущільнення засипки; підвищення експлуатаційної надійності, якості виконання робіт і збільшення термінів служби підпірних стін. Таким чином, для оцінки НДС підпірних стінок кутового профілю необхідний облік спільної роботи всієї стінки з ґрунтом і застосування більш обґрунтованих моделей ґрунту в районі її вертикального і горизонтального елементів. Метою досліджень є дослідження напружено-деформованого стану підпірної стіни зі структурною поверхнею (ПССП) з урахуванням її контактної взаємодії з ґрунтовим масивом.

Методи дослідження. Перспективним напрямком досліджень НДС системи «підпірна стіна - ґрунт» є використання методів математичного моделювання на основі чисельних методів аналізу. Найпоширенішим на сьогоднішній день є метод кінцевих елементів (МКЕ), який покладено в основу сучасних програмних комплексів для розрахунку будівельних конструкцій, будівель і споруд. У порівнянні з класичними варіаційними методами МКЕ більш гнучкий при завданні геометричних параметрів і граничних умов, наочний і універсальний для широкого кола завдань. При цьому є можливість вибрати різні моделі ґрунту для вирішення поставленого завдання.

Наукова новизна. Актуальність даної роботи пов'язана із розв'язанням поставленої задачі. Її результатом є дослідження напружено-деформованого стану ПССП з урахуванням її контактної взаємодії з ґрунтовим масивом за допомогою програмного комплексу.

Практична значимість. Визначення напружено-деформованого стану підпірної стіни зі структурною поверхнею (ПССП) з урахуванням її контактної взаємодії з ґрунтовим масивом.

Результати. Математичне моделювання дозволило наочно продемонструвати зниження напруги на контактній поверхні. Поступове заповнення пустот призводить до рівномірного розподілу деформацій, що в довгостроковій перспективі збільшує термін експлуатації споруди, забезпечуючи тим самим економічний ефект. Особливість конструктивного рішення ПССП, при взаємодії ґрунту зі структурною поверхнею підвищує несучу здатність основи за рахунок спільної роботи конструкції підпірної стіни і деформованої основи.

Ключові слова: підпірна стіна зі структурною поверхнею, кінцево-елементні моделі, напружено-деформований стан, контактна взаємодія, ґрунт, моделювання.

Тімченко Р.А., Крішко Д.А., Савенко В.О. Моделирование контактного взаимодействия подпорной стены с основанием с помощью программного комплекса LIRA 9.6

Цель. При строительстве подпорных стен в сложных инженерно-геологических условиях необходимо достичь: повышение устойчивости и прочности подпорных стен; снижение затрат используемых строительных материалов; уменьшение объемов земляных работ; снижение неравномерности деформаций; снижение сроков строительства; улучшение условий отсыпки и уплотнения засыпки; повышение эксплуатационной надежности, качества выполнения работ и увеличения сроков службы подпорных стен. Таким образом, для оценки НДС подпорных стенок углового профиля необходим учет совместной работы всей стенки с почвой и применения более обоснованных моделей почвы в районе ее вертикального и горизонтального элементов. Целью исследований является исследование напряженно-деформированного состояния подпорной стены со структурной поверхностью (ПССП) с учетом ее контактного взаимодействия с ґрунтовым массивом.

Методы исследования. Перспективным направлением исследований НДС системы «подпорная стена - ґрунт» является использование методов математического моделирования на основе численных методов анализа. Самым распространенным на сегодняшний день является метод конечных элементов (МКЭ), который положен в основу современных программных комплексов для расчета строительных конструкций, зданий и сооружений. По сравнению с классическими вариационными методами МКЭ более гибкий при задании геометрических параметров и граничных условий, наглядный и универсальный для широкого круга задач. При этом есть возможность выбирать различные

модели почвы для решения поставленной задачи.

Научная новизна. Актуальность данной работы связана с решением поставленной задачи. Ее результатом является исследование напряженно-деформированного состояния ПССП с учетом ее контактного взаимодействия с грунтовым массивом с помощью программного комплекса.

Практическая значимость. Определение напряженно-деформированного состояния подпорной стены со структурной поверхностью (ПССП) с учетом ее контактного взаимодействия с грунтовым массивом.

Результаты. Математическое моделирование позволило наглядно продемонстрировать снижение напряжения на контактной поверхности. Поэтапное заполнение пустот приводит к равномерному распределению деформаций, в долгосрочной перспективе увеличивает срок эксплуатации сооружения, обеспечивая тем самым экономический эффект. Особенность конструктивного решения ПССП при взаимодействии почвы со структурной поверхностью повышает несущую способность основания за счет совместной работы конструкции подпорной стены и деформируемого основания.

Ключевые слова: подпорная стена со структурной поверхностью, конечно-элементные модели, напряженно-деформированное состояние, контактное взаимодействие, грунт, моделирование.

Timchenko R.O., Krishko D.A., Savenko V.O. Simulation of the contact interaction of the retaining wall with the base using the LIRA 9.6 software package

Purpose. At construction of retaining walls in difficult engineering-geological conditions it is necessary: to increase stability and durability of retaining walls; to reduce the construction material costs, excavation; uneven deformations; construction time; to improve the backfilling conditions; to increase operational reliability, quality of work and service life of retaining walls. Thus, in order to estimate the VAT of the retaining walls of the angular profile, it is necessary to take into account the joint work of the entire wall with the soil and the use of more grounded models of the soil in the area of its vertical and horizontal elements. The purpose of the research is to investigate the stress-strain state of the retaining wall with the structural surface (PSSP), taking into account its contact interaction with the soil massif.

Research methods. A promising area of research of the VAT of the system "retaining wall - soil" is the use of methods of mathematical modeling based on numerical methods of analysis. The most common method today is the finite element method (FEM), which is the basis of modern software systems for the calculation of building cons, buildings and structures. Compared to classical variational methods, the FEM is more flexible when specifying geometric parameters and boundary conditions, visual and versatile for a wide range of tasks. It is possible to choose different soil models to solve the task.

Scientific novelty. The relevance of this work is related to the solution of the task. Its result is the study of the stress-strain state of the PSSP, taking into account its contact interaction with the soil array using a software complex.

Practical value. Determination of the stress-strain state of the structural wall retaining wall (PSSP) taking into account its contact interaction with the soil massif.

Results. Mathematical modeling has made it possible to demonstrate clearly the voltage reduction on the contact surface. The gradual filling of the voids leads to a uniform distribution of deformations, which in the long run increases the life of the structure, thus providing an economic effect. The peculiarity of the structural solution of PSSP, in the interaction of soil with the structural surface increases the bearing capacity of the base due to the joint work of the structure of the retaining wall and the deformed base.

Key words: retaining wall with structural surface, finite element models, stress-strain state, contact interaction, soil, modeling.

УДК: 669.1.785

Рудь Ю. С., Белоножко В. Ю. Выбор конструктивных размеров колосников агломерационных машин по критерию малоцикловой и термической прочности

Агломерация железорудного концентрата методом просасывания является исключительно эффективным процессом с точки зрения теплотехнических показателей: при содержании углерода в шихте всего 3—5% удается нагревать спекаемый материал до 1400-1450°C.

Целью работы является исследование влияния высоких температур на работоспособность колосников конвейерных агломерационных машин.

Научная новизна. За счет теплообмена колосников со слоем раскаленного агломерата и газом-теплоносителем осуществляется их нагрев. При этом наиболее интенсивному воздействию температурных нагрузок подвергается рабочая поверхность колосника, а решающую роль в обеспечении их стойкости приобретают проблемы химической коррозии поверхностных слоев и деформации рабочего тела колосников. При выборе конструктивных параметров колосников необходимо учитывать особенности механических характеристик материалов, из которых изготовлены колосники. Недостаточная надежность и малая долговечность колосников обусловлены условиями их работы, а также их конструктивными особенностями.

Практическое значение. При эксплуатации агломерационных машин колосники подвергаются интенсивным воздействиям переменных температурных полей и механических нагрузок. На рабочей ветви агломерационной машины температура колосников достигает 1400 - 1450°C, а на холостой ветви - снижается до сезонных летне-зимних температур. Воздействие негативных факторов эксплуатации на колосники приводит к их химической коррозии, деформации рабочего тела колосников и потери их работоспособности. Число циклов смены температур за срок службы машин относительно невелико и поэтому долговечность колосников лимитируется условиями малоциклового разрушения. Недостаточная надежность и долговечность колосников обусловлена условиями работы, а также их конструктивными особенностями.

Результаты. Предложено использовать критерием рациональности конструктивных размеров колосников агломерационных машин показатель малоцикловой и термической прочности. С целью снижения простоев агломерационной машины в ремонте, связанных с заменой колосников, коэффициент кратности замены колосников должен быть

целым числом. При изготовлении колосников с одного конструктивного материала, но с разной толщиной рабочей части, долговечность колосников с толщиной рабочей части должна быть меньше долговечности колосников.

Ключевые слова: агломерационная машина, колосник, температура, долговечность, малоцикловая и термическая прочность.

Рудь Ю. С., Белоношко В. Ю. Вибір конструктивних розмірів колосників агломераційної машини за критерієм малоциклової та термічної міцності

Агломерація залізорудного концентрату методом просмоктування є виключно ефективним процесом з точки зору теплотехнічних показників: при вмісті вуглецю в шихті всього 3-5% вдається нагрівати матеріал до 1400-1450° С.

Метою роботи є дослідження впливу високих температур на працездатність колосників конвеєрних агломераційних машин.

Наукова новизна. За рахунок теплообміну колосників з шаром розпеченого агломерату і газом-теплоносієм здійснюється їх нагрівання. При цьому найбільш інтенсивному впливу температурних навантажень піддається робоча поверхня колосника, а вирішальну роль в забезпеченні їх стійкості набувають проблеми хімічної корозії поверхневих шарів і деформації робочого тіла колосників. При виборі конструктивних параметрів колосників необхідно враховувати особливості механічних характеристик матеріалів, з яких виготовлені колосники. Недостатня надійність і мала довговічність колосників обумовлені умовами їх роботи, а також їх конструктивними особливостями.

Практичне значення. При експлуатації агломераційних машин колосники піддаються інтенсивним впливам змінних температурних полів і механічних навантажень. На робочій гілці агломераційної машини температура колосників досягає 1400 - 1450° С, а на холостій гілці - знижується до сезонних літньо-зимових температур. Вплив негативних факторів експлуатації на колосники призводить до їх хімічної корозії, деформації робочого тіла колосників та втрати їх працездатності. Число циклів зміни температур за термін служби машин відносно невелике (до 10^3 - 10^5) і тому довговічність колосників лімітується умовами малоциклового руйнування. Недостатня надійність і довговічність колосників обумовлена умовами роботи, а також їх конструктивними особливостями.

Результати. Запропоновано використовувати в якості критерію раціональності конструктивних розмірів колосників агломераційних машин показник малоциклової і термічної міцності. З метою зниження простоїв агломераційної машини в ремонті, пов'язаних із заміною колосників, коефіцієнт кратності заміни колосників повинен бути цілим числом. При виготовленні колосників з одного конструктивного матеріалу, але з різною товщиною робочої частини, довговічність колосників з товщиною робочої частини повинна бути меншою довговічності колосників.

Ключові слова: агломераційна машина, колосник, температура, довговічність, малоциклова і термічна міцність.

Rud Yu. S., Belonozhko V. Yu. Constructive dimensions of agglomeration machine gutles by criterion of low-cycle and thermal strength

Agglomeration of iron ore concentrate by suction is an extremely effective process from the point of view of thermal performance: when the carbon content in the charge is only 3-5%, it is possible to heat the sintered material to 1400-1450 ° C.

Purpose. To study the effect of high temperatures on the performance of grates of conveyor agglomeration machines.

Scientific novelty. Due to the heat exchange of the grate with a layer of hot agglomerate and a heat carrier gas, they are heated. In this case, the working surface of the grate is exposed to the most intense influence of temperature loads, and the problems of chemical corrosion of the surface layers and deformation of the working body of grate are crucial in ensuring their resistance. When choosing the design parameters of grates, it is necessary to take into account the features of the mechanical characteristics of the materials of which the grates are made. The lack of reliability and low durability of the grate are due to the conditions of their work, as well as their design features.

Practical value. During operation of sintering machines, grid-irons are exposed to intense effects of variable temperature fields and mechanical loads. On the working branch of the sintering machine, the grate temperature reaches 1400 - 1450 ° C, and on the idle branch it decreases to seasonal summer-winter temperatures. The impact of negative operating factors on the grate leads to their chemical corrosion, deformation of the working body of the grate and loss of their performance. The number of cycles of temperature changes over the life of the machines is relatively small (up to 10^3 - 10^5) and therefore the durability of the grate is limited by the conditions of low-cycle destruction. The lack of reliability and durability of the grate is due to the working conditions, as well as their design features.

Results. It is proposed to use an indicator of low-cycle and thermal strength as a criterion of rationality of the design dimensions of the grid-irons of sinter machines. In order to reduce the downtime of the sinter machine for repairs associated with the replacement of grates, the ratio of the rate of replacement of grate should be an integer. In the manufacture of grates from one structural material, but with different thicknesses of the working part, the durability of grates with the thickness of the working part should be less than the durability of grates.

Key words: agglomeration machine, grate, temperature, grate life, low cycle and thermal strength.

УДК 622.235

Шапурин А.В. Взаимосвязи между параметрами расположения зарядов вв и кусковатостью горных пород во взрывном развале

Цель. Основной целью работы является составление математических зависимостей между параметрами расположения современных водоземлюсионных ВВ: Анемикса – 70, Анемикса – 80, Украинита – ПП-2Б, Эмонита – Н на уступах карьеров Кривбасса в горных породах различной крепости и блочности и качеством дробления горных пород во взрывном развале, для обеспечения регулируемого их дробления в различных технологических ситуациях.

Методы исследования. В работе применен комплексный метод выполнения исследований, в котором на основе известной крепости горных пород, плотности применяемого ЭВВ и его энергии, предполагается получение расчетных формул для установления параметров расположения сетки скважин на уступе карьера и удельного расхода ЭВВ на дробление горных пород, а также на основе установленного в каждом экскаваторном забое количества негабаритных кусков приходящихся на 1000 м³ отгруженных пород, определение выхода негабарита и размера среднего куска во взрывном развале.

Научная новизна. Представлено ряд новых формул для вычисления различных технологических параметров. Их практическая ценность подтверждается тем, что в ряде случаев, формулы, полученные разными методами (аналитически или статистически) в технологических расчетах дают практически одинаковые результаты.

Практическая значимость. Практическая значимость работы заключается в обеспечении горных инженеров в технических отделах карьеров и научных сотрудников в различных НИИ и ВУЗах математическим аппаратом для установления прогнозируемого качества взрывных работ, или для корректировки показателей качества дробления на труднодробимых участках карьерного поля.

Результаты. Приведены новые расчетные формулы для определения важных технологических параметров размера сетки скважин, удельного расхода ВВ, размера среднего куска измельченных взрывом горных пород содержания негабарита и представлены расчетные таблицы для широкого диапазона изменений крепости горных пород от коэффициента крепости по шкале М.М. Протодяконова, а также их блочности.

Ключевые слова: сетка скважины, удельный расход ВВ, коэффициент крепости горных пород, коэффициент равномерности дробления горных пород, размер среднего куска, выход негабарита.

Шапурін А.В. Взаємозв'язки між параметрами розташування зарядів вр і кускуватістю гірських порід у вибуховому розвалі

Мета. Основною метою роботи є складання математичних залежностей поміж параметрами розташування зарядів сучасних водоемульсійних ВР: Анемікса–70, Анемікса–80, Україніта–ППІ-2Б, Емоніта–Н на уступах кар'єрів Кривбасу в гірських породах різної міцності, та блочності і якості подрібнення гірських порід у вибуховому розвалі для забезпечення регульованого їх дроблення в різних технологічних ситуаціях.

Методи дослідження. В роботі застосовано комплексний метод виконання досліджень, в якому на основі відомої міцності гірських порід, щільності застосовуваної ЕВР, та її енергії пропонується отримання розрахункових формул для встановлення параметрів розташування сітки свердловин на уступі кар'єру і питомої витрати ЕВР на подрібнення гірських порід, а також, на основі визначеної в кожному екскаваторному вибої кількості негабаритних шматків, що приходяться на 1000 м³ відвантажених порід, визначення вмісту негабариту і розміру середнього шматка у вибуховому розвалі.

Наукова новизна. Представлено ряд нових формул для вирахування різних технологічних параметрів. Їхня практична значимість підтверджується тим, що у ряді випадків, отримані різними методами (аналітичними, або ж обробкою статистичного матеріалу), в технологічних розрахунках дають практично однакові результати.

Практична значимість. Практична значимість роботи знаходиться у забезпеченні гірничих інженерів у технічних відділах кар'єрів і наукових співробітників в різних дослідницьких центрах, математичним апаратом для встановлення прогнозованої якості вибухових робіт, або ж для коригування показників якості дроблення на важко дробимих ділянках кар'єрного поля.

Результати. Наведені нові розрахункові формули для визначення важливих технологічних параметрів: розміру сітки розташування свердловин; питомої витрати ВР; розміру середнього куска подрібнених вибухом гірських порід; вмісту негабариту; складені розрахункові таблиці для широкого діапазону змінювання міцності гірських порід за шкалою проф. М.М. Протодяконова, а також їх блочності.

Ключові слова: сітка свердловин, питома витрата ВР, коефіцієнт міцності гірських порід, коефіцієнт рівномірності дроблення гірських порід, розмір середнього куска, вміст негабариту.

Shapurin A.V. Dependencies of blast layout parameters on rock lumpiness in shotpiles

Purpose. To determine mathematical dependencies of parameters of layout of modern water emulsion explosives (Anemix - 70, Anemix - 80, Ukrainit - ППІ-2Б, Emonit - H) on Krivbas open pit benches and quality of breaking rocks of diverse hardness and block characteristics in a shotpile for ensuring regulated rock breaking in various technological situations.

Research methods. The complex research method used involves generation of equations to calculate parameters of borehole spacing and specific consumption of explosives for rock breaking on the basis of known rock hardness and density and energy of emulsion explosives applied, as well as determining the oversize yield and the size of an average piece in a shotpile on the basis the quantity of oversize pieces per 1000 m³ of removed muck.

Scientific novelty. The paper presents a number of new formulas for calculating various technological parameters. The practical value of the formulas is confirmed by the fact that in a number of cases technological calculations performed by various methods (statistical and analytical) produce practically the same results.

Practical value. The research provides mining engineers of technical departments of open pits and scientists of higher educational and research institutions with a mathematical tool to preset quality of blasting or adjust breaking quality indicators at strong sites of open pits.

Results. The paper offers new calculation formulas for determining important technological parameters of borehole spacing, specific consumption of explosives, the size of an average piece of blasted rocks, availability of lumps and presents calculation tables for a wide range of rock hardness variations (Protodiakonov scale) and block characteristics.

Key words: borehole spacing, specific consumption of explosives, rock hardness, rock breaking uniformity ratio, average piece size, oversize yield

УДК 711.168:727

Шимко В. А. Питання якісної модернізації архітектурного середовища у вишах

Мета. Метою даної роботи є показати необхідність поновлення об'ємно-просторової організації архітектурного середовища вищих навчальних закладів в умовах комплексної реконструкції або якісної модернізації, поставити завдання і методи дослідження.

Методи дослідження. В представленій роботі виконано детальний аналіз сучасного стану архітектурного середовища у вищих навчальних закладах; аргументована необхідність поновлення об'ємно-просторової організації архітектурного середовища вишів в умовах комплексної реконструкції або якісної модернізації, поставлені відповідні завдання та визначені відповідні методи дослідження.

Наукова новизна. Акцентуація саме на питаннях виконання якісної модернізації складає актуальність роботи. Її метою є створення більш якісного та сучасного предметно-просторового середовища вишу, впровадження інноваційних технологій у науковий та освітній простори, забезпечення динамічного взаємозв'язку між людиною і середовищем.

Практична значимість. Відзначено, що архітектурне середовище будівель вишів знаходиться в нерозривній залежності від змін, що відбуваються в різних сферах діяльності суспільства. Переосмислення підходів до формування сучасного архітектурного середовища для вищої освіти зумовлює вдосконалення та подальший розвиток архітектури вишу. Визначені основні прогресивні підходи та напрямки якісної модернізації архітектурного середовища вишів в умовах реконструкції, розглянуті основні принципи, які допоможуть у вирішенні цього питання. результати роботи зацікавлять всіх фахівців та спеціалістів, що задіяні у освітньому процесі, архітектурній та будівельній галузях.

Результати. Встановлено, що в умовах реконструкції архітектурного середовища вищих навчальних закладів достатньо велика необхідність та більш доцільне (з точки зору капітальних витрат) виконання саме якісної модернізації зовнішнього та внутрішнього архітектурного простору, так як освіта і наука є частиною основного фундаменту функціонування і процвітання регіону та навіть країни в цілому.

Визначені основні прогресивні підходи та напрямки якісної модернізації архітектурного середовища вишів в умовах реконструкції, розглянуті основні принципи, які допоможуть у вирішенні цього питання. Також для вирішення низки існуючих проблем поставлені завдання і методи дослідження даної теми.

Ключові слова: реконструкція, якісна модернізація, архітектурне середовище, інновації, науковий і освітній простори, вищий навчальний заклад.

Шимко В. А. Вопросы качественной модернизации архитектурной среды в вузах

Цель. Целью данной работы является показать необходимость обновления объемно-пространственной организации архитектурной среды высших учебных заведений в условиях комплексной реконструкции или качественной модернизации, поставить задачи и методы исследования.

Методы исследования. В представленной работе выполнен детальный анализ современного состояния архитектурной среды в высших учебных заведениях; аргументирована необходимость обновления объемно-пространственной организации архитектурной среды вузов в условиях комплексной реконструкции или качественной модернизации, поставленные соответствующие задачи и определены соответствующие методы исследования.

Научная новизна. Акцентуация именно на вопросах выполнения качественной модернизации составляет актуальность работы. Ее целью является создание более качественного и современного предметно-пространственной среды вуза, внедрение инновационных технологий в научный и образовательный пространства, обеспечение динамического взаимодействия между человеком и средой.

Практическая значимость. Отмечено, что архитектурная среда зданий вузов находится в неразрывном зависимости от изменений, происходящих в различных сферах деятельности общества. Переосмысление подходов к формированию современного архитектурного среды для высшего образования предопределяет совершенствование и дальнейшее развитие архитектуры вуза. Результаты работы заинтересуют всех специалистов, задействованных в образовательном процессе, архитектурной и строительной отраслях.

Результаты. Установлено, что в условиях реконструкции архитектурной среды высших учебных заведений достаточно большая необходимость и более целесообразно (с точки зрения капитальных затрат) выполнение именно качественной модернизации внешнего и внутреннего архитектурного пространства, так как образование и наука является частью основного фундамента функционирования и процветания региона и даже страны в целом.

Определены основные прогрессивные подходы и направления качественной модернизации архитектурной среды вузов в условиях реконструкции, рассмотрены основные принципы, которые помогут в решении этого вопроса. Также для решения ряда существующих проблем определены задачи и методы исследования данной темы.

Ключевые слова: реконструкция, качественная модернизация, архитектурная среда, инновации, научный и образовательный пространства, высшее учебное заведение.

Shymko V. A. Qualitative modernization of architectural environment at universities

Purpose. To show the necessity to update the volumetric and spatial organization of the architectural environment of higher educational institutions in the context of a comprehensive reconstruction or high-quality modernization, to set the tasks and research methods.

Research methods. In the presented work, a detailed analysis of the actual state of the architectural environment in higher education institutions is performed; the necessity of updating the volumetric and spatial organization of the architectural environment of universities under complex reconstruction or high-quality modernization is proved. The relevant tasks are set and the appropriate research methods are identified.

Scientific novelty. Emphasis on the issues of the implementation of quality modernization is the relevance of the work. Its objective is to create a better and more modern volumetric and spatial environment of a university, to introduce innovative technologies into the scientific and educational field, and ensure a dynamic person and environment feedback.

Practical value. It is noted that the architectural environment of university buildings is inextricably dependent on changes occurring in society. Rethinking of the approaches predetermines the improvement and further development of university architecture to design a modern architectural environment for higher education. The results of the work will be of interest to all professionals and experts involved in the educational process, architectural and construction industries.

Results. It has been established that under the conditions of reconstruction of the architectural environment of higher educational institutions, there is a rather considerable necessity and it is more expedient (from the point of view of capital expenditures) to perform the qualitative modernization of the external and internal architectural space precisely, since education and science are part of the basic foundation for the functioning and prosperity of the region and even substantially the country.

The main progressive approaches and directions of a qualitative modernization of the architectural environment of universities in the context of reconstruction are identified, the basic principles that will help to solve this issue are considered. Also, it is identified a number of existing problems, the tasks and methods of research on this topic.

Key words: reconstruction, high-quality modernization, architectural environment, innovation, scientific and educational field, higher education institution.

УДК 622.72:622.341

Азарян В.А. Дослідження впливу якісних показників фінального інтегрованого рудопотоку на ефективність збагачення

Метою роботи є дослідження впливу коливань сировинної якості фінального інтегрованого рудопотоку на показник ефективності збагачення. Відомо, що якість кінцевої продукції комбінату безпосередньо залежить від характеристик руди, яка надходить на рудозбагачувальних фабрик (РЗФ) у вигляді інтегрованого фінального рудопотоку, тому що оптимальні режими збагачення можливо забезпечити лише при строго визначених показниках вмісту корисного компонента (в.к.к.) у цьому потоці. Залізорудна сировина має неоднорідний розподіл в.к.к. в межах родовища, відбувається та транспортне обладнання працює неритмічно, внаслідок чого рудні вантажопотоки різного ступеню інтеграції мають значні амплітудно-частотні коливання як за якісними, так й за кількісними показниками. Нестабільність в.к.к. у фінальному рудному вантажопотоці, що спрямовується на збагачення, призводить до зниження виходу концентрату, збільшення втрат у хвостах, підвищення витрат, зниження прибутку підприємства та падіння його конкурентоздатності.

Методи досліджень. В роботі було застосовано основні методи гірничої справи та математичне моделювання з подальшим графоаналітичним аналізом отриманих залежностей.

Наукова новизна полягає у встановленні залежностей між показником діапазонних значень в.к.к. інтегрованого фінального рудопотоку гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК) та ефективністю збагачення, яка визначається ступінню повноти витягу корисного компонента у концентрат, та аналітично має вигляд відношення різниці кінцевих значень збагачувального процесу до в.к.к. вхідної руди.

Практичне значення полягає у отриманні інформації щодо показників кінцевих значень збагачувального процесу в залежності від діапазону коливань в.к.к. у фінальному інтегрованому рудопотоці ГЗК. Наявність цієї інформації дозволить здійснювати планування, контроль та управління якістю гірничих робіт комбінату з урахуванням, насамперед, основних вимог збагачувального комплексу, що забезпечить оптимізацію процесу переробки, дозволить отримати концентрат відповідної якості та у заданому обсязі.

Висновки. Внаслідок проведених досліджень встановлено зворотно-пропорційну залежність значень середньоквадратичного відхилення (СКВ) в.к.к. в сформованому фінальному рудопотоці ГЗК та показників ефективності збагачення. Встановлено, що при збільшенні амплітуди коливань в.к.к. фінального рудопотоку за менш якісній руді відбувається більш активне падіння показника ефективності збагачення.

Ключові слова: рудний вантажопотік, оптимізація процесу збагачення, діапазон коливань вмісту корисного компонента, ефективність збагачення, середньоквадратичне відхилення.

Азарян В.А. Исследование влияния качественных показателей финального интегрированного рудопотока на эффективность обогащения

Целью работы является исследование влияния колебаний сырьевого качества финального интегрированного рудопотока на показатель эффективности обогащения. Известно, что качество конечной продукции комбината напрямую зависит от характеристик руды, поступающей на рудообогатительную фабрику (РОФ) в виде интегрированного финального рудопотока, потому что оптимальные режимы обогащения можно обеспечить только при строго определенных показателях содержания полезного компонента (с.п.к.) в этом потоке. Железорудное сырье имеет неоднородное распределение с.п.к. в пределах месторождения, добывающее и транспортное оборудование работает неритмично, в результате чего рудные грузопотоки разной степени интеграции имеют значительные амплитудно-частотные колебания как по качественным, так и по количественным показателям. Нестабильность с.п.к. в финальном рудном грузопотоке, направляемом на обогащение, приводит к снижению выхода концентрата, увеличению потерь в хвостах, повышению расходов, снижению прибыли предприятия и падению его конкурентоспособности.

Методы исследований. В работе были использованы основные методы горного дела и математическое моделирование с последующим графоаналитическим анализом полученных зависимостей.

Научная новизна заключается в установлении зависимостей между показателем диапазонных значений с.п.к. интегрированного финального рудопотока горно-обогатительного комбината (ГОК) и эффективностью обогащения, которая определяется степенью полноты извлечения полезного компонента в концентрат, и аналитически выглядит как отношение разности конечных значений обогатительного процесса к с.п.к. исходной руды.

Практическое значение заключается в получении информации о показателях конечных значений обогатительного процесса в зависимости от диапазона колебаний с.п.к. в финальном интегрированном рудопотоке ГОКа. Наличие этой информации позволит осуществлять планирование, контроль и управление качеством горных работ комбината с учетом, прежде всего, основных требований обогатительного комплекса, обеспечит оптимизацию процесса переработки, позволит получить концентрат соответствующего качества и в заданном объеме.

Выводы. Вследствие проведенных исследований установлено обратно-пропорциональную зависимость значений среднеквадратичного отклонения (СКО) с.п.к. в сформированном финальном рудопотоке ГОКа и показателей эффективности обогащения. Установлено, что при увеличении амплитуды колебаний с.п.к. финального рудопотока при менее качественной руде происходит более активное падение показателя эффективности обогащения.

Ключевые слова: рудный грузопоток, оптимизация процесса обогащения, диапазон колебаний содержания полезного компонента, эффективность обогащения, среднеквадратическое отклонение.

Azarian V.A. Research of the influence of quality indices of final integrated mining flow on efficiency enrichment

Purpose. The aim of the study is to study the effect of fluctuations in raw material quality of the final integrated ore flow on the enrichment efficiency index. It is known that the quality of the final production of the plant depends directly on the characteristics of the ore supplied to the ore-dressing plant in the form of integrated final ore flow, because the optimal modes of enrichment can be ensured only with strictly defined indicators of the content of the useful component in this thread. Iron ore has a heterogeneous distribution within the field, the extraction and transport equipment operates irregularly, resulting in ore cargo flows of varying degrees of integration have significant amplitude-frequency variations in both qualitative and quantitative indicators. Instability in the final ore cargo, which is aimed at enrichment, leads to a decrease in concentrate output, an increase in losses in the tails, an increase in costs, a decrease in the profit of the enterprise and a decrease in its competitiveness.

Research methods. The basic methods of mining and mathematical modeling were applied in the work with the subsequent graphoanalytical analysis of the obtained dependences.

Scientific novelty is to establish dependencies between the indicator of range values the integrated final ore flow of the mining and processing plant and the enrichment efficiency, which is determined by the degree of completeness of extraction of the useful component into the concentrate, and analytically has the relation of the difference of the final values of the enrichment process to content of the useful component ore input.

Practical value is to obtain information on the values content of the useful component of the final values of the enrichment process, depending on the range of oscillations. in the final integrated mining and quarrying of the mining and processing plant. The availability of this information will allow to plan, control and manage the quality of mining operations of the plant, taking into account, first of all, the basic requirements of the enrichment complex, which will provide optimization of the processing process, will allow obtaining concentrate of appropriate quality and in a given volume.

Results. As a result of the conducted researches, the inverse proportional dependence of the values of the useful component of root mean square deviation was determined. in the formed final ore flow of the mining and processing plant and indicators of enrichment efficiency. It is established that as the amplitude of oscillations increases of the useful component of final ore flow for lower quality ore there is a more active fall in the index of enrichment efficiency.

Key words: ore cargo flow, optimization of the enrichment process, range of fluctuations of the content of the useful component, enrichment efficiency, standard deviation.

Гірничий вісник

Науково-технічний збірник

Випуск 106

Редактор, коректор
Комп'ютерний набір, верстка

Наумова Н.В.
Підпригора Н.П.

Здано в набір 23.12.19 р. Підписано до друку 27.12.19 р. за рекомендацією Вченої Ради

ДВНЗ «Криворізький національний університет», протокол № 4 від 26.12.2019 р.

Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 10,1 Тираж 100 прим.

Замовл. № 8. Укр., рос., англ.

Надруковано:

ФОП Сінельников Дмитро Анатолійович

Свідоцтво ДК № 6780 від 29.05.2019

50050, м. Кривий Ріг, пр.Металургів, 30/49.

тел. (067) 777-17-33

Адреса видавництва: вул. Віталія Матусевича, 11, Кривий Ріг, 50027

ДВНЗ «Криворізький національний університет»