

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ГЕОТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ ІМ. М.С. ПОЛЯКОВА

ХІХ МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ

*Геотехнічні проблеми розробки родовищ*

Матеріали конференції



Дніпро 2021

УДК 622.02 : 539.3

**Геотехнічні проблеми розробки родовищ:** Матеріали XIX міжнародної конференції молодих вчених (28 жовтня 2021 року, м. Дніпро). – Дніпро: ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України, 2021. – 197 с.

**Geotechnical problems of mining of mineral deposits:** Proceedings of the XIX International Conference of Young Scientists (October 28, 2021, Dnipro). - Dnipro: IGTM by name M.S. Polyakov NAS of Ukraine, 2021. - 197 p.

Редакційна колегія:

Булат А.Ф., академік НАН України (головний редактор)  
Четверик М.С., д-р техн. наук (заступник головного редактора)  
Бубнова О.А., канд. техн. наук (редактор видання)  
Баранов В.А., д-р геол. наук  
Безручко К.А., д-р геол. наук  
Блюсс Б.О., д-р техн. наук  
Дирда В.І., д-р техн. наук  
Мінєєв С.П., д-р техн. наук  
Паламарчук Т.А., д-р техн. наук  
Пимоненко Л.І., д-р геол. наук  
Семененко Є.В., д-р техн. наук  
Шевченко В.Г., д-р техн. наук  
Шевченко Г.О., д-р техн. наук

У збірнику містяться матеріали XIX міжнародної конференції молодих вчених «Геотехнічні проблеми розробки родовищ», яка відбулась 28 жовтня 2021 року в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.

Матеріали опубліковані в авторській редакції. За зміст та достовірність матеріалів, поданих у збірнику, відповідальність несуть автори.

© Інститут геотехнічної механіки  
ім. М.С. Полякова НАН України, 2021

**ЗМІСТ**

<i>Булат А.Ф., Баранов В.А.</i> АНАЛІЗ СТАНУ ГЕРМАНІЄНОСНОСТІ ВУГІЛЛЯ УКРАЇНИ	7
<i>Исаков Б.Б., Четверик М.С.</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА ГЛУБОКИХ КАРЬЕРАХ С УЧЕТОМ СТРОЕНИЯ ИХ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ	10
<i>Хужаев Т.Х., Таикулов А.А.У.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ МАТОЧНЫХ РАСТВОРОВ	14
<i>Слямбеков Н.А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В БУРОВЗРЫВНОМ ДЕЛЕ	16
<i>Исаков Б.Б.</i> ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПЕРЕХОДА К ОЧЕРЕДНОЙ СХЕМЕ ВСКРЫТИЯ ГОРИЗОНТОВ ПРИ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ	21
<i>Петльований М.В., Сай К.С., Зубко С.А.</i> ОЦІНКА ОБ'ЄМІВ ПОРОДНИХ ПОТОКІВ І ПІДЗЕМНИХ ПУСТОТ, ЩО УТВОРЮЮТЬСЯ ПРИ ВИДОБУТКУ ВУГІЛЛЯ	22
<i>Ишков В.В., Козій Є.С., Сливний С.О.</i> ПРО РОЗПОДІЛ ГЕРМАНІЮ У ВУГІЛЬНОМУ ПЛАСТІ $c_8^B$ ПОЛЯ ШАХТИ «ЗАХІДНО-ДОНБАСЬКА»	27
<i>Притула Д.О., Агаєв Р.А., Власенко В.В., Дудля К.Є., Ключев Е.С.</i> ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ ВИДОБУТКУ МЕТАНУ ЧЕРЕЗ ПОВЕРХНЕВІ СВЕРДЛОВИНИ ПНЕВМОГІДРОДИНАМІЧНОЮ ДІЄЮ	32
<i>Давидов С.Л., Опарін С.О., Радченко Ю.М.</i> ПЕРСПЕКТИВИ ПРОМИСЛОВОГО ВИКОРИСТАННЯ СИНТЕЗГАЗА, ОТРИМАНОВОГО ГАЗИФІКАЦІЄЮ ВУГЛЕЦЕВМІСНОЇ СИРОВИНИ	36
<i>Руднев Є.С.</i> ВИБІР ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВУГІЛЬНИХ ШАХТОПЛАСТІВ ПРИ ВЕДЕНІ ГІРНИЧИХ РОБІТ	40
<i>Давидов С.Л., Опарін С.О., Холявченко Л.Т.</i> ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОЕФІЦІЄНТІВ КОРИСНОЇ ДІЇ ПРОЦЕСІВ ПЛАЗМОХІМІЧНОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ КАРБОНОВМІСНОЇ СИРОВИНИ	45

<i>Медведева О.О., Рижова С.О., Кругліков Д.Г.</i> ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОГЕННИХ РОЗСИПІВ, СФОРМОВАНИХ У ШТУЧНИХ СХОВИЩАХ	47
<i>Кокоулін І.Є., Безручко К.А., Мирошніченко В.В.</i> МЕТОД ОЦІНКИ РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ РАПТОВОГО ВИКИДУ ВУГІЛЛЯ, ПОРОДИ І ГАЗУ У ВУГІЛЬНІЙ ШАХТІ	52
<i>Слободяникова І.Л., Киричко С.М.</i> ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУТКУ ВУГІЛЬНИХ ТЕХНОГЕННИХ ПОКЛАДІВ У ВИГЛЯДІ ГІДРОСУМІШЕЙ ВИСОКОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ	58
<i>Малашкевич Д.С., Єрисов М.М., Черненко М.М.</i> ОЦІНКА ВПЛИВУ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ І ГІРНИЧОТЕХНІЧНИХ УМОВ НА ПАРАМЕТРИ ЗВЕДЕННЯ ПОРОДНОГО ЗАКЛАДНОГО МАСИВУ	63
<i>Антіпович Я.В.</i> ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ АБСОЛЮТНОЇ ПОРИСТОСТІ ПІСКОВИКІВ ДОНБАСУ	68
<i>Varanov V.A., Stefanko S.V., Kirichenko V.A.</i> REGULARITIES OF CATAGENESIS IN DONBASS SEDIMENTS	71
<i>Ішков В.В., Козій Є.С., Тиха С.М.</i> ОСНОВНІ ОСОБЛИВОСТІ МОРФОЛОГІЇ УРОЛІТІВ ЖИТЕЛІВ МІСТ ДНІПРА І ЗАПОРІЖЖЯ	76
<i>Борисенко А.О., Тітов В.П., Тяпкін О.К.</i> КОМПЛЕКСНІ ГЕОЕКОЛОГІЧНІ ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОЗЛОМНО-БЛОКОВОЇ ТЕКТОНІКИ ПІВДЕННОГО СХОДУ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА	80
<i>Єрофєєв А.М., Ішков В.В., Козій Є.С.</i> ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ОСНОВНИХ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КАЧАЛІВСЬКОГО, КУЛИЧИХІНСЬКОГО, МАТЛАХОВСЬКОГО, МАЛОСОРОЧИНСЬКОГО ТА СОФІЇВСЬКОГО РОДОВИЩ НА ВМІСТ ВАНАДІЮ У НАФТІ	85
<i>Стефанко С.В.</i> ТРАНСФОРМАЦІЯ МІНЕРАЛІВ ПІСКОВИКІВ ДОНЕЦЬКОГО БАСЕЙНУ НА СТАДІЇ ПІЗНЬОГО КАТАГЕНЕЗУ	90
<i>Маметова Л.Ф.</i> ВПЛИВ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСОБЛИВОСТІ РУДОУТВОРЕННЯ УРАНУ	94
<i>Пащенко П.С.</i> МЕТОД ТА ПРИСТРІЙ ВІДБОРУ І ПІДГОТОВКИ ПРОБ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ САМОЗАЙМАННЯ ВУГІЛЛЯ	99
<i>Vibnova O.A.</i> REGULARITIES OF SEGREGATION AND SEDIMENTATION OF ROCK PARTICLES IN SLUDGE ACCUMULATORS	103

<i>Медведева О.О., Сімес В.Є.</i> РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ГІДРОМЕХАНІЗАЦІЇ ДЛЯ ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СХОВИЩ ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ	106
<i>Yatsun V.V., Yatsun V.V.</i> STUDY OF STEADY VIBRATIONS OF A TWO-MASS VIBRATION MACHINE EXCITED BY A PASSIVE AUTO BALANCER	111
<i>Ігнатов А.О., Аскеров І.К.</i> ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ВУЗЛІВ МАШИН УДАРНОЇ ДІЇ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ПРАКТИЦІ СПОРУДЖЕННЯ СВЕРДЛОВИН	115
<i>Говоруха В.В., Говоруха А.В., Собко Т.П., Семидітна Л.П.</i> МЕТОД ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОСТОРОВИХ КОЛИВАНЬ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ПРИ РУСІ ПО РЕЙКОВІЙ КОЛІЇ НА ОКРЕМИХ ОПОРАХ З ПРУЖНОДИСИПАТИВНИМИ ТА ІНЕРЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ	120
<i>Batur M., Babii K.</i> DIURNAL CYCLE OF PM <sub>2.5</sub> AND PM <sub>10</sub> IN THE CONTEXT OF METEOROLOGICAL PARAMETERS AT MINING CITY LEVEL: A CASE STUDY OF KRYVYI RIH, UKRAINE	125
<i>Гальченко З.С., Данько Т.Т.</i> ОЦІНКА ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПОРУШЕНИХ ГІРНИЧИМИ РОБОТАМИ ТЕРИТОРІЙ	129
<i>Медведева О.О., Медяник В.Ю., Роман С.Г.</i> ДО ПИТАНЬ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ	134
<i>Федів І.С., Степова К.В.</i> АДСОРБЦІЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ЗІ СТИЧНИХ ВОД АДСОРБЕНТАМИ МОДИФІКОВАНИМИ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ	137
<i>Четверик М.С., Левченко К.С.</i> АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПОВОДЖЕННЯ З КАР'ЄРНИМИ ВОДАМИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ЇХ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ	139
<i>Чоботько І.І.</i> ЗАСТОСУВАННЯ ГІДРОКАРБОНАТІВ ДЛЯ ОБРОБКИ ВІДВАЛЬНОЇ МАСИ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ	143
<i>Ахмедова Н.М., Карабекян С.Х.</i> ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД	145
<i>Ікол О.О.</i> ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ ГІРНИЧОДОБУВНОГО ОБЛАДНАННЯ РІЗНИХ ТИПІВ ТА БОРОТЬБА З НЕГАТИВНИМИ НАСЛІДКАМИ	146
<i>Ворон О.А., Чайка Т.М.</i> ПЕРСПЕКТИВИ РЕВІТАЛІЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ ЗОН МІСТ УКРАЇНИ НА ПРИКЛАДІ ТЕС	152

<i>Івлев А.С.</i> ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ КЛИМАТИЧНИХ УМОВ	155
<i>Малєєв Є.В.</i> ПРОБЛЕМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ КРИВБАСУ І ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ	158
<i>Чеберячко Ю.І., Радчук Д.І., Столбченко О.В., Наумов М.М., Книш І.М.</i> РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ВИГОТОВЛЕННЯ НАГОЛІВ'Я З УРАХУВАННЯМ ДАНИХ ЗД МОДЕЛЕЙ ГОЛІВ КОРИСТУВАЧІВ	163
<i>Рубель А.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СКИПОВ В КОНСТРУКЦИЯХ КАНАТНО-ПРОФИЛЬНЫХ ПРОВОДНИКОВ	169
<i>Шевченко О.І.</i> ВПЛИВ РОЗМІРУ ЧАСТОК ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ НА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЇЇ ЗНЕВОДНЕННЯ ТА РОЗДІЛЕННЯ ЗА КРУПНІСТЮ	178
<i>Мухачев А.П., Харитонова О.А., Єлатонцев Д.О.</i> ПРОЄКТУВАННЯ УРАНОВИХ ШАХТ – НАЙВАЖЛИВІШИЙ ЕТАП ОРГАНІЗАЦІЇ ВИДОБУТКУ УРАНУ ДЛЯ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	183
<i>Мухачев А.П., Єлатонцев Д.О., Харитонова О.А.</i> ПРОЄКТУВАННЯ УРАНОВОГО ВИРОБНИЦТВА: ПОЧАТОК РОЗВИТКУ ВІТЧИЗНЯНОЇ АТОМНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	185
<i>Кочмар І.М., Карабин В.В.</i> ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ КАМ'ЯНОГО ВУГІЛЛЯ ТА СКЛАДУВАННЯ ПУСТОЇ ВІДВАЛЬНОЇ ПОРОДИ	189
<i>Збаранська М.І., Бабій К.В., Гойчук А.П.</i> ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕДУРИ ОФОРМЛЕННЯ ДОКУМЕНТІВ ЩОДО РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК ГІРНИЧОДОБУВНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	192

## АНАЛІЗ СТАНУ ГЕРМАНІЄНОСНОСТІ ВУГІЛЛЯ УКРАЇНИ

<sup>1</sup>Булат А.Ф., д-р техн. наук, академік НАН України,

<sup>1</sup>Баранов В.А., д-р геол. наук, ст. наук. співр.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро, Україна.

**Анотація.** Приведені основні результати аналізу кількості германію у вугіллі та продуктах його переробки у вугільних басейнах України. Показано, що зараз актуальним залишається Донецький вугільний басейн. Досить цікавим на германій є лігнітові родовища і перспективність територій Закарпаття. Висловлено думку про перспективність пластів окисленого вугілля в зоні гіпергенезу. Звернено увагу на терикони, з якими пов'язані малі та розсіяні елементи.

Початок нового століття ознаменувався широким розвитком та впровадженням у всіх країнах комп'ютерної техніки, мобільних телефонів та інших гаджетів, для виготовлення яких, крім нових технологій та програмного забезпечення, потрібні специфічні матеріали та метали, у тому числі – германій.

У зв'язку з цим та іншими викликами людству в сировинному плані та як реакція на них улітку цього року була сформульована програма «Критичні та стратегічні мінеральні ресурси України за умов глобалізації та змін клімату», яка для нашої країни має добре підґрунтя.

Якщо перлюструвати сировинну базу германію у світі взагалі та в нашій країні зокрема, можна зазначити, що на сучасному етапі одним з важливих джерел для вилучення германію є вугілля, з якого раніше, на стадії коксування, додатково вилучали даний елемент у вигляді металу.

Германій, виходячи з найбільш поширених уявлень, відноситься до мікроелементів або малих елементів, до яких належать ті, кларки яких не перевищують 0,1 %. У вугіллі країн СНД усереднений підвищений вміст (г/т) мають такі мікроелементи: Ge – 100; Pb - 125; Be - 12; Mo - 7,7; Zr - 418; V - 381; Ni - 132; Cu - 146; Zn - 216; W - 46; Yb - 6.

Раніше [1] для мікроелементів у сучасних торфовищах була встановлена залежність їх складу від будови площі знесення, що було доведено й для вугільних басейнів та родовищ: для ультраосновних порід типові V, Cr, Co, Ni, Zn, Cu, Se; для лужних порід типові Zr, V, Yb, La, Nb; для кислих порід – Be, Ga, Mo, Pb, Sn, Ge.

Таким чином, факт приуроченості германію та групи вищезгаданих мікроелементів до кислих материнських порід, відомий і встановлений. Крім кислих порід різними авторами встановлено зв'язок підвищеного вмісту германію з вулканогенними породами.

На території України три вугільні басейни: Донецький, Львівсько-Волинський та Дніпровський буровугільний, який зараз не розробляється. Львівсько-Волинський басейн не становить суттєвого інтересу, оскільки загальні запаси германію по чотирьох пластах, що підраховані для шахти №1 Тяглівська, незначні - трохи вищі за 500 т.

Донецький вугільний басейн, який ще не закритий, налічує близько 30 вугільних шахт з марками вугілля Д, ДГ, Г, Ж, К. Причому, основний видобуток припадає на вугілля марок Д, ДГ, Г Павлоградсько-Петропавлівського та Красноармійського геолого-промислових районів. У вугіллі цього басейну знаходиться значна кількість запасів германію (кілька тисяч тонн), незважаючи на досить низький вміст його у вугіллі – зазвичай кілька грамів на тонну вугілля. Зрозуміло, що брати його з вугілля не вигідно і раніше його вилучали як попутну сировину на коксохімічних підприємствах з так званих надсмольних вод і кам'яновугільної смоли. Технологічна схема даного процесу є в Довіднику з хімії [2]. У разі потреби дану технологічну схему можна відновити, тим паче, що ще близько 20 років тому германій вилучався в обсягах до 1-3 т і власні потреби задовольнялись такою кількістю [3].

Перспективною на германій є зола виносу, що залишається після спалювання енергетичного вугілля на ТЕС. Середній вміст германію в золі виносу 500 г/т, але є й вищі вмісти.

Зараз, в інтернеті, є понад 5 тисяч пропозицій про продаж золи виносу, як наповнювача у легкий бетон, під час підготовки будівництва та ремонту доріг тощо. Але в цій золі можуть бути суттєві запаси малих елементів і при їх вилученні тонна золи може коштувати не 500-1000 грн, як пропонується зараз, а значно більше.

Автори Довідника [2] вказують, що в золах, шлаках, пилах, що утворюються при згорянні всіх марок вугілля України, крім германію містяться підвищені концентрації берилію, галію, цезію, ітрію, кобальту, миш'яку, ванадію, урану та інших металів, що входять до органометалевих, сульфідних та інших сполук. Цікавим є встановлення можливостей їх вилучення разом з германієм.

Крім вугільних шахт Донецького басейну, де є германій, слід нагадати про перспективи Закарпатських родовищ та рудопроявів лігніту на незначній глибині, в якому середній вміст германію сягає близько 200 г/т, а на деяких площах його вміст у два рази вищий.

У 80-і роки минулого століття була навіть розроблена технологія промислового освоєння Малобіганьського та Біганьського родовищ, шляхом спалювання лігнітів на Ужгородській ТЕС, з подальшою гідрометалургійною переробкою золи та пилу, що містять декілька кілограмів германію на тонну. Важливо те, що на Закарпатті є ще 15 невивчених але перспективних на германієносність площ. Тобто, крім закарпатських родовищ золота, пов'язаних з вулканічними породами, Україна має ще суттєві ресурси малих елементів у розсіяному стані, які досить вигідно розробляти.

З вугіллям пов'язана ще одна цікава, на нашу думку, можливість вилучення малих елементів. З самого вугілля вилучати германій та малі елементи, як ми бачимо, не вигідно, а тому слід звернути увагу на окислені пласти вугілля як кам'яного, так і бурого. Річ у тім, що в зоні гіпергенезу, на малій глибині, на



території нашої країни залягають пласти окисленого вугілля, яке більше схоже на сажу. Роботи з визначення складу цього вугілля чи залишків його не виконувались, бо не було потреби. Зараз, з приводу наявності вказаної «Програми...», можна провести опробування верхніх пластів окисленого вугілля у Дніпровському басейні та Донбасі. В разі достатніх об'ємів та вмісту малих елементів в окисленому вугіллі, яке в значній мірі пройшло стадію сублімації, його можна буде залучати до видобутку вказаних елементів, з подальшим використанням гідрометалургійних технологій.

Ще одним потенційним джерелом вилучення германію в нашій країні є відвали пустих порід вугільних шахт (терикони), де міститься чимало цінних та рідкісних елементів. На цю тему в кінці минулого століття та на початку нашого, регулярно публікувались цікаві статті у збірнику «Геотехнічна механіка» Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. З одного боку, терикони розглядались як негативний з екологічної точки зору чинник, а з другого - як джерела отримання цінних і рідкісних мінеральних ресурсів.

Дотепер не існує задовільних технологій видобутку корисних копалин з цих порід, але зважаючи на появу нових методів, устаткування, в останні роки, при достатньому фінансуванні, вказані технології можуть бути розроблені чи вдосконалені і впроваджені у виробництво, зважаючи на розвинену гірничо-металургійну базу сходу України.

Таким чином, на території нашої країни є декілька типів джерел для отримання стратегічних мінеральних ресурсів й зокрема, германію. У подальшому було б доцільно:

- провести обстеження та випробування їх на вміст як германію, так і інших малих та розсіяних елементів;
- створити кадастр найбільш перспективних об'єктів;
- провести аналіз та систематизацію існуючих технологій вилучення стратегічних мінеральних ресурсів;
- розробити шляхи їх вдосконалення з залученням нової техніки та нових можливостей;
- розробити регламент відпрацювання найбільш економічно доцільних об'єктів.

Науковий супровід вказаних робіт та їх практичне втілення може взяти на себе ІГТМ НАН України, який має для цього підготовлені наукові кадри, достатній досвід, наукові розробки, в тому числі й оригінальне технологічне обладнання.

### Список літератури

1. Паффенгольц, К.Н. (ред.) (1978). *Геологический словарь в 2-х томах*. М.: Наука.
2. *Справочник химика 21 века. Химия и химическая технология (2021)* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://chem21.info/info/82423/>
3. Щербак, Н.П., Бобров, А.Б. (ред.) (2005). *Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины*. Киев-Львов: Центр Европы.

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА ГЛУБОКИХ КАРЬЕРАХ С УЧЕТОМ СТРОЕНИЯ ИХ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

<sup>1</sup>*Исаков Бахытжан Бауыржанович*

<sup>2</sup>*Четверик М.С., докт. техн. наук, проф.*

<sup>1</sup>*Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Республика Казахстан*

<sup>2</sup>*Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Днепр, Украина*

**Аннотация.** За последние 20 лет изменились параметры рабочей зоны глубоких карьеров, которая стала состоять из участков наклонных и крутонаклонных бортов. Для этих условий обосновано применение циклично-поточной технологии с крутонаклонными и наклонными конвейерами. Определены параметры крутонаклонного конвейера при транспортировании пород с большой плотностью. Изложены рациональные схемы вскрытия горизонтов для этих условий.

**Введение.** В период с 2000 годов существенно изменилась технология добычи руды на глубоких горизонтах карьеров, а также изменились их параметры в рабочей зоне, углы откоса бортов в зоне работы железнодорожного транспорта при его применении с повышенными уклонами. На ряде карьеров в схемах циклично-поточной технологии (ЦПТ) начали применять крутонаклонные конвейеры (КНК). Производится отработка горизонтов крутыми слоями с перемещением горных работ по фронту волнами. Поэтому применяемые ранее схемы вскрытия горизонтов глубоких железорудных карьеров стали не соответствовать изменившимся условиям. Кроме того, применение крутонаклонных конвейеров для условий глубоких железорудных карьеров и транспортирования руд высокой плотности требует обоснования устойчивой работы крутонаклонного конвейера, максимальной крупности куска в транспортируемой горной массе.

В связи с этим **целью** исследования является обоснование перспективных направлений развития ЦПТ на глубоких железорудных карьерах с учетом строения их рабочей зоны и применения КНК.

### **Результаты исследований.**

**1. Параметры крутонаклонного конвейера.** При определенных параметрах транспортируемого лентой конвейера крупного куска, содержащегося в транспортируемой горной массе, и определенной его кинетической энергии достигается устойчивая работа системы, широко эксплуатируемых наклонных конвейеров. Принято, что при такой же кинетической энергии куска (руды, породы), содержащегося в транспортируемой горной массе будет обеспечиваться устойчивая работа и крутонаклонного конвейера. Исходя из этого, определены параметры транспортируемого куска и параметры крутонаклонного конвейера. По максимальной крупности кусков, которые

поступают после дробления в конусной дробилке крупного дробления на крутонаклонный конвейер, устойчивая его работа обеспечивается при плотности транспортируемых пород не более  $2,8 \text{ т/м}^3$ .

Допустим, что на ленте крутонаклонного конвейера расположен крупный кусок горной породы, крепостью до 18 по шкале Протодяконова (рис.1). В связи с применением конвейера с лентой глубокой вогнутости на участке подъема кусок породы не может скатиться вниз по ленте, поскольку будет зажат в ленте конвейера. Кроме того, этому будет препятствовать порода на ленте, погруженная ранее. При перемещении конвейерной ленты с определенной скоростью будут воздействовать силы от кинетической энергии куска. Они будут проявляться следующим образом: I воздействие куска горной породы (1) на ленту конвейера; II воздействие куска горной породы через ленту конвейера на роlikоопору (2); III воздействие куска горной породы через ленту, роlikоопору на подшипник роlikоопоры (3); IV воздействие крупного куска горной породы на ленту, затем роlikоопору, затем подшипник и удар подшипника на стержень роlikоопоры (4); V –удар стержня роlikоопоры на став конвейера (5).

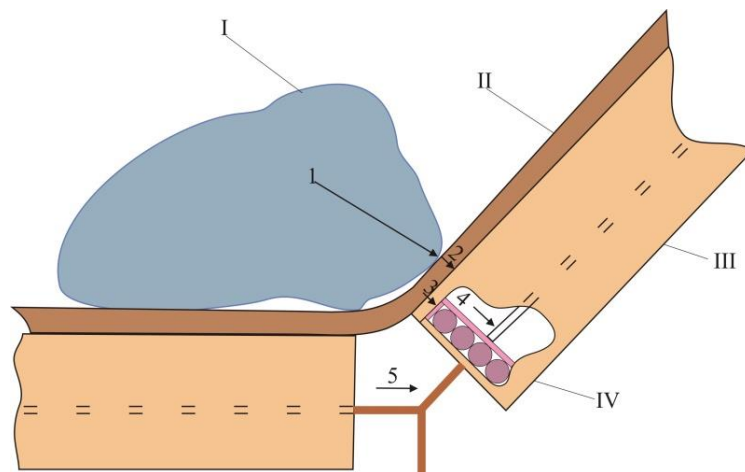


Рисунок 1 - Силы, воздействующие на систему при транспортировании крупного куска горной породы

Необходимо установить при каком максимальном размере куска руды, его плотности, скорости движения конвейерной ленты, угле наклона ленточного конвейера будет устойчиво работать система в пределах установленных нормативов.

На всех карьерах Кривбасса в схемах циклично-поточной технологии используют конвейеры с такими параметрами: скорость конвейерной ленты  $v=3,15 \text{ м/с}$ ; максимальный размер транспортируемого конвейером куска горной породы  $l=350 \text{ мм}$ ; угол наклона конвейера  $\alpha=16^\circ$ .

При этих параметрах конвейеры для транспортирования скальных пород работают устойчиво. Примем такое положение, что и крутонаклонные

конвейеры при такой же энергии куска, как и при полого наклонных конвейерах, будут работать устойчиво. Тогда

$$l = \sqrt[3]{E_{ny}/0,06 \cdot v^2 \cos\alpha}$$

где  $E_{ny}$  – энергия максимального куска породы, транспортируемого наклонным конвейером.

В работе [1] приведена зависимость скорости движения конвейерной ленты наклонного конвейера от максимального размера куска в транспортируемой горной массе, показанная на рис. 2 кривой 1. На основании приведенных выше исследований и работы [1] установлена зависимость для крутонаклонного конвейера (КНК) от максимального размера куска в транспортируемой горной массе при ее плотности в целике  $3,7 \text{ т/м}^3$ , которая показана на рис. 2 кривой 2 [2].

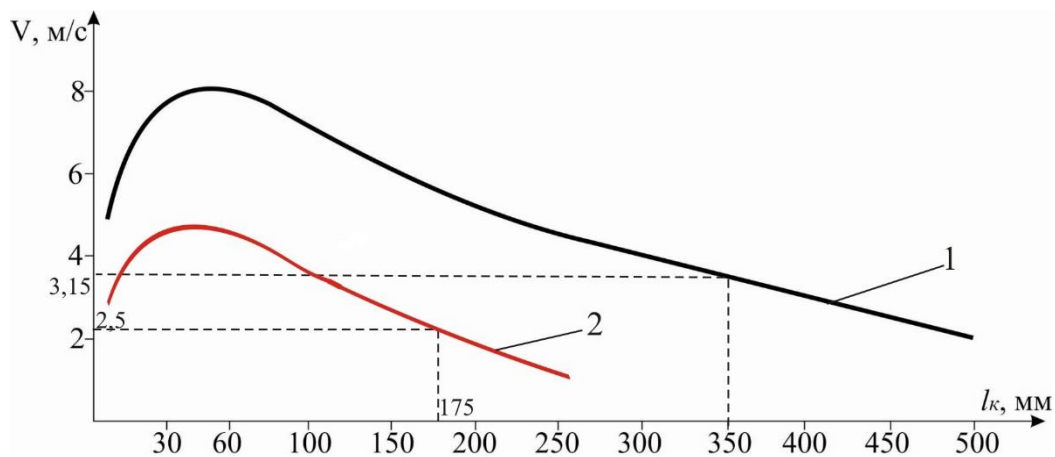


Рисунок 2 - Зависимость скорости движения конвейерной ленты:  
1 – наклонного конвейера (по [1]) и 2 – крутонаклонного конвейера (КНК) от максимального размера куска в транспортируемой горной массе при ее плотности в целике  $3,7 \text{ т/м}^3$

Таким образом, для устойчивой работы крутонаклонного конвейера при плотности пород  $3,0 - 3,7 \text{ т/м}^3$  скорость конвейерной ленты должна составлять не более  $2,5 - 1,5 \text{ м/с}$ , а максимальный размер куска в транспортируемой руде не более  $200 \text{ мм}$ . Из этого следует, что для железных руд Кривого Рога и применении КНК необходима вторая стадия дробления. При этом необходимо удлинять конвейер и перенести перегрузочный узел.

## 2. Вскрытие горизонтов при циклично-поточной технологии и применении наклонных и крутонаклонных конвейеров.

Рабочая зона глубокого карьера состоит из полого- и круто- наклонных бортов. На борту карьера на участках с углом наклоном борта  $10-18^\circ$  эффективно

применять наклонные конвейеры, а на участках с наклоном борта 30–36° – крутонаклонные (рис. 3).

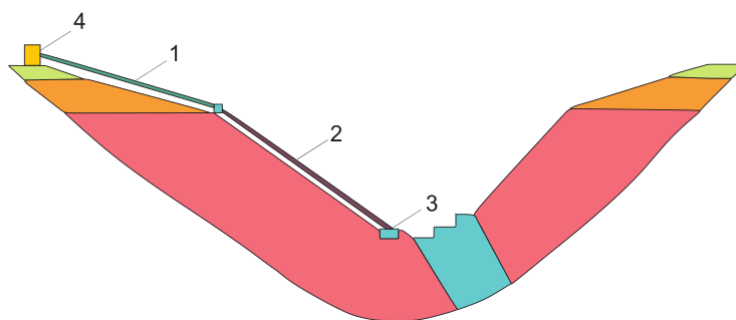


Рисунок 3 - Применение циклично-поточной технологии в глубоком карьере с использованием наклонного конвейера на верхних горизонтах и крутонаклонного на нижних: 1 – наклонный конвейер, 2 – крутонаклонный конвейер, 3 – дробильно-перегрузочный пункт в карьере, 4 – перегрузочный пункт на поверхности

Сложность функционирования такого комплекса заключается в урегулировании его параметров для обеспечения заданной производительности. После дробления руды в первой и второй стадиях дробления максимальный размер куса в горной массе, поступающий на крутонаклонный конвейер будет составлять 175–200 мм. Поэтому наклонный конвейер может иметь большую скорость движения конвейерной ленты и меньшую ее ширину.

#### Выводы.

1. Перспективным направлением развития циклично-поточной технологии является совместное применение наклонных и крутонаклонных конвейеров.

2. Для обеспечения устойчивой работы крутонаклонного конвейера при транспортировании руды объемным весом  $3,7 \text{ т/м}^3$  максимальный размер куса не должен превышать 175 мм при скорости конвейерной ленты 2,5 м/с. Эти параметры определены исходя из плотности руды, характерной для условий Кривбасса. Если объемный вес транспортируемого куса руды будет ниже, то максимальный размер куса в транспортируемой массе может быть увеличен, что не потребует второй стадии дробления.

3. При условии предобогащения руды в карьере и обеспечение крупного и среднего дробления возможно эффективное применение крутонаклонных конвейеров.

4. На борту глубокого карьера со сложным строением рабочей зоны на участках с углом наклоном борта 10 – 18° эффективно применять наклонные конвейеры, а на участках с наклоном борта 30 – 36° – крутонаклонные.

#### Список литературы

1. Пальке, Ю. и Гюнтер, Р. (2003). Расширение сферы применения вертикальных конвейерных систем FLEXOWELL и SOCKETLIFT за счёт использования высокопрочных элементов из стали и кевлара, работающих на растяжение. *Горный журнал*, 1, 1 – 16; 48.
2. Четверик, М.С., Бабий, Е.В., Бубнова, Е.А. (2016). Взаимосвязь параметров горных машин, технологии и процессов при открытой добыче руд. *Геотехническая механика*, 126, 58–70.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ МАТОЧНЫХ РАСТВОРОВ

<sup>1</sup>Хужаев Туймурод Худдиевич, доцент, <sup>1</sup>Ташкулов Акмал Алишер угли,  
ассистент

<sup>1</sup>Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического  
университета им. Ислама Каримова, Узбекистан, г. Алмалык

**Аннотация.** В работе рассматривается математическое моделирование процесса флотации металлов из маточных растворов, на основе изучения его кинетики.

Флотация – это один из основных технологических процессов обогащения полезных ископаемых. В химической кинетике существует закон действующих масс. Закон гласит в следующем образом [1]: скорость элементарной химической реакции пропорционально произведению концентраций реагентов в степенях, равных стехиометрическим коэффициентам в уравнении реакции.

Это закон применительно к флотации. То есть [1]

$$\frac{dC}{dt} = -KN^m C^n$$

где  $N$  – концентрация воздушных пузырьков;  $C$  – счетная или массовая концентрация частиц;  $m, n$  – называются порядком флотации соответственно по воздуху и твердому, а  $m + n$  порядком флотации. Иначе говоря,  $m$  – число пузырьков сталкиваемых с частицей,  $n$  – число частицы сталкиваемых с пузырьком.

Если при начальных условиях  $t=0$  и  $C = C_0$ , то любое время  $C$  - концентрация частиц равна

$$C = \begin{cases} C_0 e^{-KN^m t} & \text{при } n = 1 \\ (C_0^{1-n} - KN^m t)^{\frac{1}{1-n}} & \text{при } n > 1. \end{cases}$$

Для удобства через  $K$  обозначим  $KN^m$ . В практике наиболее вероятно столкновение пузырька с одной частицей, тогда показатель  $n$  в уравнение равен единице [1]

$$\frac{dC}{dt} = -KC$$

Рассмотрим обратимую реакцию, А переходит в состояние В и обратно с некими константами  $k_1$  и  $k_{-1}$

При этом можно составить следующую систему уравнений, описывающую процессы

$$\frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A + k_{-1} C_B$$

$$\frac{dC_B}{dt} = k_1 C_A - k_{-1} C_B$$

при  $t=0$ ;  $C_A(0) = C_0$ ;

где  $A$  – исходное состояние частиц;  $B$  – состояние частиц в пенном слое;  $C_A, C_B$  – концентрация частиц в состояниях  $A$  и  $B$ , соответственно;  $k_1, k_{-1}$  – константы переходов флотируемых веществ из одного состояния в другое.

Эта система дифференциальных уравнений при начальных условиях решается методом исключения [2]

$$C_A = \frac{C_0}{k_1 + k_{-1}} (k_{-1} + k_1 e^{-(k_1 + k_{-1})t})$$

$$C_B = \frac{k_1 C_0}{k_1 + k_{-1}} (1 - e^{-(k_1 + k_{-1})t}).$$

Теперь рассмотрим в общем случае схему флотационного процесса (рис.1) [3].

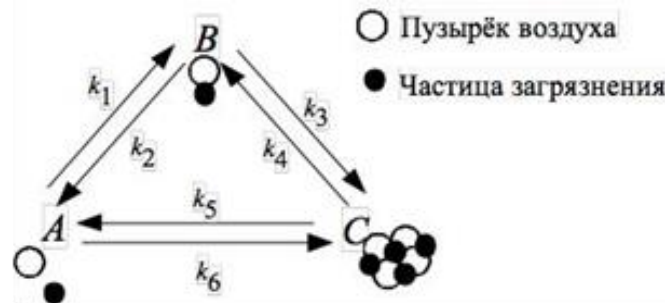


Рисунок 1 - Схема флотационного процесса

Соответствующая система дифференциальных уравнений, описывающая процессы на рис.1, имеет вид

$$\frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A + k_{-1} C_B + k_3 C_C - k_{-3} C_A$$

$$\frac{dC_B}{dt} = k_1 C_A - k_{-1} C_B - k_2 C_B + k_{-2} C_C$$

$$\frac{dC_C}{dt} = k_2 C_B - k_{-2} C_C - k_3 C_C + k_{-3} C_A$$

При  $t=0$ ;  $C_A(0) = C_0$ ;  $C_B(0) = 0$ ;  $C_C(0) = 0$ ,

где  $A$  - исходное состояние частиц;  $B$  - состояние прилипания и закрепления частиц на пузырьках;  $C$  - состояние частиц в пенном слое;  $C_A, C_B, C_C$  - концентрация частиц в состояниях  $A, B$  и  $C$  соответственно;  $k_1, k_{-1}, k_2, k_{-2}, k_3, k_{-3}$  - константы переходов флотируемых веществ из одного состояния в другое. Это система также решается методом исключения.

### Список литературы

1. Рубинштейн, Ю.Б., Филиппов, Ю.А. (1980). *Кинетика флотации*. М., Недра.
2. Рябушко, А.П. и другие. (1990). *Сборник индивидуальных заданий по высшей математике. Часть вторая*. Минск.
3. Алексева, А.С., Ксенофонтов, Б.С. (2015). Многостадийная модель ионной флотации. *Universum: Химия и биология : электрон. научн. журн.*, 6 (14).

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В БУРОВЗРЫВНОМ ДЕЛЕ

<sup>1</sup>Слямбеков Н.А., магистрант

<sup>1</sup>НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатбаева», г. Алматы, Казахстан

**Аннотация:** в статье рассматривается принцип действия и параметры системы электронного инициирования зарядов «I-KON»™.

Взрывание – процесс детонирования зарядов ВВ в заданной последовательности и в определённый промежуток времени, осуществляемый средствами инициирования (СИ), передающими импульс заряду ВВ и тем самым вызывающими (возбуждающими) его детонацию. По виду применяемых СИ, вызывающих детонацию зарядов, на горных предприятиях применяют следующие способы взрывания: огневой, электроогневой, электрический, и с помощью детонирующего шнура.

Электрический способ взрывания является одним из основных и может применяться в любых условиях. Преимущества его по сравнению с огневым способом заключаются в отсутствии ядовитых газов, а также возможности взрывания с любого расстояния одновременно серии зарядов, а также с замедлением. Поэтому при применении данного способа обеспечиваются безопасность и возможность взрывания зарядов в любой последовательности. Электрическое взрывание используют также при взрывных работах в шахтах, опасных по газу и пыли.

Система электронного инициирования «I-KON»™ предназначена для инициирования боевиков скважинных (шпуровых) зарядов с программируемым



замедлением детонаторов при проведении взрывных работ на земной поверхности, а также в шахтах, не опасных по газу или пыли, любой степени обводненности.

Система «I-KON»™ обладает иницирующей способностью, обеспечивающая подрыв боевиков всех видов патронированных ВВ боевиков допущенных к постоянному применению.

Соединение «I-KON»™ с патроном ВВ, патроном эмульсионного ВВ должно производиться по схемам, приведённым на рисунках 1 и 2.

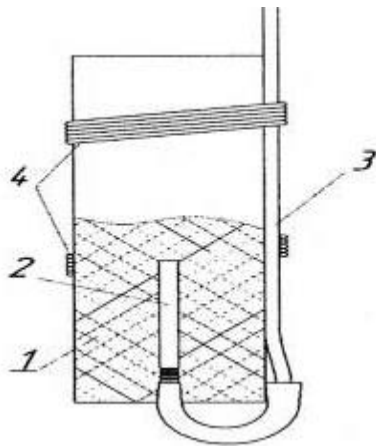


Рисунок 1 - Схема иницирования патрона ВВ:

1 – патрон ВВ; 2 – I – KON™;  
3 – провод; 4 – шпагат, лента липкая.

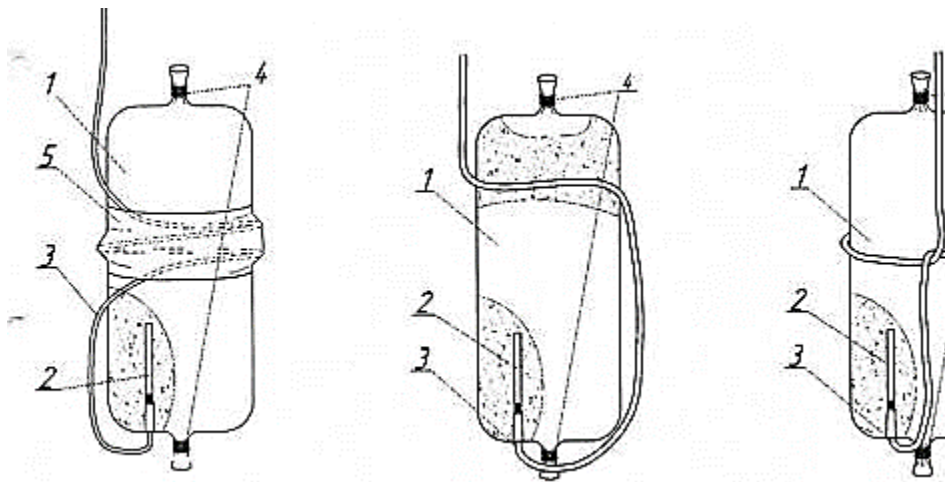


Рисунок 1- Схема иницирования эмульсионного патрона ВВ:

1 – патрон эмульсионного ВВ; 2 - I – KON™; 3 – провод; 4 – проволока алюминиевая; 5 – скотч

Собранные боевики, удерживая за провода, опускают в скважины. При этом следует обеспечить слабины проводов в скважине, исходя из расчёта один метр проводов на пять метров глубины погружения боевика. Длина проводов на поверхности должна быть не менее одного метра от устья скважины.

Раскладка взрывной линии на блоке должна выполняться сдвоенным взрывным проводом ВП-0,8 ГОСТ 6285. Провода взрывной линии должны укладываться таким образом, чтобы обеспечить присоединение к ней всех I –

KON™. Концы взрывной линии выводятся на безопасное расстояние. Противоположные концы взрывной линии надёжно изолируются.

Провода «I-KON»™ подключаются к взрывной линии параллельно.

После монтажа взрывной линии устанавливается опасная зона и рабочий персонал выводится за пределы опасной зоны.

За пределами опасной зоны (на месте управления взрывом) мастер-взрывник должен присоединить взрывную линию к регистратору (Логгеру) рис. 3.

Регистратор работает по меню, которое появляется на жидкокристаллическом экране. При помощи шести рабочих клавиш выбирается функция меню. При необходимости дисплей и клавиатура подсвечивается.

Регистратор идентифицирует детонатор, присоединённый к сети, считывает и запоминает идентификационный номер ID детонатора (процесс регистрации).

Оператор задаёт время выдержки для каждого детонатора. Заданное время заносится в электронную память каждого детонатора.

Кроме идентификации детонаторов регистратор выполняет следующие функции:

- тестирование всех детонаторов в цепи;
- тестирование отдельного детонатора;
- редактирование и изменение запрограммированного времени задержки;
- измерение токов утечки;
- распечатка введённых данных интерфейс RS 232;
- копирование зарегистрированных данных в другой регистратор через интерфейс RS 232;
- загрузка и выгрузка проекта взрыва и компьютерной программы через RS 232.

Регистратор (Логгер) может эксплуатироваться в четырёх режимах регистрации:

1. Автоматическая регистрация с 3-мя заранее заданными интервалами времени задержки с подтверждением или без него.

2. Ручная регистрация с ручной установкой времени задержки.

3. Регистрация по номерам с заранее заданным постоянным временем задержки с подтверждением или без него.

4. Регистрация с использованием программы с подтверждением, или без него.

«BLASTER» предназначен для программирования и тестирования детонаторов через систему «LOGGER», осуществляя самотестирование прибора и всей системы и снабжен специальным ключом. Взрывная сеть монтируется в следующем порядке. Проводники электронных детонаторов, выходящие из шпуров, через коннекторы подсоединяют к магистральным проводам. Магистральные провода затем подсоединяют к соответствующими «LOGGER»,

которые затем подсоединяются к проводам от BLASTER-«BLASTER» осуществляет нахождение и взрывание детонаторов через подсоединенные «LOGGER» и одновременно может контролировать от 2 до 12 «LOGGER», что позволяет инициировать до 2400 детонаторов за один прием взрывания.

Для дальнейшего программирования и инициации взрыва Регистраторы должны быть присоединены к взрывной машинке (Бластеру) рис.4 и с этого момента они управляются от неё.



Рисунок 3 - Регистратор  
Логгер 1



Рисунок 4 -Взрывная машинка Бластер

Регистраторы управляются посредством двусторонней последовательной связи между взрывной машинкой и Регистраторами. Каждый Регистратор должен быть установлен с отличающимся идентификатором ID (с 1-го по 12-й).

Во время программирования инициации взрыва от взрывной машинки осуществляются следующие функции:

- проверка работы Регистратора и защита связи;
- измерение токов утечки;
- калибровка осцилляторов детонаторов;
- программирование всех детонаторов, подключённых к цепи инициации взрыва.

Благодаря большей точности, в три раза более быстрому программированию, в пять раз более громкому обратному сигналу и новым удобным аксессуарам, он разработан для повышения надежности, точности, удобства и эффективности.

Разработано специально для использования при мощных и сложных взрывах на крупных наземных и подземных работах, i-kon™ II продолжает устанавливать отраслевые стандарты в области электронных взрывных систем.

Операционная производительность:

- Большая точность синхронизации для улучшения фрагментации.
  - Улучшение фрагментации - Большая точность синхронизации позволяет еще более точно контролировать ударные волны для улучшения фрагментации.
- Управление рисками:
- Новый разъем обеспечивает более легкое и быстрое подключение в любых условиях.
  - Контроль вибрации - Точное время позволяет более точно управлять контролем вибрации.
  - Повышенная безопасность шахт - Устройство iKon™ CABS позволяет проводить наземные и подземные горные работы для детонации взрывов с удобной и безопасной контрольной точки. Технология двойного напряжения позволяет выполнять все операции на схеме взрыва при изначально безопасном низком напряжении.
  - повышение способности точно контролировать, когда детонаторы взорвутся.
  - Увеличение максимального времени задержки с 15 до 30 секунд позволяет разрабатывать самые разные типы взрывных работ – как в крупных подземных, так и в более сложных наземных горных работах.
  - Улучшенная точность синхронизации обеспечивает эти гораздо более длительные задержки при сохранении индивидуальной синхронизации отверстий.

**Вывод:** Таким образом, Система электронного инициирования «I-KON»™ более современная технология, применение которой позволяет эффективно и безопасно производить взрывные работы.

### Список литературы

1. Лукьянов, В.Г., Комащенко, В.И., Шмурыгин, В.А. (2008). *Взрывные работы: учебник для вузов*. Томск: Изд-во Томского политехнического университета.
2. Масаев, Ю.А., Доманов, В.П. (2011). *Электродетонаторы с электронным замедлением (опыт промышленного применения)*. Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2, 102–106.
3. Министерство по ЧС РК (2008). *Требования промышленной безопасности при разработке месторождений открытым способом*. Астана.
4. Гидроцветмет (1981). *Правила технической эксплуатации рудников, приисков и шахт, разрабатывающих месторождение цветных, редких и драгоценных металлов*. Москва: Недра.
5. Мельников, Н.В. (1982). *Краткий справочник по открытым горным работам*. Москва: Недра.
6. Инструкции по организации и ведению массовых взрывов на открытых горных работах, ГТН РК 04.03.1993г.

## ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПЕРЕХОДА К ОЧЕРЕДНОЙ СХЕМЕ ВСКРЫТИЯ ГОРИЗОНТОВ ПРИ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

<sup>1</sup>*Исаков Бахытжан Бауыржанович*

<sup>1</sup>*Казахский национальный исследовательский технический университет имени  
К.И. Сатпаева, Республика Казахстан, Алматы*

При проектировании перехода на очередную схему вскрытия горизонтов при циклично-поточной технологии и ввода ее в эксплуатацию проходит определенный период времени от начала проектирования до пуска. В большинстве случаев за это время глубина карьера может существенно увеличиться, относительно той, при которой ее предусматривалось вводить по проекту. Это приводит к увеличению расстояний автоперевозок к перегрузочному пункту и снижению экономической эффективности запроектированной схемы вскрытия горизонтов карьера, и циклично-поточной технологии в целом. Допустим, что ввод очередной схемы вскрытия глубоких горизонтов согласно проекту предусматривалось осуществить при глубине карьера  $H_n$ , а фактически введено при большей глубине карьера  $H_{вв}$ . Это приводит к увеличению расстояний автоперевозок

$$L_y - (H_{вв} - H_n)i + L_c, \text{ м.},$$

где  $i$  – уклон автомобильных дорог;  $L_c$  – расстояние автоперевозок руды на горизонтальных участках, м.

Время перехода от существующей схемы вскрытия горизонтов до ввода последующей состоит из времени, в течение которого выполняются определенные этапы проектирования и сооружения объектов.

Его можно представить следующим образом:

$t_3$  – разработка и согласование технического задания на проектирование, месс.

$t_n$  – продолжительность выполнения проекта, месс.

$t_{cn}$  – продолжительность согласования проекта, месс.

$t_э$  – продолжительность экспертизы проекта, месс.

$t_o$  – продолжительность изготовления оборудования, месс.

$t_{nc}$  – продолжительность строительства объектов, соответствующих схеме вскрытия, месс.

Тогда

$$H_{вв} = (t_3 + t_n + t_{cn} + t_э + t_o + t_{nc}) h, \text{ м.},$$

где  $h$  – скорость понижения горных работ, м/год.

Ее можно определить так

$$h = G/S(H)$$

где  $G$  - производительность карьера по полезному ископаемому, млн.м<sup>3</sup>;  $S(H)$  - площадь залежи, изменяющаяся с понижением горных работ в соответствии с увеличением глубины карьера, м<sup>2</sup>.

Тогда

$$H_{\text{вв}} = (t_3 + t_n + t_{cn} + t_3 + t_o + t_{nc}) G / S(H), \text{ м.}$$

Определяя разность между  $H_{\text{вв}}$  и  $H_n$ , устанавливаем эффективность принятой схемы вскрытия и возможности сроков на нее перехода.

На время перехода к очередной схеме вскрытия существенно влияет производительность карьера и скорость понижения горных работ.

## ОЦІНКА ОБ'ЄМІВ ПОРОДНИХ ПОТОКІВ І ПІДЗЕМНИХ ПУСТОТ, ЩО УТВОРЮЮТЬСЯ ПРИ ВИДОБУТКУ ВУГІЛЛЯ

<sup>1</sup>Петльований М.В., к.т.н, доц., <sup>1</sup>Сай К.С., к.т.н, доц., <sup>1</sup>Зубко С.А к.т.н., с.н.с.  
<sup>1</sup>НТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

**Анотація.** Дослідження присвячені встановленню обсягів утворення потоків пустих порід і підземних пустот у технологічній системі вугільної шахти та визначенню їх балансу у взаємозв'язку із поточним розвитком гірничих робіт для оцінки можливостей залишення порід у підземному просторі. Отримані результати корисні для проектування нових просторово-планувальних рішень з оптимального розвитку гірничих робіт з максимально можливим розміщенням порід у підземному просторі шахт.

**Вступ.** Останнім часом у світі зростає актуальність розробки технологій, що дозволяють створити високоефективне, маловідходне та екологічно безпечне виробництво при розробці родовищ корисних копалин [1, 2]. Для вугледобувної галузі розробка таких технологій має першочергове значення, оскільки її виробнича діяльність негативно впливає на природне навколишнє середовище. Однією з найважливіших причин погіршення екологічного стану є накопичення породних відвалів у гірничих відводах вугільних шахт, що займають цінні земельні площі [3-5]. Для запобігання небезпечних деформацій земної поверхні використовують накопичені шахтні пусті породи з відвалів в якості закладного матеріалу [6, 7].

Особливо гостро проблема видобутку вугілля з тонких пластів стоїть на шахтах Західного Донбасу, що входять до складу ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», яке в даний час займає ключову роль у розвитку вугледобувної галузі України та економіки держави в цілому [8, 9]. Проведений аналіз геологічної бази показує, що більше 50% промислових запасів припадає на пласти з геологічною потужністю від 0,55 до 0,8 м і лише 3% або 23 млн т вугілля залягає в пластах потужністю понад 1,0 м, що істотно обмежує термін служби багатьом шахтам даного регіону.

Вимушене присікання пустих порід у процесі очисних робіт та породи від проведення виробок формують непродуктивний рух порід в технологічній схемі гірничого виробництва. Замість транспортування вугілля з вибою з мінімальною природною зольністю (10-15%) виникає технологічна потреба транспортувати ці породи конвеєрною системою вугільної шахти, додатково навантажувати шахтний скіповий підйом, транспортувати цю гірську масу на збагачувальну фабрику і після процесу збагачення доповнювати існуючі породні відвали шахт відокремленими крупнокускових породами, несучи при цьому знову витрати на автомобільний транспорт.

Технологічні та екологічні труднощі розробки тонких пластів піднімають актуальне питання щодо кардинального перегляду традиційних технологій та існуючих підходів до видобутку кам'яного вугілля з тонких пластів і створення нових, що мають більш високий рівень економічної й екологічної ефективності.

**Метою дослідження** є аналітична оцінка об'ємів породних потоків і підземних пустот за календарний рік, що утворюються при підземному видобутку та їх балансу на прикладі однієї з сучасних вугільних шахт для потенціальної можливості акумуляції порід у виробленому просторі.

**Методика досліджень.** Визначення обсягів руху породних потоків і формування підземного простору проводиться на підставі узагальнення та систематизації показників виробничої діяльності однієї з шахт ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». Детальний аналіз технологічної схеми шахти дозволяє зробити висновок, що рух пустих порід з шахти на денну поверхню відбувається внаслідок функціонування виробничих процесів підземних очисних робіт, проведення гірничих виробок та їх ремонту.

Для встановлення виходу пустих порід у процесі ведення очисних робіт аналізувалися наступні параметри: кількість відпрацьованих лав; довжина лав; посування очисного вибою; структурна колонка пласта і порід кожної лави; геологічна потужність пласта; виймальна потужність пласта; пластова материнська зольність; потужність порід підшви, що присікаються; посування очисного вибою; щільність вугілля з урахуванням пластової зольності; щільність порід підшви, що присікаються; потужність несправжньої покрівлі; щільність порід покрівлі, що обвалюються.

Для встановлення виходу пустих порід у процесі проведення гірничих виробок аналізувалися наступні параметри: площа поперечного перерізу гірничої виробки в проходці; площа вугільного вибою; щільність порід покрівлі і підшви; довжина гірничої виробки. Для встановлення обсягів утвореного виробленого простору аналізувалися такі параметри: виймальна потужність пласта; шар порід несправжньої покрівлі, що обвалилися; довжина лав; річне посування лав.

**Результати дослідження.** Визначено, що найгірший питомий показник відношення видобутого вугілля до зольності досягнутий на шахті ім. Героїв Космосу. Після технологічного циклу збагачення вугілля на Павлоградській ЦЗФ до показника 25% (згідно з вимогами ТЕС), відокремлені 25% порід надходять в породні відвали і хвостосховища на денній поверхні.

Встановлено, що найбільше надходження всіх пустих порід на поверхню відбувається внаслідок виконання очисних робіт з присікання порід підпошви – 39% і проведенні підземних гірничих виробок для підготовки нових запасів вугілля до виймання – 33%, інші джерела в порівнянні мають малу питому вагу в межах 2-16%. Це свідчить про те, що в першу чергу необхідно вдосконалювати і модернізувати технологічні схеми очисних та прохідницьких робіт з розміщенням пустих порід у підземних пустотах.

За характером і труднощами виконання потенційних технічних рішень, пов'язаних із розміщенням порід у підземному просторі, усі пусті породи, що виходять з шахти, можна розділити на 2 категорії:

- породи, які важко утилізуються, до яких слід віднести пусті породи від обвалення порід покрівлі і породи пластової зольності. Їх розміщення у підземних пустотах тягне за собою технологічні складнощі та економічні витрати, пов'язані з проектуванням підземних вуглезбагачувальних комплексів тощо;

- перспективні до утилізації породи, до яких слід віднести породи присікання в очисних вибоях від проведення і підривання підпошви гірничих виробок, питома вага яких в загальному породному потоці становить 74% і їх утилізація має економічний та екологічний сенс.

У зв'язку з тим, що гірничі роботи в шахті інтенсивно змінюються у просторі та часі, був складений баланс одночасного утворення перспективних пустих порід і пустот за кожен календарний місяць в році (рис.1). Оскільки утворені породи, перспективні до залишення у підземному просторі шахт, мають різне джерело утворення (очисні та прохідницькі роботи), а їх розміщення передбачається в різні за типом підземні пустоти, то складені різні варіанти динаміки зміни балансу.

Аналіз рис. 1а показує те, що, з огляду на рівень утворення пустих порід від присікання порід підпошви пустоти виробленого простору лав мають істотний резерв для їх розміщення. При усередненій величині присікання порід підпошви 0,2 м за 8-ма лавами, що відпрацьовуються, обсяг утворення їх пустот перевищує вихід пустих порід у 3,8-10,0 рази. Це свідчить про те, що при удосконаленні селективної технології відпрацювання запасів із закладкою з'являється можливість залучення в експлуатацію вугільних пластів з меншою геологічною потужністю 0,5-0,8 м, при цьому навіть при величині присікання 0,5 м можна розмістити всі породи у пустотах виробленого простору.

Аналіз рис. 1б свідчить про те, що обсяг порід, утворений при проведенні нових 18-ти виїмкових виробок за календарний рік в 2,1-3,0 рази перевершує обсяг утворених пустот від погашення 14 виїмкових виробок слідом за посуванням лави. Зазначений дисбаланс викликаний істотним впливом коефіцієнта розпушення порід ( $k_p = 1,5$ ) на збільшення їх обсягу у зруйнованому стані після руйнування вибою прохідницьким комбайном. З цього випливає, що пустоти виїмкових виробок, що погашаються, не дозволяють в повній мірі розмістити обсяг пустих порід, які виходять з прохідницьких вибоїв, що вимагає нових технічних рішень. Вирішенням цього питання може служити розробка технічного рішення з розміщення надлишку порід від прохідницьких робіт у



пустотах виробленого простору лав, разом із розміщеними пустими породами від присікання порід підшви.

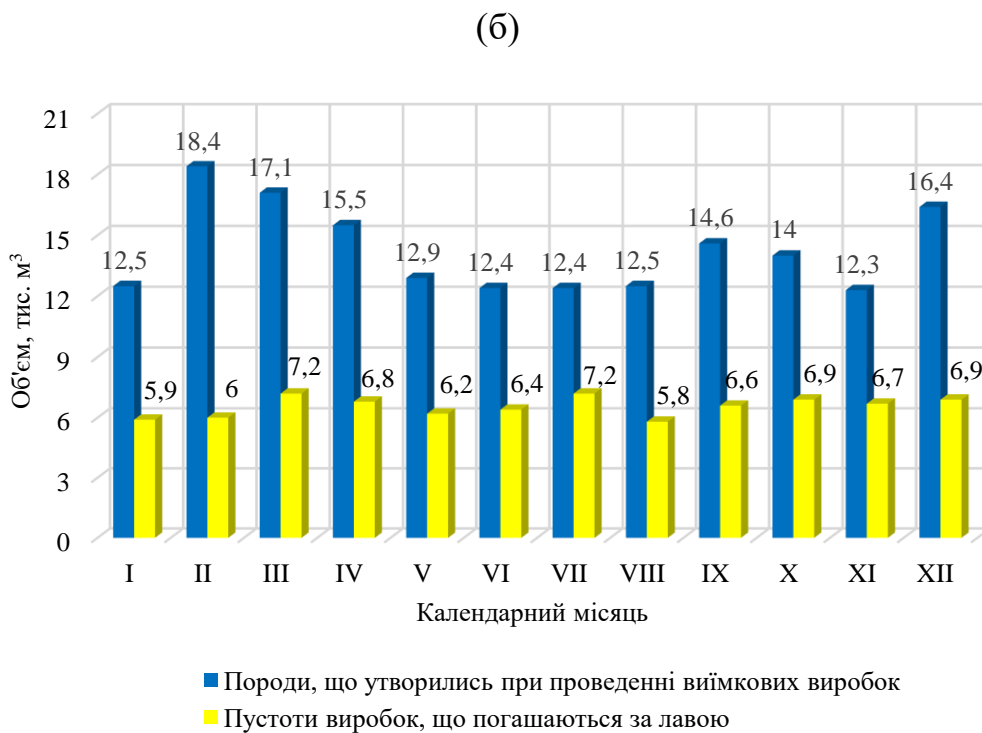
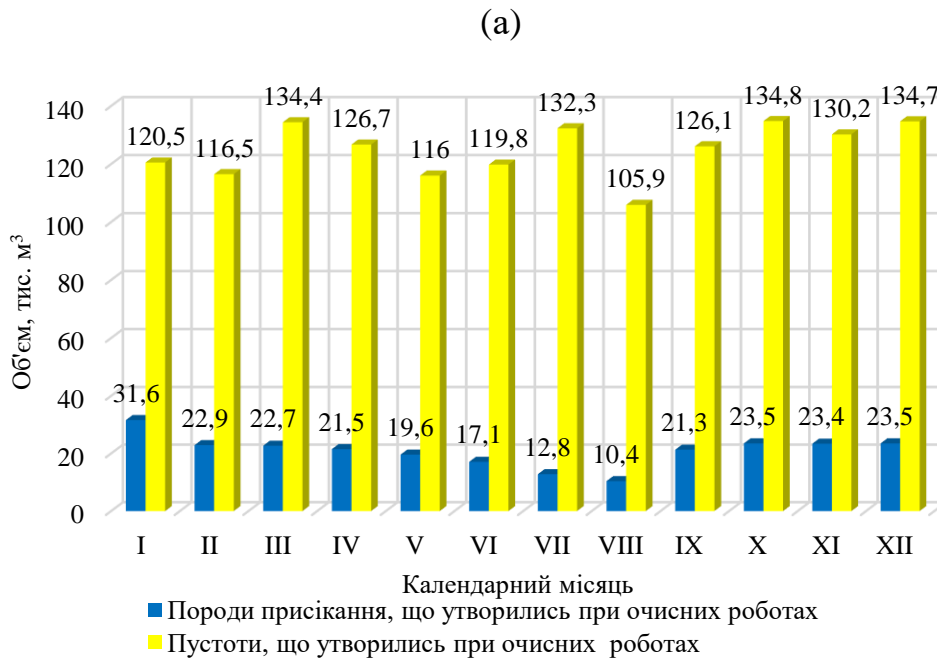


Рисунок 1 – Динаміка утворення обсягу порід присікання і пустот виробленого простору лав (а) та обсягу порід при проведенні виїмкових виробок і пустот погашення діючих виїмкових виробок за лавою (б)

Виявлено, що при існуючих схемах підготовки запасів і плануванні гірничих виробок навряд чи вдасться повне розміщення порід у виробленому просторі шахт, перспективно з усього потоку пустих порід на поверхню залишити в шахті лише 20-30%, а з оптимізацією схем підготовки і просторово-планувальних

рішень цей показник можна збільшити до 70%. Рекомендується для підвищення ефективності залишення порід у підземних пустотах збільшити частку повторно використовуваних виробок, яка в порівнянні з іншими шахтами найменша, на основі застосування надійних систем рамно-анкерного кріплення виробок.

**Висновки.** У даній статті за календарний рік роботи однієї з шахти Західного Донбасу детально досліджено рух всіх потоків пустих порід, виявлені джерела їх утворення, а також вивчений баланс утворених порід і підземних пустот у взаємозв'язку з поточним розвитком гірничих робіт у шахтному полі шахти ім. Героїв космосу. Запропоновано алгоритм аналітичних досліджень визначення виходу порід і перспективних обсягів підземних пустот для розміщення утворених пустих порід за календарний рік. Визначено джерела надходження пустих порід на поверхню. Запропоновано за характером і труднощами виконання потенційних технічних рішень, пов'язаних із розміщенням порід у підземному просторі, усі пусті породи, що виходять з шахти, розділити на 2 категорії: породи, які важко утилізуються, та породи, перспективні до утилізації. Встановлено, що підземні пустоти мають колосальний потенціал до розміщення пустих порід очисних, прохідницьких і ремонтних робіт, обсяг утворення яких в 2,8-4,8 рази перевершує обсяг утворення порід. Встановлено, що можливість ведення робіт з повноцінного розміщення порід обмежена особливостями календарного планування відпрацювання запасів по пластах, які складені під технологію видобутку вугілля з повним обваленням.

### Список літератури

1. Zhang, L., & Xu, Z. (2018). A critical review of material flow, recycling technologies, challenges and future strategy for scattered metals from minerals to wastes. *Journal of Cleaner Production*, (202), 1001-1025. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.073>
2. Petlovanyi, M., Malashkevych, D., & Sai, K. (2020). The new approach to creating progressive and low-waste mining technology for thin coal seams. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(4), 765-775. <https://doi.org/10.15421/112069>
3. Pactwa, K., Woźniak, J., & Dudek, M. (2020). Coal mining waste in Poland in reference to circular economy principles. *Fuel*, (270), 117493. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117493>
4. Петлєваний, М.В. & Гайдай, А.А. (2017). Аналіз накопичення і систематизація породних відвалів вугільних шахт, перспективи їх розробки. *Геотехнічна механіка*, (136), 147-158.
5. Popovych, V., Malovanyu, M., Prydatko, O., Popovych, N., & Petlovanyi, M. (2021). Technogenic impact of acid tar storage ponds on the environment: a case study from Lviv, Ukraine. *Ecologia Balkanica*, 13(1), 35-44.
6. Wang, G., Xu, Y., & Ren, H. (2019). Intelligent and ecological coal mining as well as clean utilization technology in China: Review and prospects. *International Journal of Mining Science and Technology*, 29(2), 161-169. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.06.005>
7. Kuzmenko, O., & Petlovanyi, M. (2015). Substantiation the expediency of fine gridding of cementing material during backfill works. *Mining of Mineral Deposits*, 9(2), 183-190. <https://doi.org/10.15407/mining09.02.183>
8. Barabash, M., & Cherednichenko, Yu. (2015). Transformation SHC "Pavlogradvugillia" in the world class coal-mining company – PJSC "DTEK Pavlogradvugillia." *Mining of Mineral Deposits*, 9(1), 15-23. <https://doi.org/10.15407/mining09.01.015>
9. Petlovanyi, M., Malashkevych, D., Sai, K., & Zubko, S. (2020). Research into balance of rocks and underground cavities formation in the coal mine flowsheet when mining thin seams. *Mining of Mineral Deposits*, 14(4), 66-81. <https://doi.org/10.33271/mining14.04.066>

## ПРО РОЗПОДІЛ ГЕРМАНІЮ У ВУГІЛЬНОМУ ПЛАСТІ $c_8^B$ ПОЛЯ ШАХТИ «ЗАХІДНО-ДОНБАСЬКА»

<sup>1</sup>Ішков В.В., канд. геол.-мін. наук, с.н.с., <sup>2</sup>Козій Є.С. канд. геол. наук,  
<sup>2</sup>Сливний С.О.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, м. Дніпро,  
Україна

<sup>2</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро,  
Україна

**Анотація.** У роботі викладені результати аналізу розподілу германію по площі і в розрізі вугільного пласта  $c_8^B$  поля шахти «Західно-Донбаська». Побудовані карти та розраховані рівняння регресії дають можливість виконувати прогноз концентрації цього елемента в видобуваємії гірничій масі і планувати заходи направлені на управління його вмістом в продуктах та відходах вуглевидобутку.

**Вступ.** Актуальність дослідження вмісту германію у вугільних пластах обумовлена можливістю його промислового вилучення та використання в якості цінного попутного компонента.

Вугілля - найважливіше джерело германію в Україні, в Китаї (германієносні вугільні родовища в Китаї розробляються близько Lincang, провінція Юньнань і Xilinhaote, провінція Внутрішня Монголія), а також в Росії (92,6% загальних запасів германію по категоріям А+В+С<sub>1</sub> зосереджено у вугільних родовищах, які розташовані головним чином в межах Приморського, Забайкальського, Красноярського країв, а також Сахалінської і Кемеровської областей).

Використання германію у різних галузях досить різноманітне. Як компонент для отримання скла в оптоволоконній техніці використовується  $GeCl_4$ . Оксид германію з чистотою до 99,999% застосовується в каталізаторах для полімеризації РЕТ-пластмас (Poly Ethylene Terephthalate, або поліетіленфтолатної смоли), а особливо чистий - у виробництві кристалів ВГО ( $Bi_{14}Ge_3O_{12}$ ) сцинтиляційних датчиків фотонів високих енергій. Напівпровідникові властивості германію знову затребувані в електронних приладах і сонячних перетворювачах, а також в Si-Ge з'єднаннях. У приладах нічного бачення в ІК-діапазоні застосовуються полі- і монокристалічні вікна і лінзи, виготовлені з монокристалів Ge. Останнім часом германій починає набувати застосування і в біогеохімії та медицині. Було встановлено його підвищений вміст в багатьох лікарських рослинах, здатність надавати протипухлинну, антисептичну дію.

У вугіллі германій відноситься до групи «малих елементів» або елементів – домішок вугілля, котрі повинні обов'язково досліджуватись в процесі геологорозвідувальних робіт, що виконуються на вугільних родовищах України.

Для об'єктивної геолого-економічної оцінки можливості попутного вилучення германію з вугілля, відходів і продуктів його переробки та планування найбільш ефективних організаційно-технічних заходів з цього приводу, перш за все необхідно мати відомості про характер розподілу і рівень концентрації цього елемента у вугіллі і вуглевміщуючих породах. З метою одержання такої інформації авторами були виконані детальні дослідження розподілу германія по площі і в розрізі вугільного пласта  $c_8^B$  поля шахти «Західно-Донбаська».

**Останні досягнення.** Раніше [1-11] досліджені особливості розподілу «малих елементів», які відносяться до групи «токсичних та потенційно токсичних елементів» у вугільних пластах деяких шахт Павлоградсько-Петропавлівського та Красноармійського [1-11] геолого-промислових районів Донбасу. У той же час, аналіз розподілу германію у вугільному пласті  $c_8^B$  поля шахти «Західно-Донбаська» раніше не виконувався.

**Мета роботи:** встановлення особливостей розподілу германію по площі і в розрізі вугільного пласта  $c_8^B$  поля шахти «Західно-Донбаська».

**Методика досліджень.** Особливістю проведених досліджень була неможливість безпосереднього спостереження геологічних процесів. У таких випадках розгляд їх динаміки традиційно виконується шляхом порівняння статистичних даних й аналізу картографічних матеріалів стосовно розподілу хімічних елементів в об'єктах які розглядаються. Потім отримані результати осмислюються з урахуванням фізико-хімічних й геологічних особливостей. Тобто, отримання інформації стосовно розподілу хімічних елементів в геологічних об'єктах є першим етапом дослідження, що йде від узагальнення фактичного матеріалу, через його теоретичне осмислення до перевірки виявлених закономірностей дослідним шляхом.

Проби відбиралися в гірських виробках (пластові проби, відібрані борозновим способом [13] і з дублікатів керна особисто авторами за участю співробітників геологічних служб вугледобувних підприємств і виробничих геологорозвідувальних організацій в період з 1981р. по 2013р. Обсяг контрольного випробування склав 5% від загального обсягу проб. Всі аналітичні роботи виконувалися в центральних сертифікованих лабораторіях виробничих геологорозвідувальних організацій. Вміст  $Be$  визначався кількісним емісійним спектральним аналізом [14]. На внутрішній лабораторний контроль направлено 7% дублікатів проб. Зовнішньому лабораторному контролю піддано 10% дублікатів проб. Якість результатів аналізів (правильність і відтворюваність) оцінювалася як значимість середньої систематичної похибки, яка перевіряється за допомогою критерію Стьюдента і значимість середньої випадкової похибки, яка перевіряється за допомогою критерію Фішера. Оскільки вказані вище похибки при рівні значимості 0,95 є не значимими, якість аналізів визнано задовільною.

За допомогою програм Excel 2016 і Statistica 11.0 на початковому етапі обробки первинної геохімічної інформації розраховувалися значення основних описових статистичних показників, виконувалась побудова частотних гістограм вмісту і встановлення закону розподілу германію.

При оцінці зв'язку германію з органічною або мінеральною частиною вугілля використовувалися коефіцієнти спорідненості з органічною речовиною  $F_o$ , що показує відношення вмісту елементів у вугіллі з малою ( $<1,6$ ) і високою щільністю ( $>1,7$ ), коефіцієнти наведеної концентрації  $F_{нк}$ , що показують відношення вмісту елементів у фракції  $i(C_i)$  до вмісту у вихідному вугіллі, коефіцієнти кореляції вмісту досліджуваних елементів і зольності вугілля і коефіцієнти наведеного вилучення елемента у фракції різної щільності.

При побудові всіх карт використовувалася програма Surfer 11. В ході побудови карт, графіків і розрахунку коефіцієнтів кореляції всі значення концентрацій германію й технологічних параметрів вугілля нормувались за формулою

$$X_{\text{норм}} = (X_i - X_{\text{min}}) / (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}),$$

де  $X_i$  – результат одиничного значення концентрації елемента;  $X_{\text{max}}$  – результат максимального значення концентрації елемента;  $X_{\text{min}}$  – результат мінімального значення концентрації елемента.

Нормування здійснювалося для приведення вибірки до одного масштабу незалежно від одиниць виміру та розмаху вибірок.

В даній роботі основними задачами вивчення особливостей розподілу германію у вугільному пласті  $c_8^B$  поля шахти «Західно-Донбаська» були: ревізія раніше виконаних досліджень; формування представницьких вибірок аналізів його вмісту; встановлення середніх концентрацій цього елемента у вугіллі, встановлення закономірностей його розподілу у вугільному пласті  $c_8^B$  і зв'язок з іншими «малими елементами» - домішками у вугіллі.

**Результати досліджень.** В геолого-промисловому відношенні поле шахти «Західно-Донбаська» розташовано в межах Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району Західного Донбасу, що знаходиться на південно-західному борті Дніпровсько-Донецької западини. На полі шахти «Західно-Донбаська» концентрація германію у вугіллі пласта  $c_8^B$  варіює в межах від 0,16 г/т до 9,48 г/т (рис. 1 а), при середньому значенні - 5,49 г/т. Найбільша локація германію знаходиться у південній частині шахтного поля в районі свердловини №14336. Вміст цього елемента значимо не залежить від глибини, потужності пласта та вмісту сірки загальної у вугіллі. Регіональна складова його вмісту зростає в напрямку зворотному падінню пласта в південно-західному напрямку (рис. 1 б). Спостерігається тісна зворотна статистична залежність між

В  
М  
і

Таблиця 1 – Значення коефіцієнтів, які характеризують ступінь впливу кожного із факторів на розподіл германію

о  
М

Фактори	Значення коефіцієнта
Потужність пласта	0,034
Зольність	0,960
Вміст сірки загальної	0,006

Г  
е  
р  
М  
а  
Н  
і

ю

і



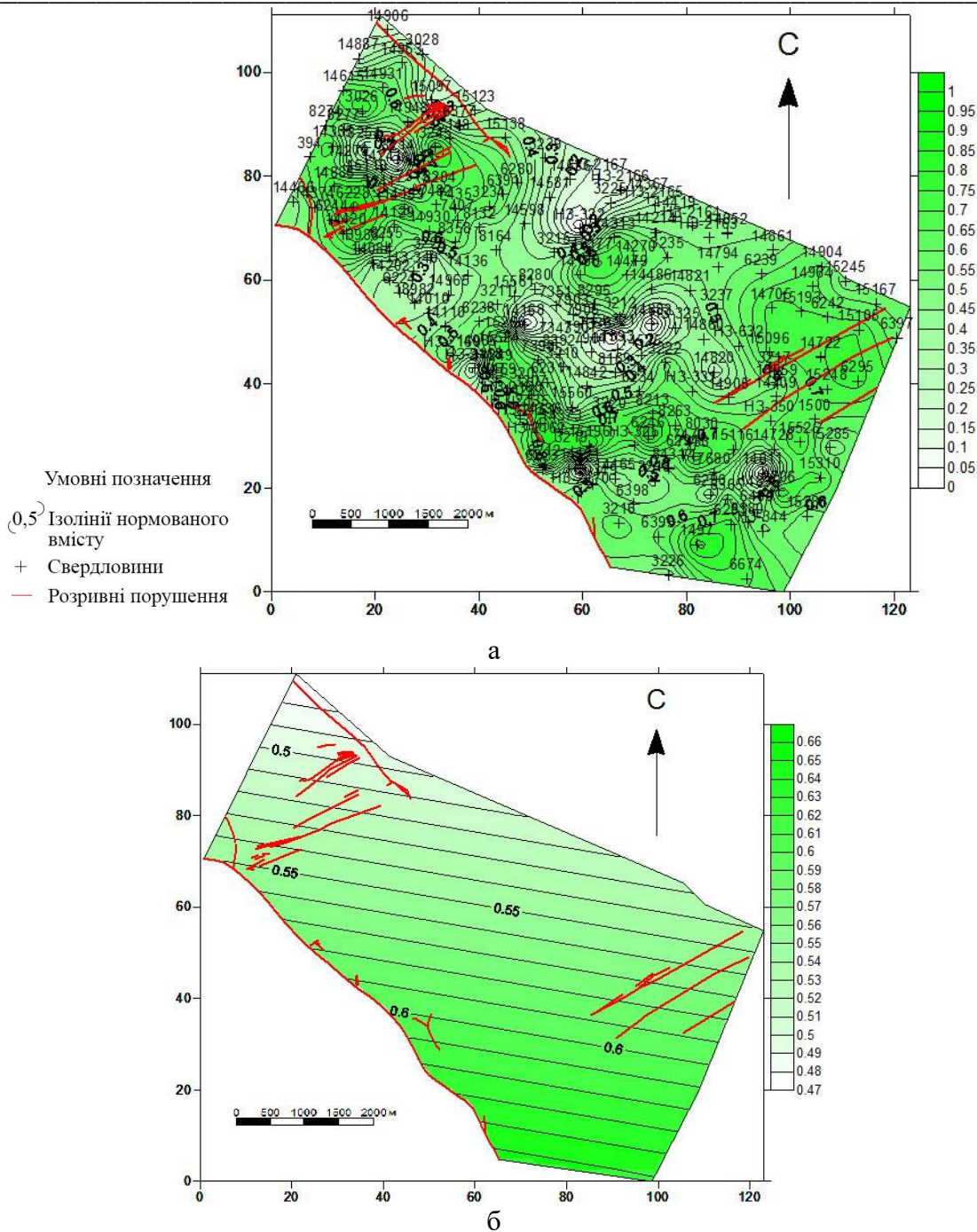


Рисунок 1 - Карта ізоконцентрат (а) та карта зміни регіональної складової (б) нормованого вмісту германію у вугільному пласті  $c_8^B$  (ш. Західно-Донбаська)

**Основні висновки:** 1) регіональна складова загального вмісту германію збільшується в північно-східному напрямку; 2) вміст германію не залежить від напрямку падіння пласта, сучасної глибиною його залягання, потужністю та сірки загальної у вугіллі; 3) зворотній зв'язок концентрації досліджуваного елемента з зольністю пласта, а отже, його зв'язок з органічною складовою вугілля 4) встановлено тісний зворотній зв'язок між вмістом германію та концентрацією фтору у пласті.

Основна практична цінність виконаних досліджень полягає у побудові карт вмісту германію і розрахунку рівнянь регресії, які дають можливість виконати

середньо- і довготерміновий прогноз вмісту цього елемента у видобуваємії гірничій масі і планувати наступні технічні та організаційні заходи направлені на управління його вмістом в продуктах і відходах вуглевидобутку. Основне наукове значення отриманих результатів полягає у встановленні для розглянутого шахтопласту характеру розподілу германію, що вірогідно має полігенний і поліхронний характер накопичення.

Список літератури

1. Ішков, В.В., Козій Є.С. (2017). Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта с<sub>7</sub><sup>н</sup> шахти «Павлоградська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. *Вісник Київського національного університету. Геологія.* (79), 59 – 66.
2. Козій, Є.С. (2018). Миш'як, берилій, фтор і ртуть у вугіллі пласта с<sub>8</sub><sup>в</sup> шахти «Дніпровська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. *Вісник Дніпропетровського університету. Геологія-Географія.* (26 (1)), 113–120. <https://doi.org/10.15421/111812>
3. Нестеровський, В.А., Ішков, В.В., Козій, Є.С. (2020). Токсичні і потенційно токсичні елементи у вугіллі пласта с<sub>8</sub><sup>н</sup> шахти «Благодатна» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. *Вісник Київського національного університету. Геологія,* 88(1), 17-24. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.88.03>
4. Kozar, M.A. Ishkov, V.V., Kozii, Ye.S., Pashchenko, P.S. (2020). New data about the distribution of nickel, lead and chromium in the coal seams of the Donetsk- Makiiivka geological and industrial district of the Donbas. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology,* 29(4), 722–730. <http://doi:10.15421/112065>
5. Ішков, В.В., Козій, Є.С. (2019). Аналіз розповсюдження хрому і ртуті в основних вугільних пластах Красноармійського геолого-промислового району. *Вид-во ІГН НАН України. Серія тектоніка і стратиграфія,* (46), С. 96-104.
6. Ішков, В.В., Козій, Є.С. (2020). Деякі особливості розподілу берилію у вугільному пласті k<sub>5</sub> шахти «Капітальна» Красноармійського геолого-промислового району Донбасу. *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки,* Т. 25, вип. 1(36), 214-227.
7. Ішков, В.В., Козій, Є.С. (2020). Особливості розподілу свинцю у вугільних пластах Донецько-Макіївського геолого-промислового району Донбасу. *Вид-во ІГН НАН України. Серія тектоніка і стратиграфія,* (47), 77-90.
8. Козій, Є.С. (2017). Особливості розподілу токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта с<sub>10</sub><sup>в</sup> шахти «Сташкова» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. *Геотехнічна механіка,* (132), 157-172.
9. Ішков, В.В., Козій, Є.С. (2020). Розподіл ртуті у вугільному пласті с<sub>7</sub><sup>н</sup> поля шахти «Павлоградська». *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Гірничо-геологічна»,* 1(23)-2(24), 26-33.
10. Козій, Є.С., Ішков, В.В. (2017). Класифікація вугілля основних робочих пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту токсичних і потенційно токсичних елементів. *Геотехнічна механіка,* (136), 74-86.
11. Ішков, В.В. Козій, Є.С. (2017). Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта с<sub>10</sub><sup>в</sup> шахти «Дніпровська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району Донбасу. *Геотехнічна механіка,* (133), 213-227.
12. Козій, Є.С., Ішков, В.В. (2018). Особливості розподілу токсичних і потенційно токсичних елементів в основних вугільних пластах по розрізу Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району Донбасу. *Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників»,* 194-203.

13. ГОСТ 9815-75 (1975). Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Метод отбора пластовых проб. Москва: Изд-во стандартов.

14. ГОСТ 28974-91 (1991). Угли бурые, каменные и антрациты. Методы определения бериллия, бора, марганца, бария, хрома, германия, никеля, кобальта, свинца, галлия, ванадия, меди, цинка, молибдена, иттрия и лантана. Москва: Изд-во стандартов.

## **ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ ВИДОБУТКУ МЕТАНУ ЧЕРЕЗ ПОВЕРХНЕВІ СВЕРДЛОВИНИ ПНЕВМОГІДРОДИНАМІЧНОЮ ДІЄЮ**

*<sup>1</sup>Притула Д.О., магістр, <sup>1</sup>Агаєв Р.А., канд. техн. наук, <sup>1</sup>Власенко В.В., канд. техн. наук, <sup>1</sup>Дудля К.Є., канд. техн. наук, <sup>1</sup>Клюєв Е.С. канд. техн. наук  
<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро, Україна.*

**Анотація.** В роботі встановлено вплив гірничо-геологічних умов на видобуток метану через поверхневі свердловини за допомогою пневмогідродинамічної дії на газонасичений вуглепородний масив. При обробці даних використовували аналітичні методи математичної статистики. Отримано послідовність породних шарів з певним співвідношенням їх товщини.

**Вступ.** В сучасних умовах потреба України в природному газі задовольняється за рахунок власного видобутку лише наполовину. Тому велика увага приділяється позабалансовим джерелам енергії, серед яких велике значення займає метан вугільних родовищ (МВР), запаси якого, в перерахунку на умовне паливо, займають четверте місце в світі після нафти, вугілля і природного газу.

Видобуток метану при розробці вугільних родовищ передбачає буріння поверхневих дегазаційних свердловин (ПДС) з врахуванням таких параметрів: газомісткість вугільних пластів, їх глибина залягання і товщина, зольність, петрографічний склад вугілля і ступінь метаморфізму, тектоніка родовищ, геодинамічних стан вугленосної товщі, фізичні характеристики вугільних пластів і пластів-колекторів, наявність зон підвищеної проникності.

Однак цього недостатньо для забезпечення високого рівня видобутку метану зі свердловин. Однією з основних причин низького дебіту ПДС і малого їх терміну експлуатації є кольматація порового простору присвердловинної зони, яка утворюється при поглинанні бурового розчину в процесі буріння свердловин, і визначається процесами, що протікають навколо ПДС, викликаними впливом гірського тиску у вуглепородному масиві. Це в підсумку і призводить до закупорки техногенних і природних тріщин і пор, а, отже, до припинення функціонування ПДС і її ізоляції від частини масиву, що недегазується [1].

Проблема видобутку МВР через ПДС ускладнюється ще й тим, що в умовах Донбасу пластовий тиск, зазвичай нижче гідростатичного тиску рідини, що унеможливорює застосування гідродинамічних способів впливу і також сприяє замиканню газу в порах і тріщинах продуктивних газоносних горизонтів.



Зважаючи на неможливість існуючими методами досягти декольматації присвердловинної частини масиву, в більшості випадків метан з цих ПДС не придатний для ефективної реалізації на ринку і просто спалюється або викидається в атмосферу.

Тому Інститутом геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України спільно з ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька» розроблено спосіб впливу на ПДС, який полягає в інтенсифікації дегазації і видобутку метану вугільних родовищ на основі декольматації масиву пневмогідродинамічною дією (ПГДД) [2].

Для підвищення ефективності застосування розробленого способу слід вивчити вплив гірничо-геологічних умов присвердловинної зони газонасиченого масиву на видобуток метану через ПДС шляхом визначення послідовності породних шарів з відповідним співвідношенням їх товщини, що є актуальною науковою задачею для гірничої галузі.

**Методика дослідження.** Спосіб заснований на створенні знакозмінних навантажень на продуктивний горизонт з використанням енергії гірського масиву і метану, що в ньому знаходиться.

Сутність методу полягає в наступному. З земної поверхні буриться ПДС до вугільного пласта і недобурюється до пласта на відстань не менше 5 його товщин. По всій довжині свердловина обсаджується металевими трубами з тампонажем затрубного простору. На ділянках продуктивних горизонтів створюється перфорація обсадних труб. ПДС заповнюється водою на 30-80 м вище продуктивного горизонту. Для створення зв'язку між фільтраційним об'ємом гірського масиву і свердловиною в неї опускають насосно-компресорні труби (НКТ). Гирло свердловини обладнується пристроями ПГДД для управління процесом дії як через НКТ, так і через міжтрубний простір (МТП). Компресор високого тиску створює в ПДС розрахунковий тиск і здійснює скидання його в часі, що не перевищує 18 хв. Процес дії повторюється неодноразово з параметрами, що залежать від умов проведення робіт і показників реакції гірського масиву (зміна газовиділення, викид твердої фракції і т.п.). В результаті дії відбувається винос кольматційних матеріалів в ПДС, що сприяє ефективному з'єднанню присвердловинного фільтраційного обсягу з фільтраційним об'ємом гірського масиву.

**Результати досліджень.** Випробування проводилися в межах поля шахти ім. О.Ф. Засядька на восьми ПДС, чотири з яких мали дебіт метану від 1 до 24 тис. м<sup>3</sup>/добу (табл. 1). Всі свердловини були пробурені на одному шахтному полі, одним буровим обладнанням з дотриманням єдиних вимог по видобутку МВР [3].

У таблиці 1 представлені результати розрахунку сумарної товщини геологічних породних шарів в зоні перфорації свердловин. Встановлено, що наявність газовиділення зі свердловини не впливає потужність, кількість вугілля, пісковиків, аргілітів, алевролітів і вапняків.

Оцінка кількісних і якісних показників шарів, що перетинаються перфораційним інтервалом представлена в табл. 2.

Таблиця 1 - Експериментальні дані по свердловинах в межах поля шахти ім. О.Ф. Засядька, отримані при ПГДД

Фактор	МТ-340	ЗД-2	ЗД-3	Д-5	ЗД-4	ЗД-5	1185-Д	МС-598
Зона перфорації, м	273	310	355	362,5	319	370	331	244
Глибина св., м	1277	1310	1325	1282,5	1300	1330	1356	1273
Дебіт, тис м <sup>3</sup>	–	–	–	–	24	1	10	24
<b>Порода</b>	<b>Сумарна товщина геологічних породних шарів, м</b>							
Аргіліт	56,3	36,8	58,9	90,7	96,5	87,2	139,7	72,7
Алевроліт	96,8	179,7	114,3	183,1	151,3	121,8	66,7	82,8
Вугілля	1,4	2,5	9,6	5,5	3,7	9,3	2,9	1,7
Пісковик	123,0	95,3	171,5	149,6	60,8	149,9	119,3	87,3
Вапняк	2,5	2,0	4,6	3,3	6,1	5,2	2,5	0,4
<b>Всього</b>	<b>280</b>	<b>316,3</b>	<b>358,9</b>	<b>432,2</b>	<b>318,4</b>	<b>373,4</b>	<b>331,1</b>	<b>244,9</b>

Таблиця 2 - Процентне співвідношення товщини породних шарів в кожній свердловині

Порода	МТ-340	ЗД-2	ЗД-3	Д-5	ЗД-4	ЗД-5	1185-Д	МС-598
Аргіліт	20,11	11,63	16,40	18,85	30,30	23,36	42,21	29,69
Алевроліт	34,57	56,81	31,86	40,00	47,53	32,63	20,14	33,81
Вугілля	0,50	0,79	2,66	0,91	1,16	2,49	0,88	0,69
Пісковик	43,93	30,13	47,80	39,82	19,10	40,15	36,03	35,65
Вапняк	0,89	0,63	1,27	0,41	1,92	1,38	0,76	0,16

Із таблиць 1 і 2 варто виділити процентний вміст сумарної потужності аргіліту в зоні перфорації. Так, в свердловинах, в яких не було зафіксовано газовиділення, цей показник склав 11,63-20,11%, а з газовиділенням - 23,36-42,21%. При цьому в ЗД-4 і МС-598, дебіт яких склав 24 тис.м<sup>3</sup>, цей показник дорівнював 30,3 і 29,69% відповідно. Цей же параметр для свердловини ЗД-5, з дебітом 1 тис.м<sup>3</sup>, склав 23,36%, що ближче до показників «безгазових» свердловин і дозволяє говорити про вплив сумарної потужності аргіліту на газовиділення.

Проведемо порівняння відношення зони перфорації до товщини породних шарів (табл. 3) і товщини аргіліту до алевроліти, вугілля, пісковика та вапняку (табл. 4).

Таблиця 3 - Співвідношення зони перфорації до товщини породних шарів по кожній свердловині

Порода	МТ-340	ЗД-2	ЗД-3	Д-5	ЗД-4	ЗД-5	1185-Д	МС-598
Аргіліт	4,85	8,42	6,03	4,74	3,31	4,24	2,37	3,36
Алевроліт	2,82	1,73	3,11	2,35	2,11	3,04	4,97	2,95
Вугілля	195,00	124,00	37,17	78,32	86,22	39,78	114,14	145,24
Пісковик	2,22	3,25	2,07	2,88	5,25	2,47	2,78	2,79
Вапняк	109,20	155,00	78,02	132,31	52,30	71,71	132,40	610,00

З таблиці 3 видно, що тенденція зберігається. Так, на свердловинах без дебіту, співвідношення перфораційної зони до аргіліту склав 4,74-8,42, а з дебітом - 2,37-4,24. Для ЗД-4 і МС-598 з дебітом 24 тис.м<sup>3</sup> цей показник дорівнював 3,31 і 3,36

відповідно. А для ЗД-5 з дебітом 1 тис.м<sup>3</sup> така ж величина склала 4,24, що ближче до показників «безгазових свердловин».

Таблиця 4 - Співвідношення товщини породних шарів аргіліту до товщини алевроліту, пісковіку, вугілля, вапняку

Порода	МТ-340	ЗД-2	ЗД-3	Д-5	ЗД-4	ЗД-5	1185-Д	МС-598
Аргіліт/ Алевроліт	0,58	0,20	0,51	0,50	0,64	0,72	2,10	0,88
Аргіліт/ Вугілля	40,21	14,72	6,16	16,53	26,07	9,38	48,17	43,27
Аргіліт/ Пісковик	0,46	0,39	0,34	0,61	1,59	0,58	1,17	0,83
Аргіліт/ Вапняк	22,52	18,40	12,93	27,92	15,81	16,90	55,88	181,75

Зі співвідношень, представлених в таблиці 4, проглядається закономірність впливу аргіліту. На свердловинах з дебітом аргіліт до алевроліту мають коефіцієнт співвідношення, який змінюється в межах 0,64-2,1, а без дебіту - 0,2-0,58.

Для встановлення закономірності впливу гірничо-геологічних умов на видобуток метану через ПДС на газоносний вуглепородний масив проведено аналіз 46 комбінацій без повторень певних послідовностей розташування породних шарів свердловин. Виявилось, що у працюючих свердловин з такою послідовністю шарів: аргіліт, пісковик і алевроліт отримані співвідношення їх товщини в такій формі: аргіліт до пісковіку - більш 1,78; аргіліт до алевроліту - більш 0,78; пісковик до алевроліту - більше 0,2.

#### Висновки.

1. Геологічний аналіз ПДС показав, що при ПГДД наявність в перфораційній зоні вугільних пластів потужністю від 1,4 до 9,8 м, газоносних пісковиків потужністю від 87,3 м до 150 м і аргілітів від 56,3 до 139, 7 м не є гарантією постійного газовиділення зі свердловин, що пробурені в межах одного шахтного поля.

2. Доведено, що на наявність газовиділення зі свердловин не впливає кількісний і якісний показник окремих породних шарів в зоні перфорації, а впливає їх взаємозв'язок і певна послідовність.

3. Математичний аналіз отриманих результатів показав, що на наявність газовиділення впливає такий показник, як відношення інтервалу зони перфорації до сумарної потужності аргіліту. Так, для свердловин без дебіту цей показник коливається в межах від 4,9 до 3,4, а для свердловин з дебітом – від 1 до 24 тис. м<sup>3</sup>/добу - від 3,2 до 1,6. Причому, для свердловин з дебітом 24 тис. м<sup>3</sup>/добу вищезгадана величина дорівнювала 3,2 і 2,42, а для свердловин з дебітом 1 і 10 тис. м<sup>3</sup>/добу - 1,58 і 1,62 відповідно.

4. Після вивчення стратиграфічних колонок свердловин було встановлено певну відмінну рису. Вона полягає в тому, що у працюючих свердловин з такою послідовністю шарів: аргіліт, пісковик і алевроліт отримані співвідношення їх товщини в такому вигляді: аргіліт до пісковіку - більш 1,78; аргіліт до алевроліту - більш 0,78; пісковик до алевроліту - більше 0,2.

Застосування способу ПГДД на конкретні ідентифіковані гірничо-геологічні умови дозволить значно підвищити продуктивність і термін експлуатації ПДС,

що пробурені на газонасичений вуглепородний масив.

### Список літератури

1. Агаев, Р.А. Ключев, Э.С., Сапунова И.А. (2017). Анализ геотехнологических способов добычи газа из угольных и техногенных месторождений. *Геотехническая механика*, (136), С.205-220.
2. Софийский, К.К. Звягильский, Е.Л., Ефремов, И.А., Бобрышев В.В. (2004). К вопросу о кольматации поверхностно-дегазационных скважин в процессе их эксплуатации. *Геотехническая механика*, (49), 17-22.
3. Агаев, Р.А. Силин, Д.П. (2012). Интенсификация добычи метана угольных месторождений через поверхностные дегазационные скважины. *Геотехническая механика*, (103), 5-9.

## ПЕРСПЕКТИВИ ПРОМИСЛОВОГО ВИКОРИСТАННЯ СИНТЕЗГАЗА, ОТРИМАНОВОГО ГАЗИФІКАЦІЄЮ ВУГЛЕЦЕВМІСНОЇ СИРОВИНИ

<sup>1</sup>Давидов Сергій Леонідович, к.т.н.

<sup>1</sup>Опарін Сергій Олександрович, к.т.н., доц.

<sup>2</sup>Радченко Юрій Миколайович, к.т.н., доц.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, м. Дніпро, Україна

<sup>2</sup>Національна Металургійна Академія України, м. Дніпро, Україна

**Анотація.** Розглянуто питання, пов'язані із застосуванням синтезгазу підвищеної калорійності в теплових агрегатах, що діють. Встановлено вплив величини теплоти згорання газу на коефіцієнт використання палива в агрегаті, а також можливі шляхи зниження питомої витрати палива на технологічний процес.

**Вступ.** Останніми роками виявляється все більший інтерес до проблеми отримання екологічно чистих видів палива. При цьому виникає ситуація зворотна тій, яка мала місце в промисловості в 60-і роки ХХ століття, при заміні генераторного газу природним. Зважений підхід до даного питання дозволить мінімізувати ризики, зв'язані промисловим використанням синтезгазу.

**Мета роботи.** Оцінити можливості промислового використання синтезгазу, отриманого газифікацією вуглецевмісної сировини.

**Результати досліджень.** При переході на нове паливо в рамках існуючих технологічних агрегатів, необхідно узгоджувати основні теплотехнічні характеристики цього палива з параметрами роботи самого агрегату.

Перш за все, у зв'язку з підвищеною калорійністю синтезованого палива, змінюється калориметрична температура горіння палива. З виразу для розрахунку калориметричної температури [1] виходить, що при незмінному питомому виході продуктів згорання, вона значно підвищується:

$$t_{\text{кал}} = \frac{Q_n^p}{V_d \cdot C_d},$$

де  $Q_n^p$  – нижча теплота згорання палива, яка для синтезгазу може бути записана як  $Q_n^p = Q_{хим} + Q_{доод}$ , Дж/м<sup>3</sup>г;  $Q_{хим}$  – енергія хімічних реакцій окислення горючих компонентів газу;  $Q_{доод}$  – додаткова енергія кластерних структур синтезгазу;  $V_d$  – питомий вихід диму, м<sup>3</sup>д/м<sup>3</sup>г;  $C_d$  – питома теплоємність диму, Дж/(м<sup>3</sup>·К).

Конкретне значення калориметричної температури визначається не лише калорійністю палива, але і величиною теплоємності димових газів, яка може істотно змінюватися із-за специфічних властивостей синтезгазу. У зв'язку з цим, питання про теплоємність продуктів згорання синтезгазу вимагає додаткових досліджень.

Довжина факела, як правило, має значення для організації процесу тепловіддачі до матеріалів, що нагріваються, і не повинна перевищувати розмірів робочого простору.

Одна з методик розрахунку довжини турбулентних факелів базується на припущенні, що довжина факела визначається умовами захвату і перемішування окислювача з паливом. Для випадку газового струменя, що розвивається в нерухомому повітрі, пропонується формула [2]:

$$L_{\phi} = 11 \cdot \left( 1 + \frac{L_0 \cdot \rho_{0,нов}}{\rho_{0,газ}} \right) \cdot d_0,$$

де  $L_0$  – теоретичний видаток повітря на горіння, м<sup>3</sup>пов/м<sup>3</sup>г;  $\rho_{0,нов}$  та  $\rho_{0,газ}$  – густина повітря та газу при нормальних умовах, кг/м<sup>3</sup>;  $d_0$  – діаметр сопла, м.

Оскільки кількість повітря для спалювання одиниці синтезгазу визначається тільки його хімічним складом, то можна вважати, що довжина факела не повинна змінюватися.

Працездатність палива в умовах конкретного теплового агрегату найзручніше оцінювати по величині коефіцієнта використання теплоти палива (КВП). Вираз для КВП можна представити в наступному вигляді [1]:

$$\eta_{кит} = \frac{Q_n^p + Q_{физ}^{m,в} - Q_{ух}^d}{Q_n^p},$$

де  $Q_{физ}^{m,в}$  – фізична теплота підігрітого палива і повітря за рахунок теплоти димових газів, Дж/м<sup>3</sup>г;  $Q_{ух}^d$  – фізична теплота димових газів що покидають піч, Дж/м<sup>3</sup>г.

Температура диму, що покидає агрегат, визначається технологічним процесом і конструкцією самого агрегату. Наприклад, для топки парового котла, ця температура зазвичай складає 300...400 °С. В цьому випадку, з врахуванням підвищеної теплоти згорання синтезгазу, коефіцієнт використання палива

прагнучиме до одиниці  $\eta_{квп} \rightarrow 1,0$ . Що свідчить про високу ефективність вживання синтезгазу в рамках існуючих технологій.

Важливим техніко-економічним показником при оцінці роботи теплових агрегатів є питома витрата палива (теплоти) на виробництво одиниці продукції. Цей показник залежить від багатьох факторів. При цьому, для більшості агрегатів, спостерігається область т.зв. «оптимальній продуктивності», коли витрата палива мінімальна.

Використовуючи поняття про «теплові потужності» [1], залежність питомої витрати теплоти від продуктивності можна записати у вигляді, Дж/кг:

$$b_{мен} = \frac{\Delta I}{\eta_{квп}} + \frac{Q_{вит}}{P \cdot \eta_{квп}},$$

де  $\Delta I$  – зміна ентальпії матеріалів при обробці в печі (тепловий дефіцит процесу), Дж/кг;  $Q_{вит}$  – теплові втрати печі, Вт;  $P$  – продуктивність печі, кг/с.

Як наголошувалося раніше, при спалюванні синтезгазу, КВП прагне до одиниці і мало залежить від температури димових газів, що відходять. В цьому випадку другий доданок із зростанням продуктивності стає малим в порівнянні з першим. В результаті, поняття «оптимальної продуктивності» втрачає сенс, і, при використанні газів з підвищеною калорійністю, можна форсувати роботу печі. При цьому питома витрата палива прагнучиме до теоретичного мінімуму, рівного відношенню теплового дефіциту до КВП. Вірогідний вид теоретичних кривих показаний на рисунку 1.

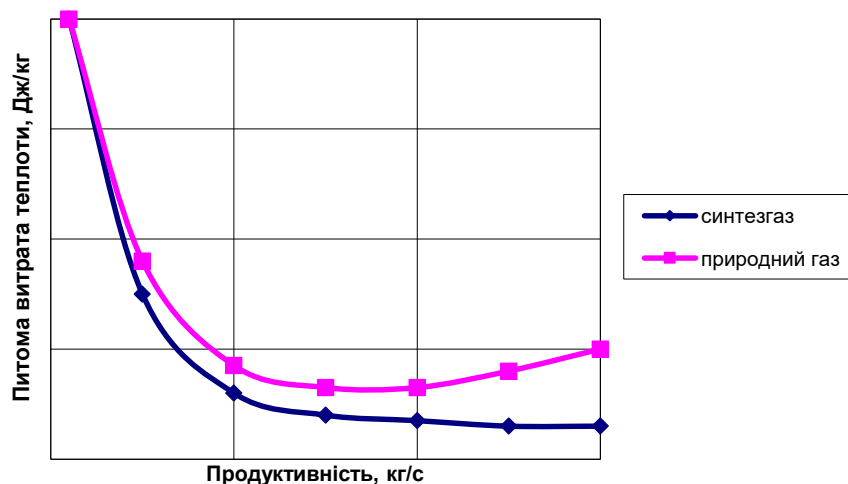


Рисунок 1 – Характерний вид залежності питомої витрати палива від продуктивності агрегату

Традиційно, при заміні одного палива на інше, необхідно враховувати "аеродинамічну характеристику" нового палива. Зазвичай це приводить до

коректування прохідних перетинів пальників і, інколи, газо - і повітропроводів, що підводять.

Екологічні наслідки використання синтезгазу підвищеної калорійності полягають в посиленні процесів утворення оксидів азоту у зоні горіння. Оскільки температура факела істотно впливає на кількість оксидів, що утворюються, то підвищена калориметрична температура горіння газу сприяє цьому небажаному явищу. У зв'язку з цим необхідні додаткові дослідження процесу спалювання синтезгазу з метою встановлення кількісної картини утворення NOx.

### **Висновки.**

1. Стандартна калориметрична температура горіння синтезгазу може значно змінюватися, що позначиться на параметрах теплообміну в робочому просторі печей.

2. З фізики розвитку турбулентного струменя витікає, що довжина факела синтезгазу не повинна істотно змінитися. В такому разі геометричні параметри факела не впливатимуть на теплообмін в робочому просторі агрегату.

3. Із-за підвищеної теплоти згорання, коефіцієнт використання палива прагнутиме до одиниці  $\eta_{квп} \rightarrow 1,0$ . Що свідчить про високу ефективність вживання синтезгазу в рамках існуючих технологій.

4. КВП для синтезгазу мало залежить від температури димових газів, що відходять. Як наслідок, область оптимальної продуктивності яскраво не виражена, тому можна форсувати роботу печі.

5. Аеродинамічна характеристика нового палива, скоріш за все, зажадає коректування прохідних перетинів пальників і газо - і повітропроводів, що підводять.

6. Використання синтезгазу підвищеної калорійності посилює процеси утворення оксидів азоту у осередку горіння, тому необхідне вживання заходів для зниження цього негативного явища.

### **Список літератури**

1. Губинский, В. (2006). *Металлургические печи*. Днепропетровск: НМетАУ.
2. Румянцев, В. (2011). *Теплотехника: Навчальний посібник*. Дніпропетровськ: Пороги.

## ВИБІР ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВУГІЛЬНИХ ШАХТОПЛАСТІВ ПРИ ВЕДЕНІ ГІРНИЧИХ РОБІТ

*<sup>1</sup>Руднєв Є.С. канд. техн. наук, доцент*

*<sup>1</sup>Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м. Северодонецьк,  
Україна*

**Анотація.** Наведено наукове обґрунтування застосування класифікаційних показників ступеня метаморфізму для прогнозу конкретних небезпечних властивостей шахтопластів. Її застосування дозволить об'єднати в єдиний логічний ланцюжок науково обґрунтоване використання факторів трьох блоків (ступень метаморфічних перетворень вугілля, гірничо-геологічні умови залягання пластів та гірничотехнічні параметри ведення робіт), які в сукупності визначають безпеку гірничих робіт.

**Вступ.** Для достовірного прогнозу прояву одного з багатьох небезпечних властивостей вугільних шахтопластів при введенні гірничих робіт і розробки ефективних профілактичних заходів щодо його запобігання необхідно розглядати три блоки впливаючих факторів [1].

У першому блоці пропонується розглядати і встановлювати стадії метаморфічних перетворень шахтопластів, при яких формуються умови для виникнення небезпечних властивостей. У загальному випадку до найбільш небезпечних властивостей вугільних пластів відносяться виділення вибухових та легкозаймистих газів, раптові викиди вугілля і газу, схильність до самозаймання і виникнення ендегенних пожеж, підвищене пилоутворення, вибуховість вугільного пилу і інші негативні явища.

До факторів другого блоку належать гірничо-геологічні умови залягання вугільних шахтопластів: глибина ведення гірничих робіт, потужність пластів, що розробляються, кути їх залягання, наявність геологічних порушень і зближених пластів-супутників, властивості порід, покрівлі та подошви, значення геотермічного градієнта і т.д. Впливаючі фактори другого блоку, що характеризують гірничо-геологічні умови ведення гірничих робіт, достовірно встановлюються при обґрунтуванні доцільності відпрацювання вугільного родовища. На підставі даних про параметри перших двох блоків призводять проектування гірничотехнічних умов експлуатації вугільного підприємства. Вони відносяться до факторів третього блоку, від яких в кінцевому підсумку, залежить ефективна робота гірничого підприємства.

Найменш вивченими і не завжди достовірно встановленими є чинники першого блоку, які пов'язані зі зміною складу та властивостями вугілля при геологічних процесах. У теперішній час відомо більш тридцяти факторів, які впливають на стан та властивості вугілля, які виникають в процесі метаморфічних перетворень і впливають на безпеку гірничих робіт.

В даний час склалася практика коли в нормативних документах [2-9], що регламентують безпеку ведення гірничих робіт, для характеристики ступеня метаморфічних перетворень пластів в переважній більшості випадків використовується один показник - вихід летких речовин при термічному розкладанні вугілля без доступу повітря ( $V^{daf}$ ).



Максимальна кількість класифікаційних показників ступеня метаморфізму одночасно використано при встановленні викидонебезпечності пластів [2]. Додатково до  $V^{daf}$  для зазначених цілей залучені значення товщини пластичного шару ( $y$ ) та логарифм питомого електроопору ( $lg\rho$ ).

Порівняння кількості відомих чинників метаморфічних перетворень вугілля з їх кількістю, які використані у нормативних документах, свідчить про відсутність системного підходу до використання відомих факторів до встановлення небезпечних властивостей шахтопластів. Один показник не може одночасно характеризувати вміст і різноманітні властивості органічної маси вугілля та мінеральних домішок. З цієї причини наукове обґрунтування загальних підходів до розробки методу для прогнозу прояву різноманітних небезпечних властивостей шахтопластів при веденні гірничих робіт є актуальною проблемою. Її рішення дозволить об'єднати в єдиний логічний ланцюжок науково обґрунтоване використання факторів трьох блоків, які в сукупності визначають безпеку гірничих робіт.

**Ідея** полягає в тому, що кожної небезпечної властивості шахтопласта відповідає певне поєднання декількох критеріїв оцінки ступеня метаморфізму, а різні небезпечні властивості, в деяких випадках, можуть характеризуватися однаковими показниками складу і властивостей вугілля.

**Методика** заснована на вивченні взаємозалежності між показниками ступеня метаморфізму вугілля, які характеризують різні аспекти їх перетворення при геологічних процесах.

**Результати.** Якщо дотримуватися принципу, що один показник складу або властивості вугілля характеризує одну із сторін метаморфічних перетворень, то таких критеріїв можна нарахувати більше тридцяти. Найбільш досконалою в даний час є класифікація вугілля за генетичними і технологічними параметрами. Всі кваліфікаційні показники [10], крім відбиття вітриніту ( $R_{or}$ ), в ряду ранжирування вугілля по їх ступеню метаморфічних перетворень мають достовірне кількісне визначення тільки в окремих його діапазонах.

З цих відомостей виходе, що навіть такий універсальний показник  $R_{or}$ , що має достовірне кількісне визначення в усьому ряду метаморфізму, не може без допоміжних показників досить надійно характеризувати окремі споживчі властивості вугілля.

Для отримання більш точної оцінки ступеня метаморфічних перетворень, при зміні елементного складу вихідної речовини підходить вміст вуглецю в органічній горючій масі ( $C_o$ ). Показник  $C_o$  безпосередньо контролює зміну суми інших компонентів органічної маси водню ( $H_o$ ), сірки ( $S_o$ ), азоту ( $N_o$ ) та кисню ( $O_o$ ). З похибкою близько одного відсотка  $\Sigma H_o, S_o, N_o, O_o = 100 - C_o, \%$ .

Показник  $C_o$ , як і  $R_{or}$ , має високу точність кількісного визначення у всьому ряду ранжирування вугілля за ступенем їх метаморфічних перетворень. У промисловій класифікації [10] показник  $C_o$  не використовується для виявлення споживчих властивостей, в тому числі і для встановлення марочного складу вугілля. Значення  $C_o$  і марки вугілля для шахтопластів Донецького та Львівсько-Волинського басейнів наведені в довіднику [11]. До розробки промислової

класифікації [10] все кам'яне вугілля і антрацити за споживчими властивостями ділилися на десять марок Д, Г, ЖГ, ГР, Ж, К, ОС, Т, ПА, А. Така їх градація приведена і в довіднику [11]. Кількість марок в класифікації [10] збільшено до 17 за рахунок використання допоміжних показників, а проміжна марка ПА замінена іншими. В цілому в обох джерелах [10, 11] основні марки залишилися однаковими.

Це дало можливість порівнювати діапазони зміни показників  $C_o$  та  $R_{or}$  для марок по мірі посилення ступеню метаморфізму. У всіх випадках за фактором показника  $C_o$ , як і за критерієм  $R_{or}$ , відсутні конкретні межі між окремими марками. Крім цього розміри діапазонів зміни  $C_o$  та  $R_{or}$  по мірі посилення ступеня метаморфізму ні в одному випадку не збігаються між собою. Це свідчить, з одного боку, що показники  $C_o$  та  $R_{or}$  характеризують різні сторони метаморфічних перетворень вугілля, а з іншого це пов'язано з використанням різних показників для встановлення марок вугілля. З цих причин немає підстав марочний склад вугілля використовувати для прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів в нормативних документах щодо безпечного ведення гірничих робіт.

Між показниками  $C_o$  та  $R_{or}$  згідно [10-14] тісна кореляційна залежність, що дозволяє  $C_o$  та  $R_{or}$  використовувати при встановленні небезпечних властивостей шахтопластів в якості основних класифікаційних показників. В цьому випадку  $C_o$  безпосередньо характеризує в цілому зміну елементного складу вугілля, а  $R_{or}$  - відображає їх структурні зміни в процесі метаморфічних перетворень.

Для більш точного встановлення змін вуглецю в складі органічної маси кожного шахтопласта, на додаток до  $C_o$  необхідно розглядати індивідуальне співвідношення між іншими складовими  $H_o$ ,  $S_o$ ,  $N_o$ , і  $O_o$ .

Переважне застосування одного з будь-яких класифікаційних показників, в тому числі  $C_o$  та  $R_{or}$ , невиправдано з позицій класичного визначення метаморфізму. Один показник не може одночасно і всебічно характеризувати склад, структуру, хімічні та фізико-механічні властивості органічної маси вугілля і його мінеральних домішок. При прогнозі небезпечних властивостей шахтопластів, неприпустима взаємозамінність класифікаційних показників, навіть при високому кореляційному зв'язку між ними [15]. Різні методики визначення класифікаційних показників відображають і різні властивості вугілля, що з'явилися в процесі метаморфічних перетворень. Застосування кожного показника повинно бути обґрунтовано з урахуванням мети застосування і методики його визначення.

Небезпечні властивості вугільних шахтопластів багато в чому визначаються фізико-механічними характеристиками вугілля, тому їх необхідно розглядати в залежності від відповідних показників. До них відносяться структура, щільність, міцність, твердість, пластичність, пружність, крихкість, дробильність. Використання  $R_{or}$  та  $C_o$  замість марок вугілля дає можливість кількісної оцінки значень впливаючих факторів.

До складу органічної маси входить також вологість  $W^t$ , але розроблені сучасні методи її визначення [16] не передбачають спільний розгляд  $W^t$  в комплексі з

іншими основними компонентами  $C_o$ ,  $H_o$ ,  $S_o$ ,  $N_o$ ,  $O_o$  органічної маси. Така ситуація виникла через визначення основних компонентів органічної маси на сухий безпопільній стан палива. При прогнозі небезпечних властивостей шахтопластів необхідно зміст основних компонентів ( $C_o$ ,  $H_o$ ,  $S_o$ ,  $N_o$ ,  $O_o$ ) вугілля призводити близьких до його природного стану.

### **Висновки.**

При встановленні факторів метаморфічного перетворення шахтопластів (перший блок) на підставі проведених досліджень необхідно враховувати такі особливості:

- класифікаційні показники марочного складу і вихід летких речовин безпосередньо не відображають елементний та петрографічний склад викопного вугілля. Методики їх визначення розроблені для класифікації вугілля за споживчими властивостями на підставі аналізу проб, наведених до сухого та безпопільного стану органічної маси (daf). Таке визначення показників марочного складу і виходу летких речовин не відповідає стану вугілля в шахтопластах при веденні гірничих робіт й призводить до істотних погрішностей при оцінці ступеня метаморфічних перетворень. Використання в нормативних документах показників марок вугілля і виходу летких речовин не є достатньо науково обґрунтованим для прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів;

- вміст вуглецю в органічній масі, наведений до сухого безпопільного стану, надійно контролює суму інших основних компонентів. Сучасні методики дозволяють розрахувати співвідношення між основними складовими органічної речовини з урахуванням фактичної вологості та мінеральних домішок. Це дає можливість аналізувати результати оброблення проб вугілля, приведені до умов, близьких до виробничих;

- середній показник відбиття вітриніту характеризує петрографічний склад вугілля, в тому числі й наявність мінеральних домішок;

- показники вмісту вуглецю і середнього відбиття вітриніту контролюють відповідно елементний і петрографічний склад викопного вугілля. Їх значення достовірно визначені у всьому ряду метаморфічних перетворень кам'яного вугілля та антрацитів. Крім того вони характеризують хімічну активність і фізико-механічні властивості вугілля. Ці особливості показників вмісту вуглецю й відбиття вітриніту дозволяють їх рекомендувати в якості основних показників для прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів;

- в даний час відомо більше тридцяти показників, які характеризують одну зі специфічних сторін метаморфічних перетворень шахтопластів. Кожен з цих показників або їх комплекс, в сукупності з основними, досить вірогідно можуть характеризувати конкретну небезпечну властивість окремого шахтопласта. Підбір допоміжних показників повинен бути обґрунтований відповідними методиками їх визначення і характером прогнозованої небезпечної властивості шахтопласта.

Запропонована схема визначення ступеня метаморфічних перетворень дозволяє всебічно охарактеризувати елементний і петрографічний склад вугілля, хімічні, фізико-механічні та технологічні властивості вугілля практично

для кожного шахтопласта Донбасу і Львівсько-Волинського басейну на підставі відповідних каталогів. Свого часу вони були складені на підставі досвіду й даних геологорозвідувальних робіт та експлуатації вугільних підприємств, встановлення якості продукції після збагачення вугілля на фабриках та ін.

### Список літератури

1. Tarasov, V., Antoshchenko, M., Rudniev, Ye., Levadnyi, O. (2020). On subject to determine fire hazard groups of coal seams. *Norwegian Journal of development of the International Science*, (1 (47), 16-27.
2. Мінвуглепром України (2005). Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ.: нормативний документ СОУ 10.1.00174088.011–2005. [чинний від 2005-12-01]. К.: Основа, 224 с.
3. ВостНИИ (1994). Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. К.: Основа, 311с.
4. НИИГД (2000). Руководство по предупреждению и тушению эндогенных пожаров на угольных шахтах Украины: КД 12.01.402 – 2000. Донецк: НИИГД, 216 с.
5. ВостНИИ (1979). Руководство по борьбе с пылью в угольных шахтах. М.: Недра, 319с.
6. МакНИИ (1987). Инструкция по прогнозу и предупреждению внезапных прорывов метана из почвы горных выработок. Д.:МакНИИ, 29 с.
7. Мінвуглепром України (2009). Правила визначення ефективності випереджального захисту пластів, схильних до газодинамічних явищ. СОУ-П 10.1.00174088.016:2009. [чинний від 2009-06-01]. Київ, Мінвуглепром України, 36 с.
8. М-во угольной промышленности СССР, ВНИИ горной геомеханики и маркшейдерского дела (1983). Каталог динамических разломов горных пород на угольных шахтах. Л.: ВНИИМ, 120 с.
9. НИИГД (1997). Эндогенные пожары на угольных шахтах Донбасса. Предупреждение и тушение. Инструкция. КД 12.01.401-96. Донецк: НИИГД, 68 с.
10. ГОСТ 25543-2013. Межгосударственный стандарт (2014). Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. М.: Стандартинформ, 19 с.
11. Донецкий научно-исследовательский угольный институт (1972). Справочник по качеству каменных углей и антрацитов Донецкого и Львовско-Волинского бассейнов. М.: Недра, 168 с.
12. Бутузова, Л.Ф., Шакир, Ш.М., Кулакова, В.О., Колбаса, В.А. (2016). Взаимосвязь между технологическими свойствами углей и составом экстрактов. *Вестник Донецкого национального технического университета*, (1), 13-20.
13. Федорова, Н.И., Заостровский, А.Н., Исмагилов, З.Р. (2015). Физико-химические свойства низкометаморфизованных длиннопламенных углей Кузбасса. *Вестник Кузбасского государственного технического унив-та*, (5(111)), 126-129.
14. Эттингер, И.Л., Шульман, Н.В. (1975). Распределение метана в порах ископаемых углей. М.: Наука, 112 с.
15. Антощенко, Н.И., Тарасов, В.Ю., Заика, Р.Г., Золотарева, Е.В., Захарова, О.И (2020). К вопросу определения классификационных показателей углей для установления опасных свойств шахтопластов. *Геотехническая механика* (152), 149-159.
16. Августевич, И.В., Сидорук, Е.И., Броневец, Т.М. (2019). Стандартные методы испытания углей. Классификации углей. М.: «Реклама мастер», 576 с.

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОЕФІЦІЄНТІВ КОРИСНОЇ ДІЇ ПРОЦЕСІВ ПЛАЗМОХІМІЧНОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ КАРБОНОВМІСНОЇ СИРОВИНИ

<sup>1</sup>Давидов С.Л., к.т.н., <sup>1</sup>Опарін С.О., к.т.н., с.н.с.,

<sup>1</sup>Холявченко Л.Т., к.т.н., с.н.с.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, м. Дніпро, Україна

**Анотація.** В роботі наведено перспективи та переваги алотермічних плазмохімічних термоперетворень карбоновмісної сировини в енергетичний газ. Складено енергетичні баланси та визначено енергетичні коефіцієнти корисної дії процесів пароплазмових та повітряноплазмових алотермічних технологій. Порівняльний аналіз енергетичних коефіцієнтів корисної дії процесів високотемпературного перетворення карбоновмісної сировини показує перспективність пароплазмової алотермічної технології термоперетворення карбоновмісної сировини в енергетичний газ.

**Вступ.** Масове застосування низькопотенційної карбоновмісної сировини (КВС) як енергоносія є можливим при розробці та впровадженні нових, прогресивних технологій його перетворення на екологічно чисте паливо. Такі технології реалізуються шляхом плазмохімічного перетворення КВС в енергетичний газ, що забезпечує відповідність екологічним показникам.

Плазмохімічні технології відрізняються високим виходом одержаного корисного продукту, а його складові практично не залежать від якості вихідної сировини. Так при перетворенні КВС будь-якої якості та складу (вугілля різного ступеню метаморфізму, торфу, сланців, відходів вуглевидобутку і вуглезбагачення, у тому числі і побутових відходів) кінцевим продуктом є синтез-газ. Технологія відрізняється високою швидкістю хімічних реакцій та продуктивністю процесу перетворення в потоці, малою металоємністю устаткування і, як наслідок, невеликими капітальними витратами [1].

**Мета.** Одним з основних техніко-економічних показників процесу, в тому числі і процесу плазмового перетворення, є енергетичний коефіцієнт корисної дії (ККД). З метою порівняльного аналізу ККД процесів плазмохімічної газифікації карбоновмісної сировини визначимо даний показник для процесів пароплазмових та повітряноплазмових алотермічних технологій та порівняємо з ККД існуючих автотермічних технологій, який не перевищує 50-55% [2].

**Результати досліджень.** Складемо загальний енергобаланс та визначимо енергетичний ККД ( $\eta_e$ ) процесів алотермічного перетворення на прикладі вугілля марки АШ-1 в залежності від окиснюючого середовища за рівнянням [3]

$$\eta_e = \frac{Q_2 \cdot V_2 / 3,6 + \sum G_{2i}^K \cdot I_{2i}^K / 3600 + G_3^K \cdot I_C^K / 3600}{G_6^n \cdot I_C^n / 3600 + G_{OK} \cdot I_{OK}^n / 3600 + G_6^n \cdot Q_C / 3,6 + G_6^n \cdot \omega_n^M},$$

де  $Q_2$  – теплота згоряння утвореного газу;  $V_2$  – об'єм утвореного газу;  $G_{2i}^K$  – маса і-го компонента утвореного газу;  $I_{2i}^K$  – ентальпія і-го компонента утвореного газу

при температурі процесу  $T_k$ ;  $G_3^k$  – маса золи;  $I_C^k$  – ентальпія карбону при кінцевій температурі перетворення;  $G_6^n$  – маса КВС;  $I_C^n$  – ентальпія карбону при початковій температурі;  $G_{OK}$  – маса окислювача;  $I_{OK}^n$  – ентальпія окислювача при початковій температурі;  $Q_c$  – теплота згоряння одиниці маси карбоновмісного середовища;  $\omega_n^M$  – питома масова витрата енергії на перетворення 1 кг КВС;

Результати розрахунку енергетичного балансу процесу перетворень 1 кг вугілля марки АШ-1, розподіл енергії та енергетичний ККД процесу перетворення вугілля в різному окиснюючому середовищі наведені в табл. 1 та на рис.1.

Таблиця 1 – Енергетичний баланс та ККД аллотермічних процесів

Параметри розрахунку	$Q_{\text{в}}^n$	$Q_{\text{ок}}^n$	$Q_{\text{вс}}$	$\Delta Q$	$\Sigma Q_{\text{ве}}$	$Q_{\text{сс}}$	$Q_{\text{з}}^k$	$Q_{\text{з}}^n$	$\Sigma Q_{\text{ое}}$	$\eta_e$		
Одиниці виміру	кВт·год										-	%
Результат розрахунку	повітря	0,005	0,256	7,97	3,95	12,181	4,83	2,03	0,129	6,689	0,55	55
	пара	0,005	0,0003	7,97	3,16	11,135	9,21	1,75	0,126	11,086	0,99	99



Рисунок 1 - Енергетичний ККД плазмових процесів перетворення КВС в газ

Аналіз результатів розрахунків показує, що енергія одержаного продукту перетворень, значною мірою, залежить від типу окиснювача. Так для парового середовища вона складає 11,1 кВт·год/кг, а для повітряного - 6,69 кВт·год/кг. Застосування повітря в 1,5 рази збільшує загальний вихід газової фази і на 20-30% зменшує енерговитрати. Проте калорійність газу з повітря в 2,5-3 рази нижча за рахунок зниження вмісту синтез-газу з 97-99% до 35-40%. Основна частина енергії корисного продукту зосереджена в об'ємі отриманого газу: для пари складає 79,4% (9,21 кВт·год/кг) від загальної, а для повітря не перевищує

38% (4,83 кВт·год/кг) (табл. 2). Енергетичний коефіцієнт корисної дії ( $\eta_e$ ), для пари і повітря відповідно, складає 0,986 і 0,55, що відповідає різниці більше 40%. Пояснюється це різницею калорійності одержаного газу, яка в паровому середовищі вища в 2,5 рази, ніж в повітряному, за рахунок водню з окиснювача.

**Висновки:**

1. Визначено енергетичні коефіцієнти корисної дії процесів пароплазмових та повітряноплазмових алотермічних технологій термодетворення карбоновмісної сировини в енергетичний газ та проведено їх порівняльну оцінку з автотермічними плазмохімічними процесами.

2. Встановлено, що ККД алотермічного процесу значною мірою залежить від якості окиснюючого середовища, так для парового середовища він близький до 1 та складає 0,99, а для повітряного – не перевищує 0,55.

**Список літератури**

1. Bulat, A.F., Davy`dov, S.L., Kholyavchenko, L.T., Oparin, S.A. (2019). Paroplazmennyye tekhnologii v proizvodstve sintez-gaza i motornogo topliva iz uglya, effektivnost` i perspektivy. *Nauchno-tekhnicheskoe obespechenie gornogo proizvodstva*, (89), 259-269.

2. Макогон, Ю. В. (2016). Інновації в сфері енергетики в Україні. *Збірник наукових праць УкрДГРІ*, (3), 87-97.

3. Bulat, A.F., Oparin, S.O., Kholyavchenko, L.T., Davydov, S.L. (2021). Method of calculating the energy efficiency of the plasma-chemical conversion process of carbon-containing environments. *Theoretical and practical aspects of modern scientific research: Collection of scientific papers with proceedings of the I International Scientific and Practical Conference*, April 30, 2021, Seoul, (1), 171-174.

**ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОГЕННИХ РОЗСИПІВ, СФОРМОВАНИХ У ШТУЧНИХ СХОВИЩАХ**

<sup>1</sup>Медведєва О.О., д-р техн. наук, с.н.с., <sup>1</sup>Рижова С.О., інж. I кат.,

<sup>1</sup>Кругліков Д.Г., аспірант

*Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро, Україна*

**Анотація.** Проведено аналіз роботи гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу. Досвід експлуатації сховищ відходів збагачення свідчить про утворення техногенних розсіпів за рахунок потрапляння у відходи збагачення цінних компонентів при переробці мінеральної сировини. Крім того сховища майже повністю заповнені, а деякі навіть виведені з експлуатації. Тому для забезпечення ефективного функціонування гірничо-збагачувальних комбінатів необхідно подовжити термін експлуатації сховищ шляхом відновлення їх акумулюючої здатності. Для вирішення цього питання в роботі розроблена оцінка параметрів техногенних розсіпів для обґрунтування технологій їх видобутку.

**Вступ.** Багаторічний досвід роботи гірничо-збагачувальних комбінатів Криворізького залізорудного басейну (Кривбасу) [1 - 5] свідчить про те, що на існуючі технології збагачення нездатні повністю сепарувати цінні компоненти при переробці мінеральної сировини. Це в свою чергу призводить до акумулювання цінного компонента в сховищах відходів збагачення, що вимагає

розробки методів і технологій, спрямованих на їх видобуток як техногенних розсипів. Проблема вилучення залишків цінного компонента з відходів переробки мінеральної сировини повинна розглядатися в комплексі з іншими проблемами, які обумовлені тривалим техногенним впливом гірничого виробництва на довкілля: продовженням терміну експлуатації існуючих сховищ, переробкою відходів збагачення і зниженням їх екологічної небезпеки.

Існуюча концепція складування відходів збагачення залізородної сировини [1- 6], що не передбачала їх подальшу переробку і вилучення залишків цінного компонента, привела до небезпечної екологічної ситуації: до акумуляції значних обсягів екологічно шкідливих речовин на денній поверхні поблизу густонаселених житлових територій. Існуючі сховища відходів збагачення майже повністю заповнені. Тому необхідно шукати нові технічні рішення для забезпечення роботи гірничо-збагачувальних комбінатів шляхом подовження терміну експлуатації сховищ за рахунок відновлення їх акумулюючої здатності, бо площ під нові сховища немає.

Таким чином, існуючі сховища відходів збагачення мінеральної сировини належить розробляти як техногенні розсипи для видобутку залишків цінного компонента, як відвали пустої породи для закладки виробленого простору і звільнення ємності для складування нових відходів, або в процесі рекультивації та консервації для зниження екологічної безпеки та повернення в земельний фонд. Однак існуючі сховища відходів зводилися виключно з принципу забезпечення стійкості їх дамб обвалування та акумулювання частинок глинистих, крейдянних і пилюватих фракцій під шаром води, а подальша їх розробка не передбачалася.

З огляду на це, сьогодні актуальним є не тільки оцінка параметрів вже сформованих техногенних розсипів, що забезпечить їх видобуток після виведення сховищ відходів з експлуатації, але і розробка методів формування майбутніх техногенних розсипів, що забезпечить їх компактне складування і полегшить видобуток як в майбутньому, так і відразу після наміву, без припинення складування нових відходів збагачення.

В процесі експлуатації розміри сховищ відходів збільшувалися, виник дефіцит технічної води, який стали компенсувати освітленою водою з переповнених ставків-відстійників. Наступним етапом розвитку системи зворотного водопостачання стало використання технологій згущення відходів збагачення ще до потрапляння в сховище і повернення освітленої води на збагачувальне виробництво.

Питання видобутку цінних компонентів, що залишилися в відходах збагачення, є актуальним в період, коли велика частина штучних сховищ відходів наблизилися до завершення свого етапу експлуатації. У цей момент дослідження даного питання змістилися з теоретичних міркувань в практичну площину, і перейшли до обґрунтування можливих технологій видобутку



техногенних розсипів. Це зажадало оцінки параметрів техногенних розсипів, сформованих в уже існуючих сховищах.

**Мета роботи** полягає у визначенні параметрів техногенного розсипу і намівного масиву в процесі керування параметрами техногенного розсипу здійснюється через зміну параметрів процесу фракціонування при течії по пляжу наміву.

**Результати досліджень.** Перспектива продовження терміну експлуатації сховищ обумовлена тим, що видобуток техногенного розсипу з тільки що замитого ярусу, до зведення наступної дамби обвалування, дозволить збільшити ємність сховища. У цій ситуації завдання технології складування ускладнюється і не зводиться тільки до забезпечення складування пилюватих, глинистих і крейдяних фракцій під шаром води в ставку-відстійнику. Тепер воно включає необхідність управління параметрами розсипу, з метою полегшити процес його видобутку.

До параметрів техногенного розсипу, що сформувався в сховищі відходів збагачення, можна віднести наступні [7, 8]: зміст цінного компонента; збіднення розсипу, що визначається як вміст глинистих і пилюватих часток; потужність розсипу; протяжність розсипу по довжині пляжу; протяжність розсипу по фронту наміву; ближня межа техногенного розсипу; дальня межа техногенного розсипу. З усіх перерахованих параметрів найбільш стабільними є потужність техногенного розсипу та його протяжність по фронту наміву. Потужність техногенного розсипу дорівнює товщині ярусу наміву, а протяжність розсипу по фронту наміву дорівнює периметру внутрішньої сторони дамби обвалування. Жоден із цих параметрів не вимагає ніякого регулювання, оскільки вони повністю визначаються параметрами гірничих робіт, що виконуються при нарощуванні дамб обвалування.

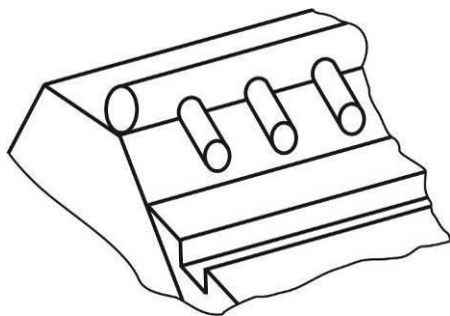
Інші параметри техногенного розсипу залежать від характеристик технології складування відходів збагачення - від параметрів процесу фракціонування, від конструкції випусків, від кількості випусків, з яких одночасно здійснюється намів і від загальної кількості випусків, розташованих на даній довжині фронту наміву.

Зміст цінного компонента визначається не тільки ефективністю збагачувального виробництва, але і залежить від технології складування відходів збагачення, і як показують деякі дослідження [8], збіднення техногенного розсипу можна звести до мінімуму обравши загальну кількість випусків. Такі параметри техногенного розсипу, як протяжність по довжині пляжу і по фронту наміву, а також ближня і дальня межа техногенного розсипу, визначаються параметрами процесу фракціонування, густиною і розміром частинок цінного компонента, часток глинистих, крейдяних і пилюватих фракцій. Так разом з частинками цінного компонента, які характеризуються високою густиною і малими геометричними розмірами, в тіло техногенного розсипу будуть

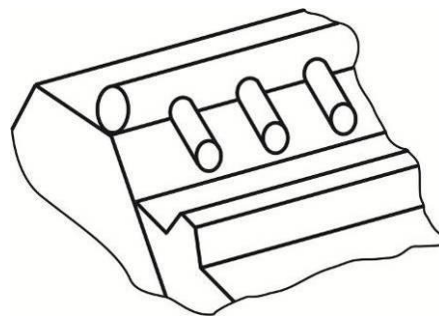
відкладатися і частки порожньої породи, що володіють меншою густиною, але більшим геометричним розміром.

Таким чином, управління параметрами техногенного розсипу здійснюється через зміну параметрів процесів течії відходів збагачення з трубопроводу і фракціонування їх при течії по пляжу намиву.

Результати аналізу особливостей руху частинок різної густини й крупності в безнапірних потоках і по похилій площині дозволили виділити наступні методи керування, які засновані на зміні параметрів процесу фракціонування відходів збагачення при течії по пляжу намиву (рис. 1, табл. 1) [8]: протікання над щілиною; перетікання через поріг; комбінованого перетікання.



а) з використання щілини



б) з використання перепони

Рисунок 1 – Керування параметрами процесу фракціонування відходів збагачення при течії по пляжу намиву

Найбільш простим способом реалізації таких впливів є щілина прямокутної, трапецієподібної, трикутної або іншої форми, що прорита поперек течії потоку уздовж фронту намиву (рис. 1.а, табл. 1). При проходженні щілини на частку впливають зміни параметрів процесу фракціонування відходів - у переднього краю і по довжині щілини змінюється глибина і швидкість потоку, а на поверхні дальнього краю щілини на сепарацію твердих частинок впливає коефіцієнт їх тертя. Всі ці фактори сприяють акумулюванню в щілини частинок техногенного розсипу.

Другим за простотою способом реалізації розглянутих впливів є організація на шляху потоку перепони прямокутної, трапецієподібної, трикутної або іншої форми (рис. 1.б, табл. 1). При обтіканні перешкоди ініціюється осадження твердих частинок перед ним за рахунок сепарації частинок техногенного розсипу на передній стінці перешкоди. Перешкоду можна створювати відсипанням гравійними фракціями або укладанням спеціально виготовлених профілів.

**Висновок і напрямок подальших досліджень.** Для перспективних методів керування параметрами техногенних розсипів, що сформовані в сховищах відходів збагачення, заснованих на регулюванні параметрами таких розсипів при

безнапірному складуванні пульп низькій концентрації, проведено оцінку параметрів одержуваного розсипу і намитого масиву.

Таблиця 1 - Класифікація засобів зміни параметрів процесу фракціонування відходів збагачення при течії по пляжу намиву

Форма	Ескіз	
	Щілина	Перепона
Прямокутна		
Квадратна		
Кругла		
Овальна		
У вигляді ромбу		
Трикутна пряма		
Трикутна зворотна		
Кишеня		—
Уступ		—
Трапецеїдальна рівнобічна		
Трапецеїдальна нерівнобічна пряма		
Трапецеїдальна нерівнобічна зворотна		

Встановлено, що при керуванні параметрами процесу фракціонування відходів збагачення у вигляді пульпи низької концентрації максимальний обсяг техногенного розсипу вдається акумулювати за рахунок комбінованого перетікання на перешкоді щілини з перешкодою, а мінімальний обсяг - при перетіканні через поріг. Використання в цих умовах протікання над щілиною дозволяє акумулювати проміжний обсяг техногенного розсипу. Слід зазначити, що питання ефективності вибору того чи іншого виду перешкоди необхідно досліджувати з урахуванням ступеня наповнення ярусу намиву, а також аналізу руху твердих частинок, що виходить за рамки проведених досліджень.

### Список літератури

1. Евдокимов, П.Д., Сазонов, Г.Т. (1978). Проектирование и эксплуатация хвостовых хозяйств обогатительных фабрик. М.: Недра, 440 с.
2. Нурок, Г.А., Лутовинов, А.Г., Шерстюков, А.Д. (1977). Гидроотвалы на карьерах. М.: Недра, 311 с.
3. Юфин, А.П. (1965). Гидромеханизация. М.: Стройиздат, 496 с.
4. НИИСП ГОССТРОЙ УССР (1969). Рекомендации по намыву шламов (хвостов) в плотины и дамбы шламоохранилищ железорудных горообогатительных комбинатов. Киев: НИИСП ГОССТРОЙ УССР, 116 с.
5. Госстрой УССР (1975). Временные указания по технологии возведения намывных хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов РСН 275 – 75. К.: Госстрой УССР, 180 с.
6. Мелентьев, В.А., Копашкинов, Н.П., Волнин, Б.А. (1973). Намывные гидротехнические сооружения. М.: Энергия, 120 с.
7. Блюсс, Б.А., Медведева, О.А. и др. (2013). Выбор и обоснование возможных технологических решений, направленных на устранение экологических проблем складирования отходов: отчет о НИР (промежуточный): Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 41 с., № ГР 0113U005467, Инв. № 7440.
8. Медведева, О.О. (2021). Розвиток наукових основ ресурсозберігаючих технологій гідромеханізованої розробки техногенних родовищ: дис. ... д.т.н.; 05.15.09. Дніпро: Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.

## МЕТОД ОЦІНКИ РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ РАПТОВОГО ВИКИДУ ВУГІЛЛЯ, ПОРОДИ І ГАЗУ У ВУГІЛЬНІЙ ШАХТІ

<sup>1</sup>Кокоулін І.Є., <sup>1</sup>Безручко К.А., <sup>2</sup>Мирошніченко В.В.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро, Україна, <sup>2</sup>ДТЕК ЕНЕРГО, Київ, Україна

**Анотація.** Під час проведення аналізу ризику раптового викиду вугілля, породи і газу рекомендується послідовно аналізувати гірничо-геологічні та гірничотехнічні умови розробки вугільного родовища, планувати і організовувати роботи з промислової безпеки, визначати чинники, що впливають на небезпеку викиду, оцінювати ризик викиду, розробляти (коригування) міри щодо зниження ризику викиду за виявленими небезпеками. Для оцінки ризику рекомендовано бальний метод, який передбачає розбиття чинників, що впливають на небезпеку викиду, на блоки і надання чинникам рангів, які характеризують значимість чинника для розвитку аварії, їх ваги і розбиття чинників за градаціями. Тоді ризик рівня аварії можна обчислити у залежності від попадання середньозваженого балу у межі одного з вибраних діапазонів.

Раптовий викид вугілля, породи і газу є однією з найнебезпечніших підземних аварій, що супроводжується великими матеріальними збитками і загрожує здоров'ю і навіть життю людей. Викид супроводжується частковим або повним руйнуванням вибою, бурхливим виділенням газу і утворенням потоку вугілля або породи, суспендованого у газі. Причому суспензія має настільки тонкий "помел", що наводить на думку, що гірничий масив зруйнувався не тільки від напруження гірничого масиву, але й через викид внутрішньомолекулярного, раніше зв'язаного, газу.

Фізичну природу викиду до кінця не з'ясовано, можна лише впевнено зробити висновок, що він викликається як гірничо-геологічними, так і гірничотехнічними причинами. Тому вивченню і зниженню ризику виникнення і шкідливого впливу викиду на навколишнє середовище приділяється нині значна увага багатьох дослідників [1,2].

Повністю усунути ймовірність виникнення аварій у шахті, звичайно, неможливо, тому шахта готується до їх попередження і ліквідації заздалегідь. На всіх шахтах функціонує система протиаварійного захисту [3,4], складаються плани ліквідації аварій [5], міри яких вибираються і оптимізуються з використанням сучасних інформаційно-аналітичних технологій [6,7,8]. Однак ефективність мір, що приймаються, значною мірою знижується відсутністю методів оцінки ступеню ризику виникнення і шкідливого впливу шахтних аварій, зокрема раптових викидів вугілля, породи і газу.

Доведено, що до небезпечних за раптовими викидами вугілля, породи і газу відносяться пласти у межах шахтного поля, на яких виникали ці газодинамічні явища (ГДЯ) або поточним прогнозом встановлювалась небезпека їх виникнення, яка підтверджується комплексною оцінкою згідно додатку Е [9].

У окремих випадках виділяють особливо викидонебезпечні вугільні пласти або ділянки, що характеризуються підвищеною частотою і інтенсивністю викидів: у зонах тектонічних порушень, активних за викидами; у зонах підвищеного гірського тиску, ускладнених геологічними порушеннями; у випадку пересічення гірничими виробками створів з крайовими частинами ціликів або зупинених вибоїв на сусідніх пластах.

Границя викидонебезпечності вугільного пласта при панельній або погоризонтній підготовці шахтного поля встановлюється з ізогіпси, що проходить на відстані 100 м по пласту вище від мітки першого викиду вугілля і газу або викидонебезпечної зони, виявленої прогнозом і підтвердженої комплексною оцінкою викидонебезпечності.

При поверховій підготовці шахтного поля ця границя не повинна бути нижче відмітки вентиляційного штреку горизонту, на якому вперше виник викид або прогнозом виявлено викидонебезпечну зону.

До загрозливих за раптовими викидами вугілля і газу відносяться пласти з глибин розробки (табл. 1) з урахуванням природної газоносності і комплексного показника ступеню метаморфізму вугілля  $M$ , виходу летючих речовин  $V^{daf}$  або логарифму питомого опору антрацитів  $\rho$ , що визначається згідно ГОСТ 4668.

Комплексний показник ступеню метаморфізму вугілля  $M$  в умовних одиницях розраховується за формулами:

- при  $9\% < V^{daf} < 29\%$

$$M = V^{daf} - 0,16y$$

де  $y$  – товщина пластичного шару, мм (для вугілля, не схильного до спікання,  $y = 0$ ) у відповідності до ГОСТ 1186;

- при  $V^{daf} > 29\%$

$$M = \frac{4V^{daf} - 91}{y + 2,9} + 24.$$

Таблиця 1 – Показники віднесення пластів до загрозливих за раптовими викидами

Вихід летючих речовин $V^{daf}$ , %	Комплексний показник ступеню метаморфізму вугілля $M$ , ум. од.	Природна газоносність пласту $x$ , м <sup>3</sup> /т с.б.м.	Глибина розробки пласту $H$ , м
> 29	Від 26,3 до 27,7	8 і більше	400
	Від 24л до 26,2	9 і більше	380
Від 9 до 29	Від 23,7 до 27,6	10 і більше	380
	Від 17,6 до 23,6	11 і більше	320
	Від 13,5 до 17,5	12 і більше	270
	Від 9,0 до 13,4	13 і більше	230
< 9 (але $lg \rho > 3,3$ )	-	15 і більше	150

Якщо глибина розробки або газоносність пласту менше, ніж вказано у табл.1, а також, якщо  $M > 27,7$  ум. од. або  $lg \rho < 3,2$ , незалежно від глибини розробки і газоносності, пласт не відноситься до небезпечних за раптовими викидами вугілля і газу.

Під час проведення аналізу ризику раптового викиду вугілля, породи і газу рекомендується послідовно виконувати наступні етапи:

- а) збирання відомостей щодо гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов розробки вугільного родовища;
- б) планування і організація робіт щодо забезпечення промислової безпеки;
- в) визначення чинників, що впливають на безпеку викиду, і індексів безпеки викиду (ІНВ) по кожній з них;
- г) оцінка ризику викиду;
- д) розробка (коригування) мір щодо зниження ризику викиду за виявленими небезпеками.

Чинники, що впливають на безпеку викиду та ІНВ на стадії експлуатації вугільної шахти слід вибирати згідно даних, наведених у табл. 2.

Перелік їх не претендує на вичерпність. Чинники, які впливають на безпеку викиду і відповідні ІНВ можуть змінюватись і доповнюватись у залежності від умов експлуатації конкретної вугільної шахти, ступеню впровадження багатофункціональної системи безпеки (БФСБ), організації і здійснення моніторингу дотримання вимог промислової безпеки тощо.

Для оцінки ризику рекомендовано бальний метод, який передбачає розбиття чинників, які впливають на безпеку викиду (табл. 2), на блоки і надання

чинникам рангів, що характеризують значимість чинника для розвитку аварії, їх ваги і розбиття чинників за градаціями. Одним із варіантів градації може бути п'ятирівнева, а саме: ДН – «дуже низький рівень ризику», фіксований первинний бал для подальшого експертного оцінювання і уточнення 0,1; Н - «низький», бал 0,3; С – «середній», бал 0,5; В = «високий», бал 0,7; ДВ – «дуже високий», бал 0,9.

Таблиця 2 – Чинники небезпеки і ІНВ для викиду вугілля, породи і газу

№ з/п	Чинник небезпеки	ІНВ	Примітки
1	Раптовий викид вугілля, породи чи газу	0	За попередній трирічний період викидів не було
		1	За цей час мав місце хоча б один викид
2	Прогнозу викидонебезпечності немає	1	За трирічний період мав місце хоча б один викид
3	Існує автоматизований прогноз викидонебезпечності	-0,3	За кожен випадок виникнення викиду оцінка збільшується на 0,5, у разі загибелі людей – на 1. На небезпечних пластах на проводиться
4	Є ручний і автоматизований прогноз	-0,2	
5	Є ручний прогноз	-0,1	
6	Є контроль стану гірничого масиву засобами БФСБ	- 0,5	
7	На шахті немає викидонебезпечних пластів	0	
8	На шахті є пласти, загрожувати за раптовими викидами	0,3	
9	Шахта має пласт, небезпечний за раптовими викидами	0,5	
10	На шахті усі пласти небезпечні	1	

Проводячи подальше експертне уточнення, і сумуючи бали по кожному блоку чинників за градаціями, і обчислюючи середнє значення, можна отримати підсумковий бал. При цьому вага  $k$  – того чинника  $P_k$  обчислюється за формулою

$$P_k = \frac{r_k}{\sum_{i=1}^n r_i},$$

де  $r_k$  – ранг  $k$  – того чинника,  $n$  – кількість чинників у блоці. Тоді небезпека аварії оцінюється як середньозважений бал по блоку чинників з найбільшим підсумковим балом.

Усі необхідні дані для проведення розрахунків (експертні оцінки умовні) наведено у табл. 3. Номери чинників – з табл. 2. Тоді ризик рівня аварії на вугільній шахті можна обчислити у залежності від попадання середньозваженого

балу, що характеризує небезпеку аварії, у межі одного з діапазонів балів, наведених у табл. 4.

Таблиця 3 – Вхідні дані для розрахунку ризику раптових викидів

Номер чинника у табл. 2	Ранг чинник а	Вага чинник а	Градація чинників				
			ДН	Н	С	В	ДВ
1	3	0,375	0	-	-	-	1
2-6	2	0,250	-0,3	-0,3÷-0,2	-0,2÷-0,1	-0,1÷0	>0
7-10	1	0,125	<0,3	0,3÷0,5	0,5÷0,7	0,7÷0,9	>0,9

Таблиця 4 – Діапазони балів і відповідні рівні ризиків

Діапазон балів	Рівень ризику
0÷0,1	ДН
0,11÷0,39	Н
0,4÷0,51	С
0,52÷0,59	В
0,6÷1	ДВ

Разом з тим, на виникнення викиду впливають не тільки гірничо-геологічні та гірничотехнічні, а і людський чинник. Щоправда, людина навряд чи зможе безпосередньо спровокувати раптовий викид, як це може статися у випадку екзогенної пожежі або вибуху, але опосередковано такий вплив проявитися може. Тому і у цьому випадку є необхідність вираховування ІНВ і його врахування під час рівня ризику виникнення викиду. Дані для цього – у табл. 5, аналогічній табл. 2.

Таблиця 5 – Дія людського чинника при виникненні раптового викиду

№ з/п	Чинник небезпеки	ІНВ	Примітки
1	Коефіцієнт усунення порушень $K_y = \frac{N_y}{N_s}$ , де $N_y$ – кількість усунених у строк порушень, $N_s$ – кількість виявлених порушень	1	$K_y \leq 0,3$
		0,8	$K_y = 0,3 \div 0,5$
		0,4	$K_y = 0,51 \div 0,8$
		0	$K_y = 0,81 \div 1$
2	Контроль стану електроустаткування	1	Не здійснюється
		0,5	Епізодично
		0	З необхідною періодичністю
3	Використання індивідуальних газоаналізаторів, що контролюють вміст у шахтній атмосфері $CH_4$ , $CO$ та $O_2$ на робочих місцях	1	Робітники не забезпечені
		0	Робітники використовують
4	Контроль пронесення у шахту речей, що можуть викликати аварію	0	Існує
		1	Не існує
5	Виявлення робітників у стані алкогольного, наркотичного чи токсичного сп'яніння	0	Здійснюється
		1	Не здійснюється



## **Висновки.**

Користуючись запропонованим методом, можна якісно проаналізувати ризики виникнення раптових викидів вугілля, породи і газу на вугільних шахтах, кількісно обґрунтовуючи напрями їх зниження. Тим самим можливо запобігти багатьом небажаним наслідкам аварійних ситуацій, для чого необхідно більш ретельно підходити до організації протиаварійного захисту, складання і використання планів ліквідації аварій на основі імітаційного моделювання аварійних ситуацій і протиаварійних мір.

## **Список літератури**

1. Шевелев, Г.А. (1989). Динамика выбросов угля, породы и газа. *Киев: Наукова думка*, 160с.
2. Булат, Ф.А., Дырда, В.И. (2013). Некоторые проблемы газодинамических явлений в угольном массиве в контексте нелинейной неравновесной термодинамики. *Геотехническая механика*, (108), 3-31.
3. Мінвуглепром України (2010). Правила безпеки у вугільних шахтах НПАОП 10.0-1.01-10. [Дійсні від 22.03.2010]. Офіційне видання. *Київ: Основа*, 430.
4. Булат, А.Ф., Фичев, В.В., Яценко, И.А. [и др.] (2005). Состояние техники безопасности и эффективность функционирования противоаварийной защиты угольных шахт. *Днепропетровск-Донецк: Норд-Компьютер*, 266.
5. Інструкція зі складання планів ліквідації аварій: ДНАОП 1.1.30-5.17-96. В кн.: *Збірник інструкцій до Правил безпеки у вугільних шахтах*. Т. 1. Київ. С. 12-39.
6. Потемкин, В.Я., Козлов, Е.А., Кокоулин, И.Е. (1991). Автоматизация составления оперативной части планов ликвидации аварий на шахтах и рудниках. *Киев: Техника*. 126.
7. Кравченко, Н.М. (2001). Новая компьютерная технология решения задач охраны труда и техники безопасности. *Уголь*, (8), 40.
8. Левин, В.С., Шитов, Г.А., Смирнов, О.А. [и др.] (1988). Планы ликвидации аварий с применением ЭВМ. *Безопасность труда в промышленности*, (2), 53-54.
9. Мінвуглепром України (2005). Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ : СОУ 10.1.00174088.011-2005. *Київ : Мінвуглепром України*, 225.

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУТКУ ВУГІЛЬНИХ ТЕХНОГЕННИХ ПОКЛАДІВ У ВИГЛЯДІ ГІДРОСУМІШЕЙ ВИСОКОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ

<sup>1</sup>Слободяникова І.Л., <sup>1</sup>Киричко С.М.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

**Анотація.** Проведено аналіз існуючих сховищ відходів вуглезбагачення. Розроблена методика розрахунку параметрів та режимів гідротранспорту залишків техногенних покладів, що мають високий вміст забруднень у вигляді висококонцентрованих гідросумішей. Проведено аналізування умов формування сховищ відходів вуглезбагачення як гідротехнічних споруд. Визначені фактори, які впливають на стан водного балансу в системі «сховище - ґрунтові води - атмосфера».

**Вступ.** На даний час вітчизняні вуглевидобувні регіони мають таку проблему як наявність техногенних сховищ твердих покладів та забрудненої води, які займають значні площі та є перепонами до використання земель для туризму, відпочинку та сільськогосподарських потреб, а також становлять загрозу для забруднення поверхневих і ґрунтових вод, джерел та колодязів. Відомі різноманітні технології та заходи зниження рівня води у сховищах відходів вуглезбагачення, які враховують особливу екологічну небезпечність рідини та твердих відходів, які накопичуються них [1], але всі вони передбачають наявність залишків. Найбільш раціональним є залишок рідини та твердих відходів у вигляді гідросуміші високої концентрації, який можна транспортувати для переробки в якості водовугільного палива або для використання, як сировини, для потреб будівельної галузі. Для непрацюючих сховищ застосування цих технологій та засобів передбачає повне виключення техногенного впливу на навколишнє середовище, а для сховищ, що знаходяться в експлуатації, застосування цих технологій є в першу чергу способом збереження та обмеження розмірів.

Метою даної роботи є вибір та обґрунтування перспективних технологічних рішень, що спрямовані на утилізацію залишка рідини та твердих відходів для покращення екологічного стану навколишнього середовища сховищ відходів вуглезбагачення.

Функціонування вуглевидобувних та вуглезбагачувальних підприємств неможливо без створення та експлуатації сховищ відходів (СВ) вуглезбагачення, так званих шламових відстійників і мулонакопичувачів, та ставів шахтної води (СШВ), які залишаються і нікуди не зникають й після закриття шахт та вуглезбагачувальних фабрик (ВЗФ). Більш того СШВ продовжують використовуватися для акумуляції шахтних вод і після закриття шахт, оскільки здебільше водовідлив з цих шахт не припиняється.

Вважається, що за рахунок сучасних технологій можливо видалити зі СВ та СШВ більшу частину рідини, але після цього залишиться шар мулу, де буде сконцентрована тверда фракція відходів переробки мінеральної сировини. Застосування біотехнологій для зневоднення цієї частки сховища потребує додаткового обґрунтування, але з огляду на вміст в цьому середовищі вуглецю, вважається раціональним його переробка або утилізація з отриманням електричної та теплової енергії. З огляду на це було виконано аналіз сучасних

екологічно безпечних технологій, які дозволяють здійснити відведення техногенних покладів у вигляді ГВК з міст їх накопичення до можливих пунктів переробки. Результати аналізу довідникової літератури, сучасних наукових публікацій в фахових виданнях та статей в електронних джерелах вказують на наступне.

Техногенні поклади, що накопичено в вітчизняних СВ вуглезбагачення, за можливість їх видобутку та транспортування варто поділити на дві частини: зневоднені поклади, що формують пляж сховища, та донні поклади, що знаходяться під дзеркалом рідини.

Донні поклади є водовугільними суспензіями з ваговою концентрацією більше 60%. Тверда фаза, яких містить велику кількість фракцій крупністю менше 100 мкм. Це обумовлює неньютоновські реологічні характеристики цих суспензій, ускладнює їх згущення та осушення, але робить перспективним використання трубопровідного гідротранспорту, шнекового та конвеєрного транспорту для видобутку, й трубопровідного гідротранспорту, конвеєрного, автомобільного та залізничного транспорту для переміщення.

Перспективу переробки та утилізації для донних покладів становлять технології спалювання водовугільного палива в котлах з киплячим шаром. В усіх випадках наявність рідкої фази розглядається як позитивний фактор, що підсилює привабливість трубопровідного гідротранспорту, як технологічно однорідних процесів транспортування та переробки.

Шнековий вид транспорту має перспективу використання тільки для видобутку донних покладів з під дзеркала рідини СВ вуглезбагачення у комбінації з трубопровідним гідротранспортом. За рахунок використання шнеку для черпання та підйому суспензії з дна сховища забезпечується безкавітаційний режим течії у всмоктувальному патрубку насосу. Таке технологічне рішення, для умов більшості вітчизняних ВЗФ, дозволяє рекомендувати трубопровідний гідротранспорт як найперспективніший для видобутку та транспортування донних покладів.

Гідралічний уклін при напірній течії техногенних покладів у вигляді ГВК, як в горизонтальному так й у вертикальному трубопроводах, рекомендовано розраховувати за наступною формулою [1 – 6]

$$i = \begin{cases} \frac{2,24\tau_0}{\rho_0 g D}, & \theta < 0,016, \\ \frac{3,326\tau_0}{\rho_0 g D} + \frac{128,224\eta Q}{\rho_0 g \pi D^4}, & 0,016 < \theta < 1,577, \\ \frac{140,96\eta Q}{\rho_0 g \pi D^4}, & \theta > 1,577, \end{cases} \quad \theta = \frac{8\eta Q}{\pi D^3 \tau_0}, \quad (1)$$

де  $i$  – гідралічний уклін;  $D$  – діаметр трубопроводу;  $Q$  – витрата гідросуміші;  $\theta$  – безрозмірна подача;  $\tau_0$  – початкове дотичне напруження;  $\eta$  – ефективна

в'язкість;  $\rho_0$  – густина води;  $g$  – прискорення вільного падіння.

Перспективні технології видобутку та транспортуванні техногенних покладів у вигляді ГВК передбачають використання земснарядів зі спеціальними всмоктувальними трубопроводами, що забезпечують подання гідросуміші високої густини до насосу або на геодезичну висоту, що дозволить її транспортування на берег під дією сили гравітації.

Враховуючи це, для видобутку і транспортування техногенних покладів у вигляді ГВК перспективними є такі технології: напірне транспортування ГВК по вертикальному трубопроводу; течія ГВК по вертикальному трубопроводу з аерацією; рух ГВК по вертикальному трубопроводу при використанні шнеку; напірне транспортування ГВК по горизонтальному трубопроводу; безнапірна течія ГВК по нахиленому каналу з прямокутним поперечним перетином.

Для процесу напірної течії ГВК по вертикальному трубопроводу необхідно розглянути два випадки: вилучення техногенних покладів у вигляді ГВК з під значного шару води; вилучення техногенних покладів у вигляді ГВК з під шару води з товщиною, що майже не впливає на напірну течію гідросуміші. Для випадку, коли техногенні поклади вилучаються з під значного шару води, додатково треба розглянути процес течії ГВК по вертикальному трубопроводу з аерацією, коли до гідросуміші, що знаходиться у вертикальному трубопроводі, в нижню частину трубопроводу додається повітря, яке знижує густину гідросуміші, та забезпечує її рух до верхнього перерізу труби.

Витрата ГВК у вертикальному трубопроводі при додаванні повітря буде розраховуватися за формулою [6]

$$Q_a = \frac{\rho_0 g \pi D^4}{128 k_Z \eta} \left[ \frac{\Delta Z_0}{\Delta Z} - k_Z \frac{3,33 \tau_0}{\rho_0 g D} - \frac{1}{1 - a_s C + a_0 P} \right], \quad a_s = \frac{\rho_s - \rho_0}{\rho_s}, \quad a_0 = \frac{\rho_0 - \rho_a}{\rho_a}, \quad (2)$$

де  $Q_a$  – витрата ГВК у вертикальному трубопроводі при додаванні повітря;  $\Delta Z_0$  – різниця геодезичних висот кінця та дзеркала СВ;  $\Delta Z$  – різниця геодезичних висот кінця та початку магістралі;  $C$  – вагова концентрація гідросуміші;  $P$  – вагова частка повітря в гідросуміші;  $\rho_s$  – густина техногенного розсипу;  $\rho_a$  – густина повітря.

З формули (2) витікає, що рух ГВК під дією доданого повітря буде відбуватися, якщо вагова частка повітря в гідросуміші буде перевищувати певне значення

$$P > P_0 + \frac{1 - \frac{\Delta Z_0}{\Delta Z} + k_Z \frac{3,326 \tau_0}{\rho_0 g D}}{a_0 \left( \frac{\Delta Z_0}{\Delta Z} - k_Z \frac{3,326 \tau_0}{\rho_0 g D} \right)}, \quad P_0 = \frac{\rho_a}{\rho_s} \frac{\rho_s - \rho_0}{\rho_0 - \rho_a} C, \quad (3)$$

де  $P_0$  – вагова частка повітря в гідросуміші при якій густина ГВК дорівнює густині води.

У випадку гідросуміші зі значними величинами початкового дотичного напруження необхідно розглянути варіант руху ГВК по вертикальному трубопроводу при використанні шнеку. В цьому випадку передбачається підйом гідросуміші на висоту, що забезпечує безнапірну течію до берегів, де відбувається розрідження гідросуміші та її подальше транспортування за допомогою напірного гідротранспорту, автотранспорту чи залізничного транспорту

$$\Delta Z_{\varphi} = \frac{k_{\varphi} \tau_0}{\rho^2 g^2} \left( \frac{B}{\eta Q} \right)^{\frac{3}{2}} L_0, \quad k_{\varphi} = 1,11 \sqrt{k_{\eta}^2 - \frac{3}{2} k_{\eta} + \frac{1}{2}}, \quad (4)$$

де  $\Delta Z_{\varphi}$  – висота підйому гідросуміші над дзеркалом води СВ, що забезпечує безнапірну течію в каналі на відстань  $L_0$ ;  $B$  – ширина каналу прямокутного перерізу;  $L_0$  – відстань транспортування;  $k_{\eta}$  – коефіцієнт наповнення каналу, більший за одиницю.

Для випадку, коли ГВК затримується між витками шнеку за рахунок початкового дотичного напруження, продуктивність та потужність шнеку визначаються за формулами [1 – 6]

$$Q_0 = \frac{\pi(d^2 - d_0^2)}{4} \left( \frac{1,0539 \tau_0}{\rho g \sin \varphi} - \frac{b}{\cos \varphi} \right) n K_0, \quad N_0 = \left( \frac{\rho Q_0}{1321} + \pi d \tau_0 \right) \Delta Z, \quad (5)$$

де  $Q_0$  – об'ємна продуктивність вертикального шнеку;  $d$  – зовнішній діаметр шнеку;  $d_0$  – внутрішній діаметр шнеку;  $\varphi$  – кут нахилу витку шнеку;  $b$  – товщина витку шнеку;  $n$  – частота обертання шнеку;  $K_0$  – узагальнений коефіцієнт продуктивності шнеку;  $N_0$  – потужність електродвигуна шнеку.

Проектний розрахунок виконується з метою визначення показників насосу, діаметру трубопроводу та сумарного напору насосів, які необхідні для забезпечення режимів роботи гідротранспортного комплексу, що регламентовані, при витраті та концентрації гідросуміші, які необхідні [1 – 6]. Відповідно до моделі (1) при розрахунку режимів гідротранспорту вимагається щоб при концентрації гідросуміші, що регламентована, сумарний напір насосів задовольняв наступним обмеженням [1 – 6]

$$\frac{0,51}{\sqrt[3]{q}} k_Z L + \rho \Delta Z < \left( \frac{0,34}{\rho} + 0,66 \right) H(Q_P) < \frac{23,7}{\sqrt[3]{q}} k_Z L + \rho \Delta Z, \quad q = \frac{Q_P \eta (\rho_0 g)^3}{\tau_0^4}, \quad (6)$$

де  $H(Q_P)$  – паспортне значення сумарного напору насосу при витраті  $Q_P$ ;  $\chi$  – коефіцієнт перерахунку витратно-напірної характеристики (ВНХ) насосів з води на ГВК [2];  $k_Z$  – коефіцієнт місцевих гідравлічних опорів;  $q$  – відносна витрата установки;  $Q_P$  – витрата гідросуміші, що регламентована;  $L$  – довжина гідротранспортної магістралі;  $\rho$  – відносна густина гідросуміші.

Якщо планується використовувати насоси відцентрового типу, то для концентрації гідросуміші, що регламентована, розраховують критичне значення частоти обертання робочого колеса [2]

$$\omega_{kp} = \frac{3}{\sqrt{\Phi}} \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho R^2}}, \quad \Phi = \frac{R_0}{R} \left(1 + \frac{R_0}{R}\right) \sqrt{\frac{b}{R_0} \left(\frac{2\pi}{z} - \frac{\sigma_l}{R_0}\right)}, \quad (7)$$

де  $\omega_{kp}$  – критична частота обертання робочого колеса насосу;  $\Phi$  – коефіцієнт, що враховує геометричні та конструктивні особливості робочого колеса відцентрового насосу;  $b$  – ширина каналу робочого колеса;  $z$  – число лопаток робочого колеса;  $\sigma_l$  – товщина лопатки;  $R$  – зовнішній радіус робочого колеса;  $R_0$  – внутрішній радіус робочого колеса.

При обиранні відповідної кривої з ВНХ відцентрового насосу за вимогами (6) треба керуватися наступним обмеженням [6]

$$\omega > \omega_{kp}, \quad (8)$$

де  $\omega$  – обертання робочого колеса насосу.

Визначивши  $H(Q_P)$  діаметр трубопроводу магістралі гідротранспортного комплексу розраховують так [1 – 6]

$$D = \frac{\alpha' \tau_0}{\rho_0 g \tilde{i}} + \beta' 4 \sqrt{\frac{\eta Q_P}{\rho_0 g \tilde{i}}}, \quad \tilde{i} = \frac{\chi H(Q_P) - \rho \Delta Z}{k_z L}, \quad (9)$$

$$\alpha' = \begin{cases} 3,522, & q < 0,482, \\ 0,992, & q > 0,482, \end{cases} \quad \beta' = \begin{cases} 0,264, & q < 0,482, \\ 2,458, & q > 0,482, \end{cases}$$

де  $\tilde{i}$  – ефективний гідравлічний уклін.

За результатами розрахунку по формулі (9) з сортаменту труб обирається найближче більше значення діаметру. Після чого перевіряють виконання умов

$$0,543 \sqrt[3]{q} \frac{\tau_0}{\rho_0 g} < D < 2,54 \sqrt[3]{q} \frac{\tau_0}{\rho_0 g}. \quad (10)$$

Якщо умови (10) виконуються, то уточнюється паспортний напір насосів. Завершують проектний розрахунок перевіркою умови (8) та оцінкою потужності електродвигунів відцентрових насосів, що обрано, з 30 % запасом.

**Висновки.** З використанням розроблених моделей процесів, що відбуваються при видобутку та транспортуванні техногенних покладів у вигляді ГВК за перспективними технологіями, можуть бути сформульовані вимоги до режимів роботи технологічних систем з видобутку техногенних покладів у вигляді ГВК, що дозволяють попередити виникнення критичних та кавітаційних режимів, а також дозволяють узгодити режими та параметри різнотипного устаткування.

## Список літератури

1. Круть, О.А. (2002). Водовугільне паливо. *К.: Наукова думка*, 172 с.
2. Киричко, С.М. (2016). Обґрунтування параметрів процесів гідромеханізації гірничих робіт при використанні гідросумішей високої концентрації: дис. ... канд. техн. наук/ 05.15.09. *Дніпропетровськ: ИГТМ НАН України*, 175.
3. Киричко, С.Н., Семенов, Е.В., Никифорова, Н.А. (2002). Обоснование методов расчетов параметров гидротранспорта высококонцентрированных гидросмесей. *Збагачення корисних копалин*, (51 (92)), 204 – 210.
4. Киричко, С.Н. (2012). Расчет параметров гидротранспорта высококонцентрированных гидросмесей в условиях предприятий Кривбасса. *Геотехническая механика*, (103), 101 – 106.
5. Киричко, С.Н. (2012). Восстановление аккумулирующей емкости хранилищ отходов обогащения методами гидротранспорта. *Математические проблемы технической механики: материалы междунар. науч. конф. ДНУ. Днепропетровск*, (2), 38 – 41.
6. Кутателадзе, С.С., Стырикович, М.А. (1984). Гидродинамика газожидкостных систем. *Новосибирск: Наука*, 172.

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ І ГІРНИЧОТЕХНІЧНИХ УМОВ НА ПАРАМЕТРИ ЗВЕДЕННЯ ПОРОДНОГО ЗАКЛАДНОГО МАСИВУ

<sup>1</sup>Малашкевич Д.С. к.т.н. доц., <sup>1</sup>Єрисов М.М. ас., <sup>1</sup>Черненко М.М.

<sup>1</sup>НТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

**Анотація.** У даній роботі представлені результати досліджень впливу комплексу гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов на параметри зведення закладних масивів при селективній технології. На прикладі чисельних методів розрахунків для обраних вихідних умов відпрацювання вугільного пласта виявлені тенденції зміни величини усадки закладного матеріалу від межі міцності породи і відносної щільності; довжини виробленого простору, що підлягає до закладання від величини присічення з урахуванням щільності зведення закладного масиву і технологічного зазору; ефективної потужності пласта від опору кріплення і міцності породи закладного матеріалу.

**Вступ.** Для вирішення питань зниження деформації земної поверхні в районах ведення гірничих робіт, а також скорочення виходу з шахт пустих порід вітчизняними і зарубіжними фахівцями пропонуються різні варіанти технологічних схем комплексно-механізованих очисних робіт із закладкою виробленого простору. Розроблено ряд механізованих кріплень і їх модифікацій для роботи із закладкою виробленого простору. При цьому для часткового або повного заповнення виробленого простору використовують пневматичне обладнання [1 – 3], металльні машини [4], або закладні конвеєра [5 – 9], що дозволяють формувати за огорожею кріплення очисного комплексу закладні масиви певних параметрів.

При цьому, в залежності від розв'язуваних завдань, вироблений простір частково або повністю заповнюють закладним матеріалом. У той же час часткова закладка може здійснюватися зі зведенням закладних масивів у виробленому просторі під покрівлю і без безпосереднього контакту з нею [10]. Тому в залежності від цілей застосування шахтної породи в підземному виробленому просторі необхідно встановлювати основні параметри розміщення та зведення

закладного масиву в порожнині виробки для розробки необхідних подальших технічних рішень і вирішення виробничих завдань, що забезпечують найбільш раціональне та ефективне відпрацювання запасів вугілля підземним способом.

**Метою роботи** є визначення параметрів зведення закладних масивів при селективній технології відпрацювання тонких вугільних пластів з урахуванням впливу гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов.

**Основна частина.** До основних параметрів зведення закладного масиву відносять: усадка закладного масиву  $E_6$ ; початкова висота формування закладного масиву  $h_3$ ; довжина виробленого простору  $l_3$ , що підлягає до закладання; ефективна потужність пласта  $m_{ef}$ .

З огляду на особливості технології, розроблено розрахункову схему для встановлення залежностей і визначення основних параметрів зведення породного закладного масиву. Для обмежень використані наступні гірничо-геологічні та гірничотехнічні умови: виймальна потужність пласта  $m_6$  – 1,2 м; довжина лави  $L$  – 250 м; глибина  $H$  залягання пласта – 400 м; ширина  $b_3$  закладної породної смуги – 0,8 м; ширина лави  $R$  відстань від стінки закладного масиву до площини очисного вибію – 6,0 м; тип порід покрівлі і підшви – слабометаморфізовані, нестійкі породи з межею міцності  $\sigma_{cm}$  – до 40 МПа. Межі варіювання змінних вихідних даних зведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Діапазони варіювання змінних вихідних даних

Величина присічення $m_{np}$ , М	Межа міцності породи $\sigma_{cm}$ , МПа	Опір кріплення $P_k$ , кПа	Відносна щільність зведення закладного масиву $\gamma_6$	Технологічний зазор $\Delta h_{tex}$ , м
0,1 – 0,6	10 – 40	200-300	0,6 – 0,9	0,1 – 0,5

На першому етапі досліджень встановлена розрахункова усадка закладного масиву  $E_6$ , використовуючи емпіричні вирази за результатами [11]. Отримані графіки залежності зміни відносної усадки закладного масиву від її щільності і міцності при  $P = const = 6$  МПа, які зображені на рис. 1.

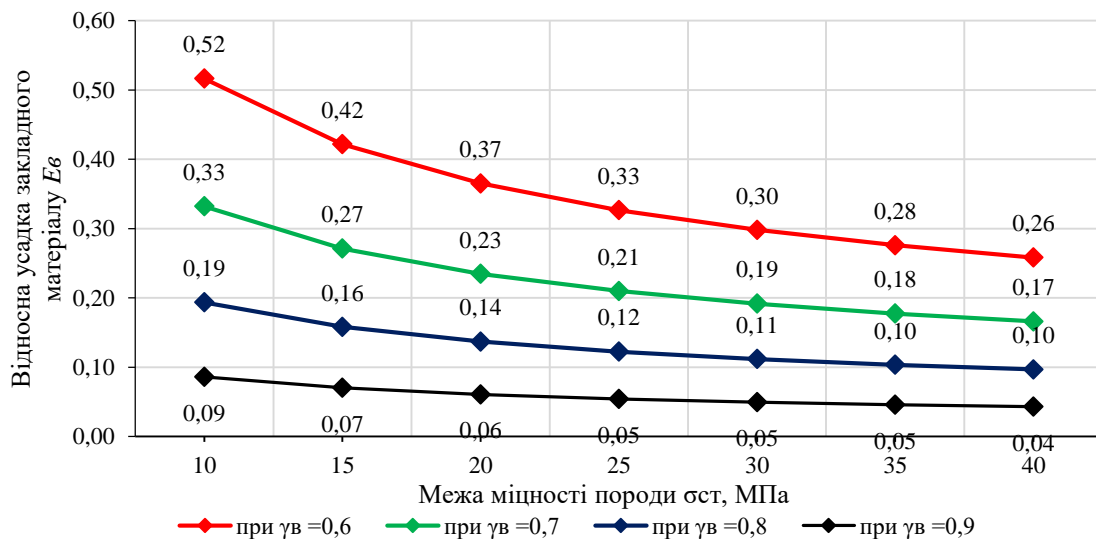


Рисунок 1 – Залежність відносної усадки закладного матеріалу від межі міцності породи при  $P=const= 6$  МПа



Аналіз отриманих залежностей показує, що зі збільшенням початкової щільності зведення закладного масиву знижується її усадка. Так при  $\gamma_e = 0,6$ , міцності породи  $\sigma_{cm} = 10$  МПа і вертикальному навантаженні 6 МПа (що відповідає гірському тиску на глибині 400 м), усадка закладного масиву складе 52% від її початкової висоти зведення у виробленому просторі.

При однаковій щільності зведення закладного масиву усадка  $E_e$  буде тим більше, чим менше  $\sigma_{cm}$  породи, яку використовують в якості закладного матеріалу, при цьому слід зазначити, що зі збільшенням  $\gamma_e$  відносної щільності зведення, показник  $\sigma_{cm}$  чинить менший вплив на деформацію закладного масиву  $E_e$ . Це говорить про те, що при використанні низьконапірних засобів формування закладних масивів для підвищення несучої здатності закладного масиву доцільно використовувати породи з більш високою міцністю. У той же час при використанні високонапірної техніки закладних робіт, здатних формувати закладні масиви з щільністю, що досягає  $\gamma_e = 0,8 - 0,9$ , показник  $\sigma_{cm}$  практично не впливає на усадку закладного масиву.

Проведено оцінку впливу величини породи присічення і технологічного зазору  $\Delta h_{mex}$  на довжину виробленого простору, що підлягає до закладання. Встановлені залежності зображені на рис. 2.

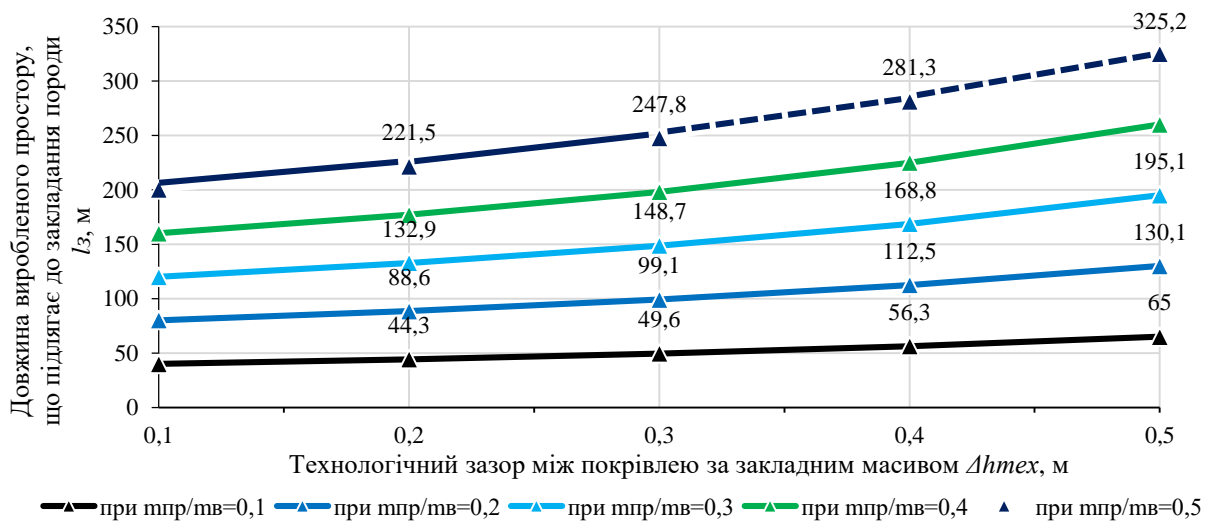


Рисунок 2 – Графіки залежності довжини виробленого простору, що підлягає до закладання і величини породи присічення при  $\gamma_e = const = 0,6$

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що при селективному відпрацюванні вугільного пласта в діапазоні відносної величини присічення  $m_{np}/m_e = 0,1 - 0,4$  і показника  $\Delta h_{mex} = 0,1 - 0,48$  м весь обсяг породи, який виймається в очисному вибою може бути розміщено в повній мірі у виробленому просторі. В подальшому при збільшенні відносної величини присічення  $m_{np}/m_e$  до 0,5 і показника  $\Delta h_{mex}$  до 0,3 м, довжина  $l_3$  виробленого простору під закладання еквівалентна довжині самої лави. У цьому випадку можливо здійснити залишення порід на всю довжину виробленого простору використовуючи, наприклад спеціальні закладні конвеєра з донним або боковим розвантаженням

породи і відносною щільністю насипання  $\gamma_e = 0,6$  (без подальшого ущільнення в закладний масив).

Також видно, що при подальшому збільшенні  $m_{np}/m_e > 0,5$  і  $\Delta h_{mex} > 0,3$  м, у всьому діапазоні змінних параметрів, утворюється надлишок обсягу пустих порід, для якого у виробленому просторі недостатньо вільного простору для подальшого розміщення.

Отримані результати досліджень використані при розрахунку ефективної потужності пласта з урахуванням опору механізованого кріплення [12]. Графіки залежності зміни ефективної потужності пласта  $m_{эф}$  від міцності породи закладного масиву і  $P_k$  робочого опору кріплення очисного комплексу при  $\gamma_e = const = 0,7$  зображені на рис.3.

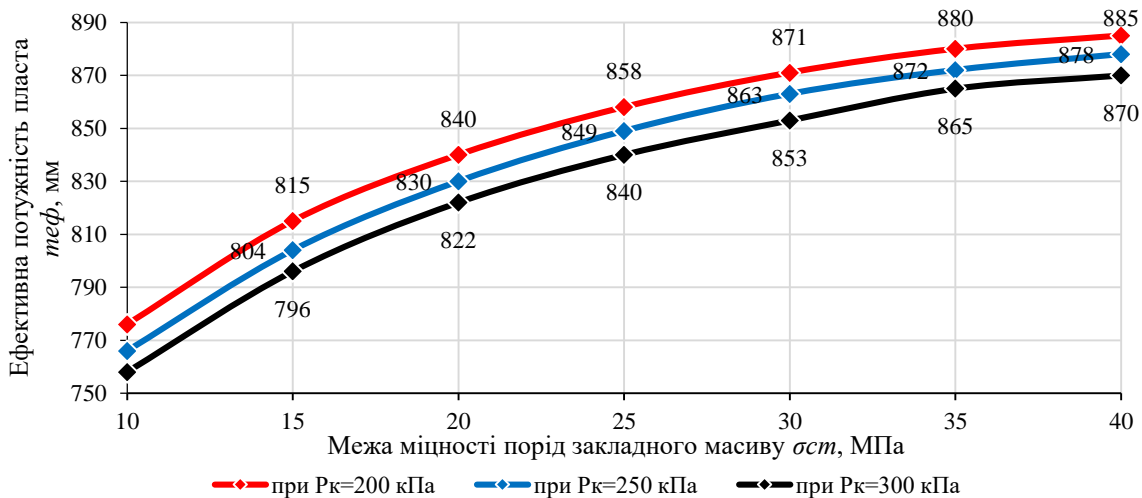


Рисунок 3 – Графіки залежності зміни ефективної потужності пласта від межі міцності породи закладного масиву при  $\gamma_e = const = 0,7$

В результаті аналізу залежностей представлених на рис. 3 встановлено, що зі збільшенням міцності породи закладного матеріалу і зростанням опору кріплення збільшується ефективна потужність пласта. Це пояснюється тим, що зі збільшенням опору кріплення, зменшується розшарування і опускання покрівлі. Отже, чим менше опускання покрівлі на межі робочого і виробленого простору, тим більше відстань між покрівлею і підшвою, тобто висота виробленого простору, що підлягає до заповнення закладним матеріалом, який в подальшому сприймає навантаження і надає протидію породам покрівлі, що опускаються.

Результати наведених досліджень можуть бути використані для визначення раціональних параметрів зведення і розміщення породних закладних масивів при селективному відпрацюванні тонких вугільних пластів з урахуванням величини породи присічення  $m_{np}$ , характеристик закладного матеріалу  $\sigma_{ст}$ ,  $\gamma_e$ ,  $E_e$ ; технологічних параметрів кріплення механізованого комплексу  $P_k$ ,  $R$ ; параметрів техніки для ведення закладних робіт  $h_3$ ,  $\Delta h_{mex}$ ,  $l_3$ .

**Висновки.** Закладний масив, зведений в порожнині виробленого простору з відносно низькою щільністю  $\gamma_e = 0,6$  на глибині 400 м буде мати максимальну

усадку до 52% від її початкової висоти. При цьому встановлено, що при однаковій щільності зведення закладного масиву, усадка  $E_e$  буде тим більше, чим менше  $\sigma_{cm}$  породи, яку використовують як закладний матеріал. У той же час із збільшенням щільності зведення закладного масиву, показник  $\sigma_{cm}$  чинить менший вплив на його компресійну характеристику. Таким чином, отримати однакову усадку закладного масиву, як при використанні високонапірної техніки  $\gamma_e = 0,8 - 0,9$  можливо в лавах, що працюють з низьконапірної технікою  $\gamma_e = 0,6 - 0,7$ , але більш міцними породами, що застосовуються в якості закладного матеріалу.

Отримані за результатами досліджень графіки зміни довжини виробленого простору від величини породи присічення і відносної щільності зведення закладного масиву дозволили встановити максимальні величини присічення  $m_n$  і допустимі технологічні зазори  $\Delta h_{mex}$  установки елементів закладного обладнання за фактором обсягу виробленого простору. Так, наприклад, при селективній технології з механічною закладкою виробленого простору за допомогою спеціальних закладних конвеєрів прикріплених до зворотних консолей секцій механізованого кріплення, відносна величина  $m_{np}/m_e$  повинна складати не більше 0,5 і  $\Delta h_{mex}$  до 0,3 м (або 25% від виймальної потужності в лаві).

Встановлено логарифмічну залежність між  $m_{ef}$  ефективною потужністю пласта,  $\sigma_{cm}$  межею міцності породи закладного матеріалу і  $P_k$  опором кріплення очисного комплексу, що дозволяє оцінити можливості безпечного відпрацювання запасів вугілля під поверхневими об'єктами і визначити раціональні параметри зведення і розміщення породних закладних масивів при селективній технології виймання тонких вугільних пластів.

Результати роботи отримані в рамках виконання науково-дослідної роботи ГП-502 «Розробка прогресивних технологій повноцінного вилучення енергетичного вугілля з акумуляцією пустих порід у підземному просторі» (№ 0120U101099).

### Список літератури

1. Бузило, В.И., Кошка, А.Г., Сердюк, В.П., Сулаев, В.И., Яворский, А.В., & Яворская, Е.А. (2012). Технология селективной отработки тонких угольных пластов. *Днепропетровск: НГУ*, 138.
2. Волошин, А.И. (2013). Теория и практика создания закладочных вибрационно-пневматических машин. *Уголь Украины*, (3), 8 – 12.
3. Witthaus, H., Gutberlet, K. and Junker, M. (2013), Stowing on longwall faces on the basis of experience acquired in the German coal mining industry. *Mining Report*, 149: 17-28. <https://doi.org/10.1002/mire.201300422>
4. Захаров, Ю.Н., & Кантович, Л.И. (2003). Взаимодействие механизированных крепей с кровлей при разработке Старобинского месторождения калийных солей. *М.: МГУ*, 152.
5. Бондаренко, В.И., Русских, В.В., Малашкевич, Д.С., & Соцков, В.А. (2017). Технологическая схема и оборудование для селективной добычи угля длинными очистными забоями. *Вісник Донецького гірничого інституту*, (2), 19–24.
6. Huang, J., Tian, C., Xing, L., Bian, Z., & Miao, X. (2017). Green and sustainable mining: Underground coal mine fully mechanized solid dense stowing-mining method. *Sustainability*, 9(8), 1418. <https://doi.org/10.3390/su9081418>
7. Zhou, N., Jiang, H. Q., & Zhang, J. X. (2013). Application of solid backfill mining techniques for coal mine under embankment dam. *Mining Technology*, 122(4), 228-234. <https://doi.org/10.1179/1743286313Y.0000000042>

8. Zhang, Q., Zhang, J., Guo, S., Gao, R., & Li, W. (2015). Design and application of solid, dense backfill advanced mining technology with two pre-driving entries. *International Journal of Mining Science and Technology*, 25(1), 127-132. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2014.12.008>
9. Жуков, В. Е., Алексеев, А. Д., & Грядущий, Б. А. (2008). Закладка выработанного пространства – основа совершенствования горного производства. *Уголь Украины*, (5), 50-54.
10. Malashkevych, D., Sotskov, V., Medyanyk, V., & Prykhodchenko, D. (2018). Integrated evaluation of the worked-out area partial backfill effect of stress-strain state of coal-bearing rock mass. In *Solid State Phenomena* (Vol. 277, pp. 213-220). Trans Tech Publications Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.277.213>
11. Jiang, H., Cao, Y., Huang, P., Fang, K., & Li, B. (2015). Characterisation of coal-mine waste in solid backfill mining in China. *Mining Technology*, 124(1), 56-63. <https://doi.org/10.1179/1743286315Y.0000000002>
12. Buzilo, V.I., Koshka, O.H., Yavorsky, A.V., Yavorska, E.A., Tokar, L.A., Sulaev, V.I., & Serdyuk, V.P. (2015). Selective mining technique for thin coal seams. *Dnipropetrovsk: National Mining University*, 132.

## ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ АБСОЛЮТНОЇ ПОРИСТОСТІ ПІСКОВИКІВ ДОНБАСУ

<sup>1</sup>Антінович Я.В., канд. геол. наук, наук. співр.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, м. Дніпро, Україна

**Анотація.** В тезах обґрунтовано необхідність вдосконалення методу визначення абсолютної пористості пісковиків. Встановлено, що при загальноприйнятому методі визначення показника абсолютної пористості частина закритих мікропор залишається в уламкових зернах породи. Об'єми закритих мікропор в кварцових зернах карбонівих пісковиків Донбасу суттєво перевищують показники цементної закритої пористості. Запропоновано вдосконалити метод визначення абсолютної пористості порід за допомогою подрібнення зразків до розміру, який би дозволив відкрити ці додаткові об'єми закритої пористості, або ж визначати їх за допомогою оптичного методу.

**Вступ.** Пористість порід є одним з показників, який характеризує якість породи-колектора і визначається для вирішення питань в нафтогазовій промисловості та при вирішенні проблем викидонебезпечності порід у вугільних шахтах. Для вирішення прикладних завдань виділяють абсолютну, відкриту та ефективну типи пористості. Закрита пористість, як вважається, не має практичної цінності, оскільки її показники, які визнаються за різницею між показниками абсолютної та відкритої пористості, не перевищують 1-2%. Однак, недоліком у встановленні показника абсолютної пористості є те, що породу подрібнюють тільки до середнього розміру породоутворюючих зерен [1]. Такий метод дозволяє встановити відкритий та закритий об'єм порового простору у цементі породи. Він повністю задовольняє вимоги нафтогазової галузі оскільки дозволяє встановити об'єм порового простору в якому можлива міграція флюїдів. Але при такому методі показники абсолютної пористості не є точними, оскільки частина закритої пористості зберігається в породоутворюючих зернах [2, 3].

**Мета дослідження** полягає у встановленні додаткового об'єму закритої пористості порід за рахунок об'єму газових та газорідних включень у кварцових зернах карбонівих пісковиків Донбасу.

**Результати дослідження.** Після встановлення показника абсолютної пористості карбонівих пісковиків Донбасу у лабораторії вітчизняної організації, залишки проби досліджувалися на мікроскопі типу МБС-1. За допомогою об'єкт-мікрометра підраховувалися розміри уламкових зерен породи. Для порівняльного аналізу були взяті проби пісковиків Красноармійського (шахта «Капітальна») та Алмазно-Мар'ївського (Санжарівська площа) геолого-промислових районів. Після цього проводився підрахунок розміру та об'єму газових та газорідних включень кварцових зерен у шліфах тих самих проб пісковиків на мікроскопі типу ПОЛАМ Р-111 при збільшенні 1200 крат із застосуванням імерсійної рідини. Об'єм включень визначався за розробленою методикою [4]. Отримані дані заносилися у таблицю 1.

З таблиці 1 видно, що розміри уламкових зерен пісковиків після визначення показника абсолютної пористості значно вищі за розміри включень, які в них залишилися. Звичайно, що при подрібненні породи в лабораторних умовах для визначення показника абсолютної пористості частина флюїдних включень все ж таки розкривається. При певному навантаженні на зерно вони будуть розколюватися по ослабленим зонам. Перш за все, ними є мікродформації уламкових зерен, зокрема смужки Бьома, які декоровані переважно газовими включеннями. Але значна частина газових мікрівключень в уламкових зернах пісковиків все ж таки залишається, і як видно з таблиці 1 об'єми їх можуть сягати 4 %. Ці об'єми можуть бути ще більшими, якщо проводити дослідження при збільшенні вище ніж 1200 крат. Варто зазначити, що для наведених у таблиці проб пісковиків показники закритої пористості, які визначалися за різницею між показниками абсолютної та відкритої пористості, не перевищують 1 %.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз розміру кварцових зерен та розміру газових та газорідних включень, які містяться в них, після подрібнення породи для отримання показника абсолютної пористості

Геолого-промисловий район	Марка прилеглого вугілля	Зразок пісковика	Розмір кварцових зерен, мм	Розмір включень в кварцових зернах, мм	Об'єм включ., %
Красноармійський (шахта «Капітальна»)	ГЖ	3525	0,15 – 1,45	0,0012 – 0,0021	4,0
			0,48	0,0015	
Алмазно-Мар'ївський (Санжарівська площа)	К	3960	0,15 – 2,2	0,00076 – 0,00127	3,2
			0,7	0,0011	
	П	3954	0,2 – 1,95	0,0007 – 0,0019	2,4
			0,73	0,0012	

Таким чином, проведені дослідження дають підставу стверджувати, що закрита пористість порід представлена двома типами. Перший тип – це закриті пори в цементній речовині породи. Він визначається за різницею між показниками абсолютної та відкритої пористості. Другий тип – це численні, переважно газові включення, в породоутворюючих зернах порід. Цей тип пористості утворюється шляхом міграції певної частини газу з відкритих пор та тріщин газонесних порід в мікродоформації породоутворюючих зерен, після заліковування яких, формуються мікропори [2]. Для повнішого розуміння терміну «закрита пористість» доцільно поділити її на цементну та зернову. Під цементною закритою пористістю слід розуміти об'єм ізольованих пор в цементі породи. Під зерною закритою пористістю слід розуміти об'єм мікрочлеників в уламкових зернах породи.

**Висновки.** При визначенні показника абсолютної пористості порід необхідно враховувати той об'єм закритих мікропор, який знаходиться в її уламкових зернах. Дослідження показали, що більша частина закритих мікропор в кварцових зернах карбонатних пісковиків Донбасу не відкривається при подрібненні породи в лабораторних умовах, тому показники зернової закритої пористості у декілька разів перевищують показники цементної закритої пористості. Для того, щоб отримати додатковий об'єм пористості за рахунок мікропор уламкових зерен доцільно подрібнювати породу до частинок мікронного розміру, або ж визначати цей об'єм за допомогою запропонованої методики. Це дозволить отримати більш коректні дані показника абсолютної пористості породи.

### Список літератури

1. ГОСТ 26450.0-85- ГОСТ 26450.2-85 Порода горные. Методы определения коллекторских свойств. – Москва.: Изд-во Стандартов, 1985. – 16 с.
2. Баранов, В.А. (1989). Микрорушення кварца пясчаников Донбасу в зв'язі з їх вибухонебезпекою: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геол.-мін. наук : спец. 04.00.16 "Геологія твердих горючих копалин". *Дніпропетровськ*, 17.
3. Baranov, V.A. (2018). The results of the research of sandstones closed porosity / V.A. Baranov, Y.V. Antipovich. *Journal of geology, geography, and geocology*, (27 (3)), 414-421.
4. Антіпович, Я.В. (2018). Методика визначення закритої пористості в уламкових зернах порід. *Геотехнічна механіка*, (142), 67-72.

## REGULARITIES OF CATAGENESIS IN DONBASS SEDIMENTS

<sup>1</sup>*Baranov V.A., Doctor of Geol. Sci., senior researcher, <sup>1</sup>Stefanko S.V., postgraduate student, <sup>2</sup>Kirichenko V.A. chief geologist*

<sup>1</sup>*Institute of Geotechnical Mechanics named after M.S. Polyakov NAS of Ukraine, Dnipro, Ukraine*

<sup>2</sup>*Institute of Nature Management Problems and Ecology NAS of Ukraine, Dnipro, Ukraine*

**Abstract.** The main structural, mineralogical and petrological results of the formation and transformation of terrigenous deposits of the Donetsk coal basin, under the influence of lithostatic and tectonic factors and changes in temperature and pressure, are presented. The established patterns of structural, reservoir, physical-mechanical, mineralogical, gas-dynamic phenomena and properties of carbonic deposits in the basin are described.

**Keywords:** litogenesis, catagenesis, Donetsk region, transformation, temperature, carbonation.

**Introduction.** The development of each modern field begins with geological surveys, including a set of works in sequence from geological surveys to prospecting and exploration of a specific field. The Donetsk coal basin began its history with the discovery of coal at the beginning of the 17th century and the opening of the first mine in Lisya Balka (now Lisichansk) in 1795, when there were no mining engineers or geologists yet. For three centuries, coal has been developing, and now gas-coal deposits of the basin, which have reached a depth of 1.5 km. The uniqueness of the basin, which was formed more than 300 million years ago, lies in the presence of the entire range of coals - from brown and long-flame ones to anthracites and superanthracites, with significantly different properties. During this long period of time, Donbass has become, in fact, a scientific testing ground and not only for our republic, but also for students and scientists from other countries.

The purpose of this publication is an intermediate analysis of the established basic regularities of mining and geological conditions and properties of terrigenous deposits from the standpoint of modern lithology - the science of the composition, properties and genesis of sedimentary rocks and ores using the example of Donbass. Despite the fact that this science was formed only by the middle of the last century, large works were carried out on all continents and, first of all, on the search for caustobiolites of the coal and oil series. This trend is due to the significant development of technology, industry and new technologies that require significant amounts of energy, and caustobiolites still occupy leading positions in the energy sector of actually all countries. Lithology includes three stages of formation and transformation of sediments: sedimentogenesis (sediment formation), diagenesis (transformation of sediment into rock), catagenesis (transformation of sedimentary rocks under the influence of increasing temperatures and pressures).

**Research results.** The determination of the properties of rocks, including sedimentary ones, proceeded in parallel with an increase in the depth of mine workings and boreholes. The 20th century brought a significant development of the mining industry. The depth of gold mines in India and South Africa is in the region of 4 km, and the depth of the Kola superdeep well has exceeded 12 km. Currently, geologists



divide all rocks into sedimentary and crystalline, and sedimentary deposits into the following types: sediments (chemogenic, terrigenous, organogenic, volcanic-sedimentary and mixed), formed during the weathering of crystalline and sedimentary rocks, and rocks with the same names [1-3]. The rock differs from the sediment by cohesion or cementation. Sediment is formed at the stage of sedimentogenesis, and they lie on the surface or at the bottom of water bodies. After their overlap by sediments of a different genesis, the stage of diagenesis begins, at which the sediment is transformed into rock, under the influence of increasing temperature and pressure, the main factors influencing the property of the substance during progressive lithogenesis (increase in depth). When all sediments have turned into rock, the next stage begins, called catagenesis and consists of three substages: early, middle and late.

Using the Donbass as an example, we will consider the main properties of deposits, which consist of rather uniform types, these are mudstones - cemented clays, aleurolite - from aleurite, sandstones - from sands, limestones - from chalk and coal - from peat. At the stage of diagenesis, lithification occurs - the process of cementation of sediments and their transformation into rocks. Brown coals at a depth of about 500 m occur in the area of modern Novomoskovsk. They are divided into three subgroups - B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>. The first two subgroups usually have an earthy constitution, weak cementation and more resemble compacted brown peat. The third subgroup of brown coals is usually black in color, dense in texture, gives a black or brown line and a little different from long-flame coals. Brown coals usually occur in sediments or sediments alternating with rocks at the stage of diagenesis and have undergone temperatures up to 50-60<sup>0</sup>C at depths of about 1 km.

With an increase in depth, pressure and temperature, brown coals are transformed into stone, passing into grades D - long-flame and G - gas. The temperatures of their formation are very important, organics are quite sensitive to temperatures. D grade coals are formed at temperatures of about 70-80<sup>0</sup>C, and gas coals - at temperatures of about 90-100<sup>0</sup>C. The indicated temperatures of all grades of coal were obtained experimentally, on the basis of microstructural transformations of coal-bearing rocks [4, 5].

It was found that the temperature gradient of the transition from one grade of coal to another is about 20<sup>0</sup>C, including grade P - semi-anthracites, which was abolished by coal chemists. Anthracites were not separated by temperature, since there was no such problem. Anthracites are roughly formed in the range from 220-230<sup>0</sup>C to 250-260<sup>0</sup>C, turning into superanthracites (unofficial brand) at temperatures of about 280<sup>0</sup>C. At temperatures of about 300<sup>0</sup>C and above, coals are transformed into graphites, which have their own structural forms and dependencies [6].

To study changes in the structure in sandstones of three geological and industrial regions of Donbass, samples were taken, in thin sections from which the diameters of rock-forming quartz grains were calculated. For comparison, samples were taken of rocks of middle catagenesis (in the area of occurrence of coals of grades G, Zh) and late catagenesis (in the area of occurrence of coals of grades OS, T). The data given in table. 1 illustrate the regular decrease in the values of the coefficient of variation and variance with paleo-depth. Hence, debris grains react to changing conditions not



simply by decreasing diameters, but by a complex of structural transformations (blockiness, mosaicity, granulation), leading to an equalization of structural parameters and a decrease in the range of sizes of debris grains, which was established by the developed optical method of lateral illumination. This process ends with the formation of a quartzite and then a quartzite structure with the minimum values of the coefficient of variation and dispersion of the rock-forming grains for the given conditions.

A regular decrease in the values of the coefficient of variation and dispersion of the diameters of rock-forming grains of coal-hosting sandstones with paleo-depth has been established. Structural changes are most intense in the sandstones of the lower part of the middle catagenesis. One of the main criteria for the outburst hazard of rocks is the depth of their occurrence, but the decisive factor is paleo-depth (the maximum depth to which a particular layer of rocks descended during epigenesis) [7].

Table 1 - Parameters of changing the grain size of sandstones with paleo-depth

Selection area samples	Grades of coal closest to sandstone	Average diameter of quartz grains, d mm	Coefficient of variation, V, %	Dispersion values, $\sigma$
Krasnoarmeyskiy	G	0,21	49,7	0,11
	LS	0,13	44,9	0,06
Donetsk-Makeevsky	F	0,21	54,6	0,12
	S	0,16	46,9	0,08
Central	F	0,28	52,7	0,14
	LS	0,15	44,0	0,07

Local forecast of gas content and gas permeability of Donbass rocks is based on structural and mineralogical parameters. The structural parameters that characterize the predicted productivity of formations include: the size of rock-forming grains; the degree of roundness of the grains and the degree of sorting; the degree of micro-disturbance of the rock-forming grains. The layers composed of coarse-grained fractions are more productive at the stages of early and partly middle catagenesis. Mixed-grained sandstones mainly form reservoirs with low effective capacity. Layers with a higher degree of sorting (one or two well-distinguished fine and medium-grained fractions) and roundness are characterized by a higher reservoir capacity and higher productivity. The lower intervals of the rock layers at the substage of early and middle catagenesis are characterized by more favorable reservoir parameters.

Mineralogical criteria characterizing the reservoir properties in the Donbass rocks include the presence of primary sedimentary and secondary (recrystallized) carbonates. At the same time, the amount of carbonates and, first of all, secondary ones, is one of the main negative factors affecting the gas permeability of rocks under conditions of middle catagenesis.

The processes of corrosion, regeneration, leaching, etc., in the Donbass affect the formation of reservoirs due to the lack of effective water exchange after their compaction during rise. The maximum indicated processes were realized in the near-edge areas and in the zone of junction of the Donbass with the DDV deposits [5].

As a result of the research, a wide development of all the previously described types of plastic deformations in the rock-forming quartz of the Donbass carboniferous

sandstones has been established. Two new types of microdeformations have been identified and described - translational slip lines and tabular quartz.

During the transition from early to middle catagenesis and from middle to late catagenesis, structural jumps or stages of abrupt changes in rock properties occur. To isolate them, it is important to have not a large number of samples available, but samples from different intervals, and the longer the sampling interval, the greater the probability of establishing or isolating the indicated structural jump, which can then be used as a certain benchmark for the properties of rocks in a given study area. It should be taken into account that each new region will be characterized by its own distinctive properties and a substage of catagenesis, and their boundaries can significantly change their depth. The research results show that there are no two completely identical regions, lithogenesis is too multifactorial.

It is logical to draw the boundary between diagenesis and early catagenesis along the boundary of lithification of rocks. It is clear that there will definitely be some kind of buffer or transition zone, but it exists at any boundaries of different phases. Clays and mudstones, sands and sandstones are found in the Novomoskovsk region; these are typical diagenetic deposits with brown coals.

The study of structural changes in rocks and microstructures made it possible to establish the phenomenon of the formation of "spongy structures" in coal and in quartz of sandstones, which may be the reason for the natural cracking of liquid hydrocarbons in the rock mass; to develop several new indicators of micro-disturbance, which are associated with the outburst hazard of rocks; to determine the main factors of the formation of suture seams in rocks, significantly affecting the reservoir properties of rocks [8].

From the west of the Donetsk basin, to the east, there is an increase in the degree of compaction and a decrease in the average values of porosity. In general, the eastern part of the basin is much more compacted than the western one.

Considering that comparable sandstones of the middle substage of catagenesis (gradations MK<sub>2</sub>-MK<sub>5</sub>) were studied, this pattern can be explained by only one factor - the intensification of tectonic impacts in this direction [9].

The average values of the ultimate compressive strength for the regions of the Greater Donbass have their own characteristics. So, for Krasnoarmeisky district, the strength is approximately two times higher than for Pavlogradsko-Petropavlovsky and four times higher than for Novomoskovsky. For the Central region, the strength is approximately only one and a half times higher than in the Krasnoarmeysk region. An interesting fact is the similarity of strength for the Central region (tectonically most dislocated) and Krasnodon, especially since for the first, samples were taken mainly from the lower part of the middle catagenesis, and for the second - from the upper part, that is, less loaded. In other words, for these two regions, the degree of tectonic dislocation and catagenetic transformations is not different a lot.

**Conclusions.** The analysis of actual geological materials confirms the new hypothesis of the structure of the Donetsk folded structure (DSC), proposed by geophysicists. At present, instead of inversion, it is more correct to speak of an uplift or a mantle diapir that penetrated from below into terrigenous deposits in the early

Permian time in the northeast of the region, which led to a «skew» of the Main anticline (its northern wing became more gentle), compression into folds and erosion of the upper intervals of deposits, the development of zones of increased fracturing, where methane is often accumulated in a free state. An additional tectonic impulse has significantly compacted the deposits of the Donbass in comparison with other basins. In the sediments of the middle catagenesis, grain closed porosity with significant volumes of gases was formed, which may have caused the outburst hazard of sandstones only at this substage of rock formation. Donbass is represented by diagenesis and three substages of catagenesis, each of which has its own characteristics, properties, gas-dynamic phenomena.

### References

1. Паффенгольц, К.Н. (ред.) (1978). Геологический словарь в 2-х томах. М.: Недра, (1), 486, (2), 456 с.
2. Вассоевич, Н.Б. и др. (ред.) (1983). Справочник по литологии. М.: Недра, 509 с.
3. Козловский, Е.А. (ред.) (1984-1991). Горная энциклопедия в 5 томах. М.: Советская энциклопедия.
4. Баранов, В.А. (2017). Спосіб визначення температури утворення вугілля та осадових порід. Пат. України на корисну модель №124536 G01V9/00; G01N1/00; G01N21/00 від 10.04.2018. Заявл. 20.11.2017, Бюл.№7.
5. Баранов, В.А. (2000). Структурні перетворення пісковиків Донбасу і прогноз їх викиднебезпечності. Автореф. дис... д-ра. геол. наук: 04.00.16. Дніпропетровськ: НГА України, 36 с.
6. Богданов, С.П. (2013). Рентгеноструктурный анализ углеродных материалов. Санкт-Петербург, 26.
7. Баранов, В.А. (1999). Эволюция структурных изменений песчаников Донбасса и их связь с выбросоопасностью. *Геотехническая механика*, (15), 87-91.
8. Баранов, В.А. (2012). Лаборатории исследования структурных изменений горных пород – 7 лет. *Геотехническая механика*, (100), 231-244.
9. Баранов, В.А. (2010). Влияние структуры на пористость песчаников Донбасса. *Геотехническая механика*, (88), 70-76.

## ОСНОВНІ ОСОБЛИВОСТІ МОРФОЛОГІЇ УРОЛІТІВ ЖИТЕЛІВ МІСТ ДНІПРА І ЗАПОРІЖЖЯ

<sup>1</sup>Ішков В.В., канд. геол.-мін. наук, доцент, <sup>1</sup>Козій Є.С. канд. геол. наук,

<sup>1</sup>Тиха С.М.

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро,  
Україна

**Анотація.** Існуючі стандарти діагностики і лікування хворих уролітіазом передбачають обов'язкове мінералогічне дослідження уроліта для кожного хворого. У той же час зараз в Україні виконання подібних досліджень носить ініціативний і епізодичний характер, що призводить до зростання кількості захворювань і їх тяжкості. У роботі наведено результати досліджень морфології уролітів жителів міста Дніпра і Запоріжжя, запропонована типізація уролітів за особливостями їх морфології.

**Вступ.** Сечокам'яна хвороба є тим захворюванням, яке зустрічається досить часто, її поширеність оцінюється приблизно 10 % на чисельність населення планети. В традиційній офіційній медицині – сечокам'яна хвороба або уролітіаз це захворювання, пов'язане з утворенням патогенних біомінеральних утворень – уролітів в нирках і (або) інших органах сечовидільної системи. Щорічно частота сечокам'яної хвороби в промислово розвинених країнах зростає на 0,2%. Імовірність того, що людина європеїдної раси захворіє на сечокам'яну хворобу до 70 років, дорівнює 1/6.

В Україні сечокам'яна хвороба реєструється у 0,7 % дорослого населення, проте значні темпи щорічного приросту захворюваності (20 %) вказують на несприятливий прогноз її розповсюдження. Але в різних країнах і регіонах, а також районах однієї території поширеність її різна, що залежить від екологічних і соціальних факторів. Речовинно-структурні особливості мінеральних об'єктів (до яких відносяться і уроліти) вивчають фахівці з геології, які досі, в силу різних причин, не приділяють достатньо уваги цим патогенним біомінералогічним утворенням. Можливо це пов'язано з тим що питання їх вивчення відносяться до категорії міждисциплінарних досліджень, які знаходяться на стику двох наук – біомінералогії і урології.

Патогенні біомінерали є елементами будови багатьох живих організмів. Основна причина їх утворення – порушення обміну речовин, особливо зміна водно-сольового і хімічного складу крові. Вони виникають у результаті закономірної реакції біологічної системи організму на порушення основних фізико-хімічних параметрів його нормального функціонування. У підсумку в організмі створюються необхідні передумови для реалізації фазових переходів і кристалізаційних явищ, що призводять до появи їх продуктів – у тому числі і уролітів.

Визначення мінерального складу каменю і його структури на сьогоднішній день є невід'ємним стандартом обстеження пацієнта, що страждає на сечокам'яну хворобу, і рекомендовано провідними професійними асоціаціями урологів. Дослідження сечових каменів є обов'язковим і дає лікарю необхідну інформацію про тип порушення обміну речовин, причини каменеутворення і дозволяє віднести пацієнта до певної групи ризику. За допомогою результатів

проведених досліджень вибирають оптимальну тактику лікування і розробляють індивідуальну профілактичну програму нагляду за пацієнтом для попередження у нього повторного епізоду захворювання або розчинення вже існуючих каменів. При виконанні досліджень основними методами були порівняльний аналіз морфологічних спостережень більш ніж 850 ниркових уролітів та їх петрографічні вивчення. Досліджувані зразки представляли собою уроліти видалені з нирок жителів міст Дніпра та Запоріжжя хірургічним шляхом.

Сечокам'яна хвороба, відома з давніх часів. Про це свідчить інформація про знахідки уролітів в єгипетській мумії (4800 р.до н.е.), а також в похованнях в Індії (1728-1686 роки до н.е.). Ще Гіппократ в 430-347 рр. до н.е. відзначав наявність уролітів в сечових системах греків. В Олександрії (150 років до н.е.) була проведена перша з відомих хірургічна операція з видалення уроліта з сечового міхура. Пізніше сечокам'яна хвороба встановлювалася у римлян, в середні віки - у жителів Італії, Франції, Німеччині. Відомий філософ і лікар Авіценна писав про поширення сечокам'яної хвороби в арабських країнах і в Середній Азії.

Причини і механізми уролітоформування в даний час вивчаються на високому науковому рівні з використанням електронної мікроскопії і складних біохімічних і структурних рентгенологічних досліджень [10]. Але до теперішнього часу питання етіології, патогенезу, діагностики та профілактики уролітіазу залишаються до кінця невивченими і багато в чому суперечними.

У багатьох наукових працях наголошується на необхідності дослідження будови і складу органомінеральних агрегатів і розробки нових методів лікування і профілактики захворювань сечокам'яної хвороби у зв'язку з погіршенням екологічної обстановки у великих промислових регіонах, що сприяє зростанню захворювань, які пов'язані з патогенним мінералоутворенням в організмі людини.

**Останні досягнення.** Вельми значна за обсягом і глибиною проробки інформація про вивчення органомінеральних агрегатів в організмах і рослинах приведена в роботах А.А. Кораго [7], О.А. Головановою [1], Ф.В. Зузука [3] та інших дослідників. В Україні перші мінералого-петрографічні дослідження уролітів проводилися в середині 70-х років минулого століття на кафедрі мінералогії та петрографії Дніпропетровського гірничого інституту, а в 1979 році опублікована перша стаття на цю тему [2]. Раніше були досліджені особливості онтогенії уролітів жителів Дніпропетровської області і Придніпров'я [4-6, 8].

**Об'єктом** дослідження були уроліти вилучені у хворих жителів м. Дніпра і м. Запоріжжя в результаті хірургічних операцій.

**Метою** даної роботи є дослідження особливостей морфології уролітів.

**Методика роботи.** Методичною основою досліджень був збір, дослідження, аналіз і узагальнення мінералого-петрографічних даних, що характеризують склад більш 850 ниркових уролітів мешканців м. Дніпра і м. Запоріжжя.

На першому етапі було виконано аналітичний огляд за напрямом дослідження. З метою подальших макро- і мікро досліджень були відібрані зразки уролітів, з яких була сформована вихідна база. Для вивчення і аналізу речового складу

уролітів були використані більше 850 зразків. З метою подальшого вивчення методами оптичної мікроскопії з матеріалу отриманих зразків були виготовлені шліфи, які є основним препаратом для вивчення мінерального складу уролітів, характеру розподілу мінеральних зерен в агрегаті, характеру міжзернових границь. Також були зроблені цифрові фотографії уролітів, інформативних щодо вивчення морфології із занесенням інформації у створену базу даних. На другому етапі вивчалися зовнішні макроскопічні ознаки уроліту (колір, форма, розмір) і аналізувалася морфологія поверхні, визначалася вага та механічна міцність (монолітність, рихлість, тріщинуватість, твердість, щільність). Дослідження уролітів було комплексним і включало вивчення форми, кольору, характеру поверхні, мінерального складу.

Морфологія і мінеральний склад уролітів вивчалась за допомогою стереоскопічного бінокулярного мікроскопа МБС-10. Виконувалися замальовки окремих кристалів і їх зростків, найцікавіші ділянки уролітів фотографувалися. Були використані класичні кристаломорфологічні та поляризаційно-оптичні методи. На третьому етапі, використовуючи поляризаційно-оптичний метод, проводилася деталізація мінерального складу уроліта і оцінювались взаємозв'язки між окремими зернами мінералів. При виявленні складного складу речовини дослідження доповнювали результати рентгенівського фазового аналізу. Обробка аналітичних даних проводилася з використанням програмного комплексу STATISTICA 11.6.

**Результати досліджень.** Основними елементами форми уролітів є різні поверхні обертання, друзовидні, щітководні і коралоподібні агрегати, а так само їх комбінації. Основні типи зовнішнього вигляду досліджених уролітів наведені на рисунку 1. Дуже часто поверхня зразків мала каверни різної форми і величини і була покрита численними або одиничними кристалами. Розмір зразків змінювався від 0,3 до 3,5 см., колір від білого до чорного, але переважають різні відтінки жовтого і рожевого кольору.

За особливостями морфології виділено п'ять типів уролітів. Уроліти першого типу мають друзовидну поверхню, представлену численними дрібними кристалами. У шліфах проявляється спрямованість росту кристалів від центру уроліта до периферії. Найдрібніші кристали нерідко нарастають на ребрах і вершинах великих кристалів, даючи початок дендритоутворенню; рідше спостерігається проростання кристалів з утворенням двійників. Деякі кристали, розташовані в проміжках між великими кристалами, несуть на собі сліди розчинення (округлі вершини, згладжені ребра).

Остаточне формування таких агрегатів відбувається в умовах перебування їх в порожнині нирки у вільному, не прикріпленому стані, коли мінералоутворюючий розчин періодично впливає на різні ділянки уроліта.

Уроліти другого типу характеризуються «ниркоподібною» поверхнею. Розмір окремих «нирок» може бути різним, від декількох мікрометрів до декількох міліметрів в діаметрі.

Третій тип уролітів характеризується поєднанням ознак морфології уролітів перших двох типів, і така морфологія поверхні названа нами комбінованою.

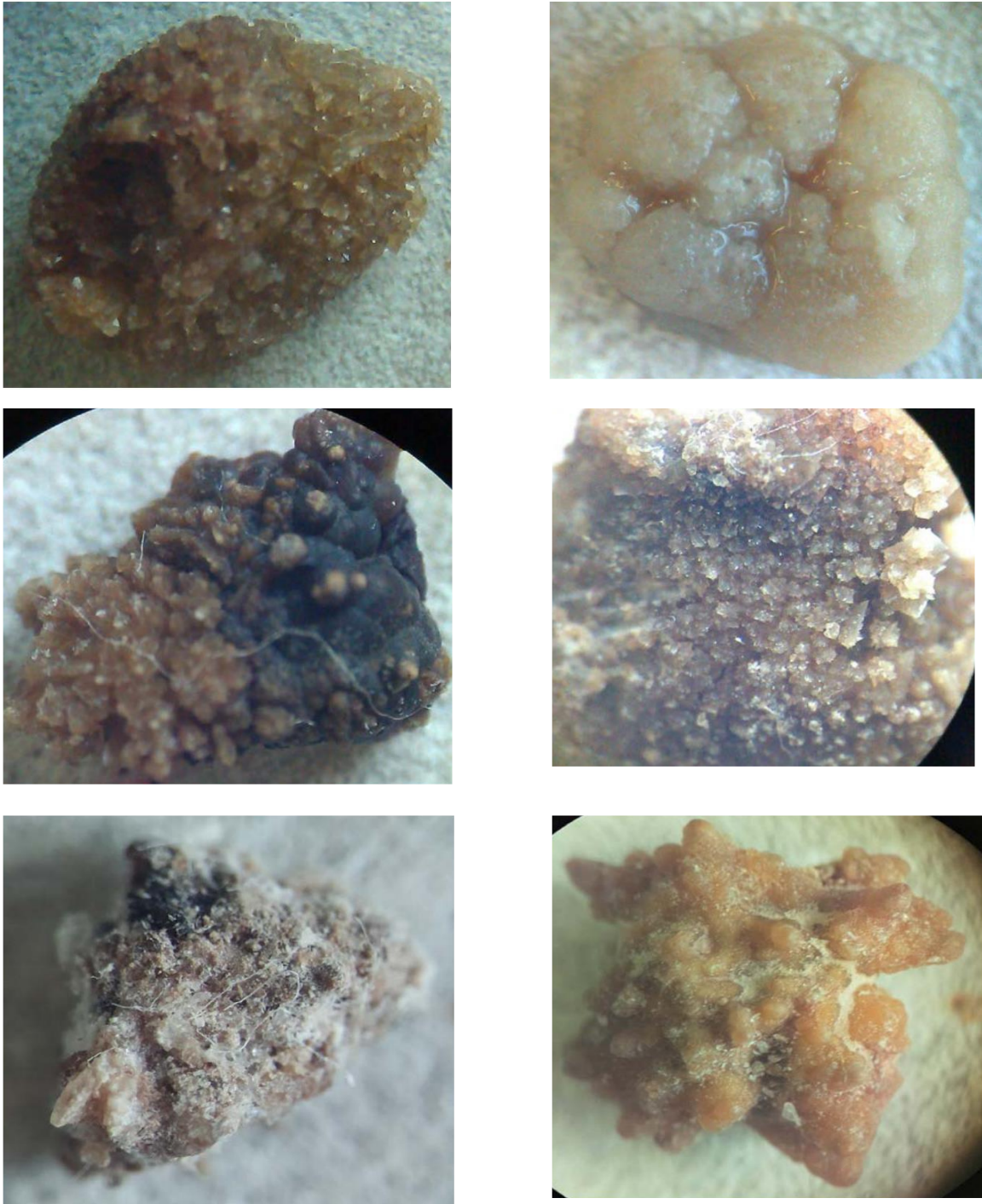


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд уролітів мешканців м. Днпро і м. Запоріжжя

Особливу групу цього типу представляють агрегати з більш складною морфологією. До них віднесені утворення, що виникають внаслідок послідовного або одночасного формування полікристалічної і полісферолітової форм поверхні. Наприклад, кристали вевелліта нерідко є центрами зростання сферолітів. Так відзначаються повністю сформовані сфероліти, над поверхнею яких видно виступаючі вершини кристалів вевелліта.

Поверхня уролітів четвертого типу інтенсивно порізнана, «бухтоподібна».



Уроліти п'ятого типу належать до коралоподібних, вони мають нерівну поверхню, складену дрібнозернистою масою різних мінералів. Їх форма не піддається віднесенню до певних типів геометричних тіл, часто це циліндричної форми агрегати з відхиленнями довгої осі від прямого напрямку з численними відгалуженнями.

Виконані дослідження дозволяють сформулювати такі основні висновки: зовнішній вигляд уролітів дуже різноманітний, їх форма являє собою різні поверхні обертання, друзовидні, щітковидні і коралоподібні агрегати, а так само їх комбінації. За особливостями морфології виділено 5 типів форм уролітів.

### Список літератури

1. Голованова, О.А., Россеева, Е.В., Франк-Каменецкая, О.В. (2006). Аминокислотный состав камней мочевой системы человека. *Вестник СПбГУ*, 4(2). 123-127.
2. Доморацкий, Н.А., Агафонов, Н.В., Куцевол, Л.И. (1979). Минеральный состав мочевых конкрементов. *VIII Научно практическая конференция урологов Днепропетровской области*, 57 – 68.
3. Зюзук, Ф.В. (2001). Внутреннее строение почечных камней, состоящих из аморфного органического вещества, содержащего фосфаты. *Уральский геологический журнал*, 2(20). 117-124.
4. Ішков, В.В., Козій, Є.С., Труфанова, М.О. (2020). Деякі особливості онтогенії уролітів жителів Дніпропетровської області. Міжнародна науково-практична конференція «Технології і процеси в гірництві та будівництві». 64-69.
5. Ішков, В.В., Козій, Є.С., Труфанова, М.О. (2020). Особливості онтогенезу уролітів жителів Дніпропетровської області. *Мінералогічний журнал*, 42(4). 50-59.  
<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.04.050>
6. Козар, М.А., Ішков, В.В., Козій, Є.С. (2021). Мінеральний склад уролітів мешканців Придніпров'я. *Геологічна наука в незалежній Україні: Збірник тез наукової конференції Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України*, 52-55.
7. Кораго, А.А. (1992). Введение в биоминералогию. СПб: Недра, 280.
8. Kozii Ye. (2020). About morphology of urinary stones of the inhabitants of Dnipropetrovsk region. *Proceedings of the "Widening Our Horizons": International Forum*. 131-133.

## КОМПЛЕКСНІ ГЕОЕКОЛОГІЧНІ ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОЗЛОМНО-БЛОКОВОЇ ТЕКТОНІКИ ПІВДЕННОГО СХОДУ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

<sup>1</sup>Борисенко А.О., <sup>1</sup>Тітов В.П., <sup>1</sup>Тяпкін О.К., докт. геол. наук

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

**Анотація.** Досліджено роль тектонічного фактору і, в першу чергу, інформації про системи розломів земної кори при підготовці основи геофізичних досліджень, що випереджають геоекологічне картування і моніторинг довкілля. Комплексна геолого-геофізична інформація про системи розломів земної кори дозволяє виконувати кількісну оцінку рівня тектонічної анізотропії та порушеності надр досліджуваної території та виділяти на загальному фоні найбільш геоеколого-небезпечні природно роздроблені ділянки.

**Вступ.** Урбанізація значних за площею територій призводить до незворотної зміни природного стану геологічного середовища. В результаті катастрофічних природних подій за останні 30 років у світі щорічно гине близько 100 тис. осіб. Тому проблема вивчення стану надр і прогноз його зміни має не тільки науково-



технічне, а й соціальне значення. Техногенне навантаження на геологічне середовище постійно збільшується і це призводить до активізації багатьох природних процесів та формування нового специфічного класу небезпечних природно-техногенних процесів у великих містах та розвинених промислових районах, де розташовані екологічно небезпечні об'єкти. При цьому слід зазначити, що усі природні умови території, в т.ч. гідрографічна мережа, визначаються особливостями тектонічної будови і відповідних ним рухів. Прояви останніх різноманітні за своїм типом, кінематичними формами, механізмом дії; їх інтенсивність і спрямованість може змінюватися за дуже короткі проміжки часу. Ці рухи призводять до змін в динаміці напруженого стану земної кори, переміщень неоморфоструктур, змінам сучасних рельєфоутворюючих процесів, ландшафтів, геофізичних і геохімічних процесів і багатьом іншим. Деформації літосфери, що виникають в процесі розрядки поля планетарної напруги, призводять до утворення систем тектонічних розломів – лінійних геологічних утворень, що характеризуються не лише значними горизонтальними розмірами по простяганню, а і певною шириною, що досягає декількох десятків кілометрів [1]. Саме системи розломів земної кори визначають геоекологічний стан техногенно навантажених територій за рахунок суттєвого підвищення техногенного навантаження: до річок, мережа яких визначена цими системами розломів, тяжіють населені пункти і великі промислові виробництва; із розломами пов'язана абсолютна більшість родовищ корисних копалин і, відповідно, розвиток гірничодобувної галузі [2]. Будь-яка надмірна зміна господарського використання природних ресурсів, що склалось, без урахування особливостей тектонічної будови, може привести до порушення екологічного стану основних компонентів довкілля на конкретній території.

*Метою роботи є дослідження тектонічний фактор і, в першу чергу, геолого-геофізична інформація про системи розломів земної кори як однієї з основ геоекологічного картування і наступного екомоніторингу досліджуваних техногенно навантажених територій (на прикладі південного сходу Українського щита – УЩ).*

***Геолого-геофізичне вивчення тектонічної роздробленості територій.*** Внутрішня тектонічна будова південного сходу УЩ останнім часом розглядається як поєднання складчастих структур, обмежених розривними порушеннями блоків земної кори і міжблоковими шовними зонами. Тут за результатами попередніх досліджень, де в якості вихідних даних була використана Карта систем докембрійських розломів України М 1:500000 (під загальн. ред. К.Ф. Тяпкіна, 1984 р.), встановлено, що комплексна геолого-геофізична інформація про системи розломів земної кори дозволяє виконати кількісну оцінку рівня анізотропії та порушеності надр досліджуваної території та виділяти на загальному фоні найбільш природно роздроблені ділянки [1,2].

Виходячи із загальноприйнятих уявлень про те, що зонам перетину розломів відповідають більш «роздроблені» та менш стійкі ділянки приповерхневого шару земної кори, на території Середньопридніпровського блоку УЩ виконано різномасштабне підсумовування індикаторів розломів різних рангів, що

припадають на одиницю площі. Виявлені аномальні ділянки, що мають найбільшу схильність до проявів різних сучасних процесів в земних надрах, сконцентровані в Середньопридніпровському блоці УЩ та тяжіють до відомих зеленокам'яних структур (ЗКС): Криворізької, Верхівцевської, Софіївської, Сурської, Чортомлицької. Не зупиняючись на чисто «просторової» інтерпретації тектонічної інформації, було проведено уточнення отриманих даних з урахуванням активізації окремих фрагментів розломів в різні проміжки часу. У цьому регіоні ~30% досліджених розломів проінтерпретовані – як активні. Тобто розломи або їх фрагменти добре проявлені у всіх 4-х групах ознак (від древніх до молодих): 1) геологічні та геофізичні (з введеними поправками за вплив денного і похованого рельєфу) ознаки; 2) наявність проявів вторинних геологічних процесів; 3) особливості похованого рельєфу; 4) особливості денного рельєфу). Найбільші концентрації активних фрагментів розломів відзначаються в районах Чертомлинської та Сурської ЗКС [2]. В силу історично сформованої наявності на деяких з цих ділянок екологічнонебезпечних об'єктів (підприємств військово-промислового і ядерно-паливного комплексів, продуктопроводів токсичних речовин, ставків-накопичувачів і відстійників підприємств добувної та обробної промисловості), природні та техногенні аварії та катастрофи можуть викликати тут нові, ще більш важкі катастрофи.

***Кількісна геолого-геофізична оцінка рівня тектонічної анізотропії приповерхневого шару земної кори.*** При вирішенні питань геолого-геофізичної оцінки сейсмічності потенційно тектонічно активних зон півдня України, в світлі його динамічного зв'язку з осередковою зоною землетрусів «Вранча» (Румунія), було досліджено зону розломів в напрямку Бухарест-Кишинів-Кропивницький-Харків, що підтверджується і конфігурацією ізосейстами конкретних землетрусів. Ця зона характеризується підвищеною потужністю літосфери і аномальним підняттям поверхні хвилеводу у верхній мантії. Вже згадана зона знаходить своє відображення і в даних про сучасні вертикальні рухи земної кори. Їй в межах України відповідає зона відносного опускання зі швидкістю  $\pm (1-2)$  мм/рік, що розділяє великі зони підняття: Естоно-Карпатську (тягнеться від узбережжя Фінської затоки до Молдови) і Середньо Руської (що охоплює височина того ж назви, а також райони Донецького кряжу, Приазовського масиву і Криворіжжя. Про цілісності і важливості цієї зони також свідчать результати розрахунків значущості «ваг» систем розломів в різних частинах цієї зони (Рис.1). Виявлена чітка тенденція переважання діагональних систем розломів з максимумом, відповідним системі з азимутами простягання  $35^\circ$  і  $305^\circ$ , тобто напрямків збігаються: з простяганням зазначеного вище сейсмоактивного впливу зони «Вранча» на північний схід і ортогонального – з генеральним напрямом Вознесенсько-Миколаївської розломної зони. Причому зазначена картина більш чітко проявляється в більш «древніх» геолого-геофізичних ознаках розломів (Рис.1,*а*) і дещо менш чітко – в «молодих» геоморфологічних ознаках (Рис.1,*б*). Разом із цим, отримані результати дозволили на локальному рівні зробити своєрідне зонування території м. Дніпро за ступенем і переважному напрямку так званої анізотропії «роздробленості» земних надр та

було використано з метою часового прогнозу критичних ситуацій, пов'язаних з інтенсифікацією зсувних процесів.

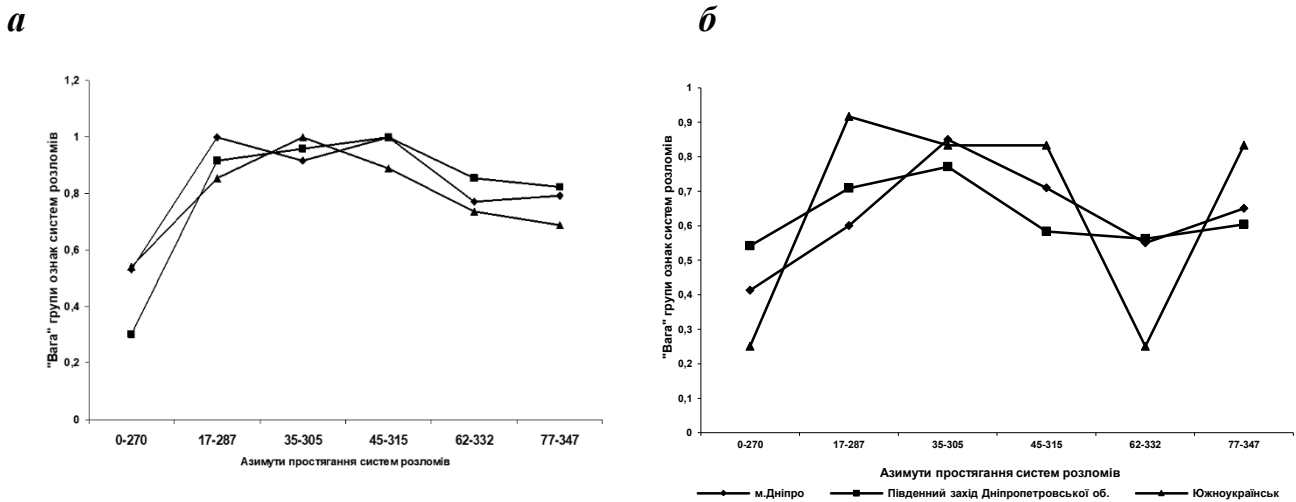


Рисунок 1 – Співвідношення «ваг» геолого-геофізичних (а) і геоморфологічних (денний і похований рельєф) (б) груп ознак (індикаторів) систем розломів різних ділянок південного сходу УЩ

Однак на цьому етапі досліджень не повністю були вирішені питання формалізованого визначення вагових коефіцієнтів різних індикаторів (ознак) систем розломів земної кори і просторових змін проявів різних систем розломів на території досліджень. Тому в подальшому було розроблено уніфіковану шкалу і технологію кількісної оцінки вагових коефіцієнтів різних груп геолого-геофізичних та геоморфологічних ознак систем розломів земної кори [3,4]. При збільшенні масштабу досліджень було вибрано 5 базових розрахункових точок (полігонів) в межах сусідніх геоблоків південного сходу УЩ, у т.ч. 3 точки у межах Середньопридніпровського геоблоку (райони міст Жовті Води та Токмак, а також Сурської ЗКС) та по одній точці в центральних частинах Кіровоградського геоблоку (район м. Кропивницький) та Приазовського геоблоку (район м. Волноваха). Для отриманих усереднених значень по усьому регіону досліджень (Рис.2) спостерігається картина дуже подібна до результатів попередніх досліджень (Рис.1). Але для окремих досліджуваних точок-полігонів значення нормованої суми вагових коефіцієнтів усіх груп ознак як різних напрямків розломів, так й їх систем суттєво різняться.

Зафіксована просторова мінливість нормованої суми вагових коефіцієнтів усіх груп ознак різних напрямків розломів на досліджуваних точках-полігонах південного сходу УЩ може бути основою для детального вивчення «роздробленості» приповерхневого шару земної кори для вирішення широкого кола інженерно-геоекологічних завдань, і потребує проведення подальших детальних комплексних геолого-геофізичних досліджень в межах основних відомих геоструктур цього регіону.

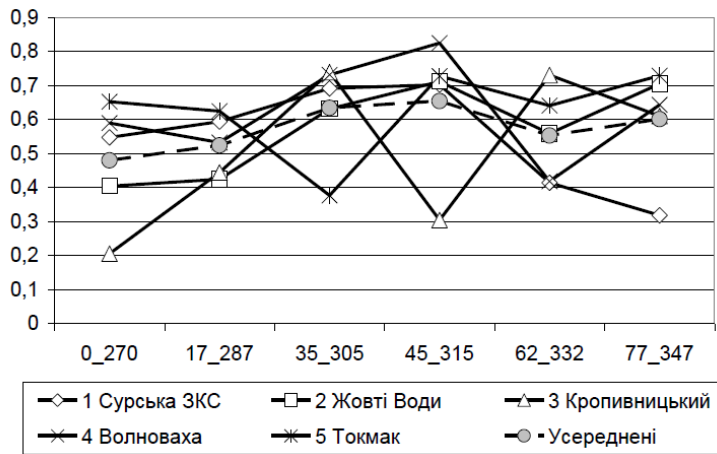


Рисунок 2 – Результати визначення нормованої суми вагових коефіцієнтів усіх груп ознак систем розломів на досліджуваних точках-полігонах південного сходу УЩ (вісь X – азимуту простягання в градусах)

### Висновки.

1. Тектонічний фактор і, в першу чергу, інформація про системи розломів земної кори грають важливу роль при підготовці основи геофізичних досліджень, що випереджають геоекологічне картування і моніторинг довкілля. Комплексна геолого-геофізична інформація про системи розломів земної кори дозволяє виконати кількісну оцінку рівня анізотропії та порушеності надр досліджуваної території та виділяти на загальному фоні найбільш природно роздроблені ділянки.

2. Розроблено уніфіковану шкалу кількісної оцінки вагових коефіцієнтів різних груп геолого-геофізичних ознак систем розломів земної кори. Отримані результати можуть бути основою для детального вивчення «роздробленості» приповерхневого шару земної кори для вирішення широкого кола інженерно-геоекологічних завдань за комплексом геолого-геофізичних даних в межах основних відомих геоструктур південного сходу УЩ.

### Список літератури

1. Тяпкин, К.Ф., Гонтаренко, В.Н. (1990). Системы разломов Украинского щита. Киев: Наукова думка.
2. Тяпкин, О.К. (2006). Геофизические методы решения геоэкологических задач. Днепропетровск: Монолит.
3. Бурлакова, А.О., Тяпкин, О.К., Пігулевський, П.Г. (2020). До питання використання тектонічної інформації для прогнозування стану навколишнього середовища. *Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку: Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції*. Херсон: «ОЛДІ-ПЛЮС», 95-98.
4. Tiapkin, O., Burlakova, A., Pihulevskyi, P. (2019). Geophysical prognostication directions of dangerous geoeological influence of mining waste-storages in Central Ukraine. *Smart Bio: Proceeding of III International Conference*. Kaunas, Lithuania. 140.

**ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ОСНОВНИХ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КАЧАЛІВСЬКОГО, КУЛИЧИХІНСЬКОГО, МАТЛАХОВСЬКОГО, МАЛОСОРОЧИНСЬКОГО ТА СОФІЇВСЬКОГО РОДОВИЩ НА ВМІСТ ВАНАДІЮ У НАФТІ**

<sup>2</sup>*Єрофєєв А.М., <sup>1</sup>Ішков В.В., <sup>1</sup>Козій Є.С.*

<sup>1</sup>*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна*

<sup>2</sup>*Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна*

**Анотація.** Розглянуто вплив комплексу основних геолого-технологічних показників на вміст ванадію у нафті Качалівського, Куличихінського, Матлаховського, Малосорочинського та Софіївського родовищ. За результатами кореляційного і регресійного аналізів розраховані коефіцієнти кореляції та лінійні рівняння регресії. Наведені основні типоморфні ознаки нафт розглянутих родовищ та встановлено що саме смоли з усіх фракцій нафт є основними носіями і концентраторами ванадію.

**Вступ.** Увага до проблем накопичення та міграції металів у нафтах пов'язана з актуальними науково-технічними питаннями генезису вуглеводнів, з можливістю їх промислового вилучення в процесі переробки нафт із метою подальшої реалізації, як супутньої сировини, а також визначити екологічні ризики використання цих нафт як сировину для виробництва нафтопродуктів і, в першу чергу, бензину та дизельного палива. Як відомо, метали в мікрокількостях входять до складу нафт з різних регіонів світу. Високий вміст металів, зокрема ванадію і нікелю, є також серйозною проблемою під час переробки нафтової сировини, так як призводить до незворотної дезактивації каталізаторів в результаті відкладення металів на активній поверхні, блокування порового простору і руйнування структури каталізатора. Крім цього, неорганічні сполуки ванадію, що утворюються при переробці нафти сприяють високотемпературної корозії поверхонь обладнання, зниження терміну служби турбореактивних, дизельних і котельних установок, газової корозії активних елементів газотурбінних двигунів і зростання екологічно шкідливих викидів в навколишнє середовище. Разом з тим, метали, в тому числі рідкісні і рідкоземельні, є цінними супутніми компонентами, вміст яких в нафтах та їх продуктах переробки може дорівнювати, а іноді навіть перевищувати їх вміст в рудних джерелах [4]. Однак в Україні промислове виробництво металів (зокрема, ванадію) з нафтової сировини до сих пір не освоєно, хоча в світовій практиці нафтопереробки є технології, що дозволяють здійснити попутне отримання концентратів з високим вмістом кошовних металів. Зокрема, за кордоном з нафтової сировини отримують близько 8% від обсягу загальносвітового виробництва ванадію, а в окремих країнах цей відсоток доходить до 20 % (США) [8]. Крім того, присутність і концентрації металів у нафтах з різних родовищ дозволяє встановлювати закономірності їх міграції та накопичення у вуглеводневих системах. Серед них, зокрема, слід вказати особливо пріоритетні за промисловим та екологічним значенням – ванадій, ртуть, кобальт, нікель, залізо, марганець, алюміній, титан, хром та цинк.

Дана робота присвячена результатам досліджень вмісту ванадію у нафтах

п'яти родовищ основного нафтогазоносного регіону України – Дніпровсько-Донецької западини. Це Качалівське, Куличихінське, Матлаховське, Малосорочинське та Софіївське родовища.

**Аналіз попередніх досліджень.** Одну з перших систематизацію нафт за їх загальними характеристиками вмісту металів проведено Barwise A. J. G. у 1990 р. Він розглянув хімічний склад, фізичні властивості та вміст металів у зразках нафти [7]. Пізніше у 2007 році Шнюковим Є. Ф. було опубліковано дуже цікаву оглядову статтю про вміст ванадію та нікелю в природних нафтах світу [3]. В ній детально розглянуто концентрації присутності важких металів у нафтах у взаємозв'язку з їх генезисом. Через рік у 2008 Сухановим А. А. розглянуто сучасний стан оцінки запасів супутніх компонентів нафти (включно з важкими металами), як джерела високоякісної рідкометалічної сировини [1]. За два роки у 2010 р. Якуцені С. П. опубліковано результати дослідження взаємозв'язку глибинної зональності вуглеводнів, та збагаченості нафт важкими елементами-домішками [5]. У роботі вказано на наявність кореляційні залежності вмісту важких металів в нафтах, та глибини залягання нафтових покладів. Вже у 2014 р. Акроева О. В. проведено аналіз вмісту важких металів у нафтопродуктах з родовищ Нігерії (Агбор) [6]. Авторами зазначено, що високий рівень вмісту важких металів у нафтах може становити серйозну екологічну загрозу. Слід зазначити, що не всі домішки важких металів у нафтах мають природній генезис. В Україні такі дослідження проводилися у 2013 р. щодо високосірчистої нафти Прикарпатського прогину [2]. У цій роботі було не лише досліджено фракційний склад та фізико-хімічні властивості світлих фракцій, виділених із нафти Орховицького нафтового родовища, а й вивчено потенційний вміст фракцій, для яких визначено густину, показник заломлення, молекулярну масу, вміст сірки. Трохи пізніше Wilberforce J. O. проведено дослідження вмісту важких металів у сирій нафті, що використовується у медицині [9]. У роботі рівні Cd, Ni, V і Pb були досліджені за допомогою атомно – абсорбційної спектрофотометрії. В результаті дослідження було встановлено середню концентрацію металів із зазначенням впливу їх на організм людини.

Слід зазначити, що дослідження вмісту ванадію у нафтах Качалівського, Куличихінського, Матлаховського, Малосорочинського та Софіївського родовища та їх порівняльний аналіз з урахуванням інших показників раніше не виконувалося.

Таким чином, дослідження металів, зокрема V у нафтах з різних родовищ України, що надає можливість визначення їх генетичних особливостей та екологічних наслідків використання – є актуальною проблемою, вирішення якої сприятиме напрацюванню комплексу прогностичних критеріїв скупчень вуглеводнів та науково обґрунтованої геолого-економічної та екологічної оцінки їх використання.

**Фактичний матеріал та методологія досліджень.** Дослідження зразків нафти з родовищ на вміст V проводилося за допомогою рентгено-флуоресцентного аналізу на енерго-дисперсійному спектрометрі «Спрут» СЕФ 01. Час накопичення спектра 600 с. Аналітик - Єрофеев А. М. Підготовка і

проведення аналізу проводилась за стандартом ASTM Д 4927 – Визначення елементного складу компонентів мастильних матеріалів методами рентгенофлуоресцентної спектроскопії з дисперсією за довжиною хвилі. Стандартними зразками металічних домішок слугували наступні зразки: РМ 23 (ДСЗУ 022.122-00) МСО 0243:2001 з атестованими значеннями Cd, Mn, Pb, Zn; РМ 24 (ДСЗУ 022.123-00) МСО 0244:2001 з атестованими значеннями Fe, Co, Cu, Ni; РМ 26 (ДСЗУ 022.125-00) МСО 0246:2001 з атестованими значеннями V, Mo, Ti, Cr. Таким чином з кожного родовища з 5 родовищ аналізувалися по 30 проб нафти. Потім значення вмісту V та всіх інших показників нормувалися за формулою

$$X_{i \text{ норм.}} = (X_i - X_{i \text{ min}})/(X_{i \text{ max}} - X_{i \text{ min}}),$$

де  $X_{i \text{ норм.}}$  – нормоване одиничне значення показника проби нафти з конкретного родовища,  $X_i$  – одиничне значення показника проби нафти з конкретного родовища,  $X_{i \text{ min}}$  – мінімальне значення показника проби нафти з конкретного родовища,  $X_{i \text{ max}}$  – максимальне значення показника проби нафти з конкретного родовища.

Таким чином нормовані значення показників проб нафти з кожного родовища оброблялися за допомогою програми STATISTICA 11.6, у якій виконувався розрахунок описових статистик, кореляційний, регресійний аналіз та графічна візуалізація результатів аналізу.

**Результати дослідження та їх обговорення.** По густині нафта Софіївського родовища відноситься до легких, нафти усіх інших родовищ – до обважнених. Глибини розробки, температури покладів та тиски на родовищах варіюють відповідно на Малосорочинському від 2482 м, 62°C і 266 Атм. до 4345 м, 114°C та 478 Атм. на Качалівському. Концентрація ванадію з збільшенням глибини розробки, температури покладів та тиску зменшується, відповідні коефіцієнти кореляції -0,93, -0,92, -0,99 та рівняння регресії  $V = 0,9823792 - 0,966759 \cdot H$ ,  $V = 0,9958379 - 0,9466561 \cdot T$ ,  $V = 1,015612 - 1,028575 \cdot P$ .

У досліджених нафтах вміст ванадію в нафті має широкий діапазон величин 0,04-2,17 г/т і аналогічно для нікелю - 0,35-2,95 г/т. Співвідношення V/Ni в нафтах змінюється в межах 0,11-0,8. Зі збільшенням вмісту ванадію концентрація нікелю також пропорційно збільшується, коефіцієнт кореляції 0,87, рівняння регресії  $V = 0,0304026 + 0,7363044 \cdot Ni$ .

В'язкість нафти родовищ зростає від Софіївського до Малосорочинського родовища відповідно з  $3,16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  до  $14,17 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . Зі збільшенням в'язкості концентрація V статистично зростає. Коефіцієнт кореляції між цими показниками дорівнює 0,9, рівняння регресії  $V = 0,01155548 + 0,9032663 \cdot \eta$ .

Вміст смоли у нафти родовищ зростає від Качалівського до Малосорочинського родовища відповідно з 2,1% до 20,58%. Аналіз впливу вмісту смол на концентрацію ванадію виявляє чітко виражену пряму залежність. Коефіцієнт кореляції 0,93, рівняння регресії  $V = 0,1750241 + 0,8634117 \cdot C$ .

Аналіз впливу потужності покладів, густини нафти, температури початку її кипіння, вмістів парафіну, асфальтенів, сірки, Hg, Mn, Al, Cr, Fe, Zn, Co,

мінералізації та густини пластової води в досліджених родовищах не зміг виявити чітко виражених кореляцій. Так за шкалою Чедока кореляційний зв'язок між концентраціями ванадію та вмістами асфальтенів і сірки оцінюється як середній, між густиною пластової води як слабкий, а між іншими геолого-технічними показниками як дуже слабкий. Слід зазначити, що для даних родовищ показники глибини розробки, тиску та температури покладів пов'язані прямим дуже високим кореляційним зв'язком. Певне, що зі збільшенням глибини розробки родовищ, тиск та температура покладів (термобаричні умови знаходження нафти) майже лінійно підвищується, тобто їх коливання інтегровано та односпрямоване впливають на особливості змін концентраційних можливостей по відношенню до ванадію основних елементів складної гетерогенної системи (до якої власно і відноситься нафта). Так, збільшення температури приводить зокрема до зменшення стабільності більшості металоорганічних сполук у складі вуглеводневої сировини. Наприклад стійкість ковалентних полярних зв'язків стрімко зменшується із збільшенням температури, що призводить до значного погіршення накопичувальних властивостей нафт до утримання у своєму складі металів. Зворотня дуже висока залежність вмісту ванадію із показниками тисків пояснюється перш за все міжмолекулярною взаємодією. Вона обумовлена хімічними зв'язками, слабшими за ковалентний зв'язок. На прикладі ван-дер-вальсових взаємодій, на великих відстанях між органічними молекулами та вільними атомами металів переважатимуть сили притягання, що матимуть орієнтаційний та індукційний характер. Однак із зменшенням відстаней внаслідок ущільнення системи переважатимуть сили відштовхування, що і обумовлюватимуть зменшення накопичувальних властивостей елементів вуглеводневої системи. Зростання вмісту нікелю в поєднанні із концентраційними показниками вмісту ванадію у досліджених вуглеводневих системах можна пояснити лише тим, що нікель в більшості металевих руд є супутнім елементом до ванадію. А зростання сумарних показників вмісту ванадію та нікелю лише вказує на підвищену здатність вуглеводнів даного складу до накопичення та утримання металів в системі за рахунок утворення стійких зв'язків. Оскільки здатність накопичення металів у нафтах обумовлена наявністю ароматичних вуглеводнів, які в свою чергу мають підвищені реологічні властивості та погіршують фільтраційні властивості нафти, цілком закономірною є пряма залежність вмісту ванадію у вуглеводневих системах із збільшенням в'язкості нафти. Закономірність збільшення вмісту смол у загальному фракційному розподілі нафт, та пов'язаному з цим ростом загального вмісту ванадію, спостерігається перед усім через особливості хімічної будови сполук, що утворюють дану фракцію. Смоли являють собою складні поліциклічні сполуки ароматичного вмісту, із здатністю до поверхневої активності, та можуть утворювати хелати за рахунок аліфатичних радикалів у своєму вмісту.

**Висновки.** Результати проведених досліджень дозволяють сформулювати такі основні висновки: 1). Для даних родовищ показники глибини розробки, тиску та температури покладів пов'язані прямим дуже високим кореляційним зв'язком



між собою та зворотнім дуже високим кореляційним зв'язком з вмістом ванадію. Розраховані рівняння регресії цими показниками дають можливість надійно прогнозувати вміст цього елемента у нафтах з цих родовищ. 2). Встановлений прямий дуже високий кореляційний зв'язок між вмістами ванадію і нікелю дозволяє розглядати його як типоморфну ознаку нафти з цих родовищ. Розраховане рівняння регресії зв'язку між цими елементами дозволяє виконувати прогноз їх вмістів на підставі визначення вмісту одного з них. 3). Виявлений прямий дуже високий кореляційний зв'язок між концентраціями ванадію, в'язкістю нафти і вмісту смол дає можливість стверджувати, що саме смоли, з усіх фракцій конкретних нафт є основними носіями і концентраторами ванадію. Розраховане рівняння регресії зв'язку між вмістом ванадію і цими показниками можуть бути використані з метою прогнозування концентрацій ванадію у нафтах з розглянутих родовищ.

**Основна практична цінність виконаних досліджень полягає у встановленні середньої концентрації та можливості прогнозування вмісту ванадію у нафтах Качалівського, Куличихінського, Матлаховського, Малосорочинського та Софіївського родовища за допомогою розрахованих рівнянь регресії. Основне наукове значення отриманих результатів полягає у виявленні типоморфних ознак нафт розглянутих родовищ та визначено, що саме смоли з усіх фракцій нафт є основними носіями і концентраторами ванадію.**

### Список літератури

1. Суханов, А. А., Петрова, Ю. Э. (2008). Ресурсная база попутных компонентов тяжелых нефтей России. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, (3), 1-11.
2. Хлібишин, Ю. Я., Мохамад Шакір Абд Ал-Амері, Гринишин, О. Б. (2013). Дослідження дистилатної частини високосіркової нафти Орховицького нафтового родовища. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*, (761), 462-465.
3. Шнюков, Е. Ф., Гожик, П. Ф., Краюшкин В. А. (2007). Ванадий и никель в природных нефтях Азии, Африки, Европы, Северной и Южной Америки. *Доповіді Національної академії наук України*, (3), 137-141.
4. Шпирт, М.Я., Нуkenов, Д.Н., Пунанова, С.А., Висалиев, М.Я. (2013). Принципы получения соединений ценных металлов. *Химия твердого топлива*, (2), 3 - 8.
5. Якуцени, С. П. (2010). Глубинная зональность в обогащенности углеводородов тяжелыми элементами-примесями. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, (5 (2)), 1-7.
6. Akpoveta, O. V., Osakwe, S. A. (2014). Determination of Heavy Metal Contents in Refined Petroleum. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, (7 (6)), 1-2.
7. Barwise, A. J. G. (1990). Role of nickel and vanadium in petroleum classification. *Energy Fuels*, 4(6), 647-652.
8. Raja, B.V. (2007). Vanadium Market in the World. *Steelworld*, (13, (2)), 19 - 24.
9. Wilberforce, J. O. (2016). Profile of Heavy Metals in Crude Oil Commonly Consumed for Medicinal Purposes in Abakaliki. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, (11 (3)), 43-44.

## ТРАНСФОРМАЦІЯ МІНЕРАЛІВ ПІСКОВИКІВ ДОНЕЦЬКОГО БАСЕЙНУ НА СТАДІЇ ПІЗЬНОГО КАТАГЕНЕЗУ

<sup>1</sup>*Стефанко С.В., аспірант*

<sup>1</sup>*Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, м. Дніпро, Україна*

**Анотація.** У даній роботі відображається проблема вивчення катагенеза і впровадження у виробництво методів визначення ступеня трансформації породи. Сформована актуальність, показані фізико-механічні та мінералогічні аспекти катагенезу. В результаті петрографічних досліджень пісковиків отримана закономірність в зміні чотирьох мінералогічних параметрів: розмір зерен, вміст кварцу уламкового та регенераційної і вміст польових шпатів.

**Вступ.** Постседіментатійне перетворення гірських порід визначає їх властивості. Підтвердженням цього можуть служити висновки зроблені дослідниками [1-2], що породи конкретного речовинного і гранулометричного складів на різних стадіях мають досить суттєві відмінності по структурним, міцностним, технологічним, деформаційним та іншим показникам. Таким чином, породи розрізняються не тільки складом, але і ступенем перетворення.

Освоєння глибоких горизонтів супроводжується різким ускладненням гірничо-геологічних умов експлуатації через підвищення гірського тиску, температури, надходження газу у виробки, проявів раптових викидів порід, вугілля і газу [3]. Тому для безпечного ведення гірських робіт дуже важливо враховувати ступінь перетворення порід на мінеральному, структурному і фізико-механічному рівні встановлюючи їх петрофізичний тип. Такі знання не тільки доповняють розуміння глибинних процесів, определяя наукову цінність, але і дадуть можливість на практиці прогнозувати і запобігати небезпечні явища, застосовувати отримані маркери вторинних змін у всіх осадових комплексах для визначення їх катагенетичної приналежності, виявляти і вивчати закономірності поширення в товщі різних петрофізичних типів, прогнозувати фізичні параметри вугленосної товщі в районах геофізичних робіт.

Кращим об'єктом для досліджень катагенеза є Донецький кам'яновугільний комплекс. Він являє собою авлакоген зі складною геологічною будовою. На його території виділяється ряд структурно-тектонічних зон в яких визначаються обстановки накопичення седіментів і чітко корелюється стадійність постседіментатійних перетворень. У цій геологічній структурі є все розмаїття марок вугілля, тому відкривається можливість детально дослідити зв'язки, що існують між тектонікою, умовами і ступенем трансформації [2].

Таким чином, важливим завданням, як в теоретичному, так і в практичному відношенні, є розробка надійних способів визначення підстадій катагенетичних змін осадових порід [4]. Тому *метою даної роботи* є дослідження і виділення мінералогічних ознак пізнього катагенеза в пісковиках Донецького породного комплексу.

**Аналіз літератури.** Історія вивчення катагенеза налічує майже сотню років. На сьогоднішній день, головними джерелами трактування термінів про перетвореннях порід є Геологічний словник, Велика Радянська Енциклопедія і

Гірнична Енциклопедія. Катагенез як процес визначає зміни осадових порід після їх виникнення з осаду і до перетворення в метаморфічні породи поділяючись на ранній, середній і пізній [5].

Сьогодні існують дві основні наукові школи поділу постдіагенетичних змін: Вассоевич Н.Б. бере за основу в якості ознак перетворення властивості промислових марок вугілля; Логвиненко Н.В. в якості маркерів використовує мінералогічні трансформації [6-7]. Ці дослідники ґрунтувалися на двох різних методах виділення маркерів, тому результати у кожного з них значно різняться. Однак, вугільна речовина швидше реагує на підвищення температури, в той час як на мінерали, в більшій мірі впливає тиск [8]. Тому більшість дослідників в питанні виділення стадійних границь ґрунтуються на інтерпретації даних по вивченню глинистих мінералів, їх асоціацій, ступеня зміни органічної речовини і фізико-механічних властивостей порід. Проте, оскільки ряд аутигенних мінералів утворюється в широкому діапазоні температур і тисків, тому великий розкид значень фізико-механічних властивостей порід, в поєднанні з частою відсутністю органічного матеріалу, створює умовність у виділенні границь між окремими під стадіями перетворення [4].

Таким чином, зовсім не простим завданням є знаходження спільних ознак які можна застосовувати для всіх породних комплексів, які об'єднували б і мінеральні зміни, і перетворення в вугіллі. Однак роботи над цим ведуться і сьогодні. Перспективою в рішенні цієї задачі може бути знаходження всіх особливостей трансформацій пов'язаних з катагенезом (вторинні новоутворення, зміни в мінералах, міграція елементів та інші) і виділення найхарактерніших.

**Катагенез вугілля.** В процесі катагенетичного перетворення порід виділяється ряд етапів, які маркуються зміною технологічних властивостей вугілля. На сьогоднішній день існує 8 загальноприйнятих марок вугілля (табл. 1). Однак деякі автори виділяють проміжні марки: ДГ, ГЖ та інші, що не є виправданим в геології.

Роботи основоположних авторів, які досліджували катагенез вугілля – М. і Р. Тайхмюллера досі є базовими. Автори не поділяли вугілля на сучасні промислові марки, але виділяли наступні етапи вуглефікації: торф, буре вугілля, кам'яне вугілля та антрацит. Зіставляючи деякі характеристики вугілля, описані авторами з властивостями сучасного марочного ділення можна встановити приблизні співвідношення (табл. 1).

**Катагенез вуглевміщуючих порід.** З урахуванням того що в формуванні властивостей осадових порід Донецького басейну визначальним фактором є тиск, що створює відмінність параметрів навіть в структурно схожих петротипах, все ж, в цілому, зміни властивостей з ростом катагенеза чітко корелюються.

Для **пісковиків** за фізичними властивостями протягом усього катагенеза характерно зниження пористості в вугільній марці Д від 33% і до 1,5% в марці А [10, 2]. Міцність закономірно підвищується на всіх підстадій досягаючи свого максимуму в пізньому катагенезі. Для цих порід властиві глинисті полімінеральні цементити типу хлорит-гідролюдисті з домішками каолініту і монтморилоніту – в початковому катагенезі, і заміною глинистих мінералів на

хлорит і серицит в наступних підстадій. На пізньому етапі, цементу стає менше і все частіше проявляється без цементний контакт.

Таблиця 1 - Стадії вуглефікації з петрофізичними параметрами вугілля [8, 9]

Марка вугілля	Позначення	Відбивна здатність вітриніту, %		Вихід летких сполук, %		Вміст вуглецю, %	Вміст води, %	Теплота спалювання	
		за даними автора [8]	за даними автора [9]	за даними автора [8]	за даними автора [9]			МДж/кг [9]	ккал/кг [8]
Буре	Б	0,3	<0,4	53	50-70	<60	75-35	<24,0	4000
Довгополум'яне	Д	0,5	0,4-0,6	49	35-50	71	25	-	5500
Газове	Г	1,1	0,5-1	42	33-46	77	8-10	-	7000
Жирне	Ж		0,85-1,2	29	28-36	87	-	8650	
Коксове	К		1,21-1,6		18-28		-		
Піснувато-спікливе	ПС	2,5	1,3-1,9	8	14-22	91	-	-	8650
Пісне	П		1,6-2,59		8-18		35,2-36,5		
Антрацит	А	>2,5	2,6-5,6	<8	<8	>91	-	<32,5	-

*Алевроліт-аргілітові різновиди порід* за своїми фізичними властивостями поводяться схожим чином. У мінеральному відношенні на початковому етапі перетворення ці петротипи демонструють різноманітність полімінеральних асоціацій розбухаючих (водних) глинистих мінералів: слюди-сметити, хлорит-сметити, каолініт-сметити. На пізньому етапі, в основному зустрічаються гідрослюди. У зоні розвитку антрацитів панує бімінеральна хлорит-серицитова асоціація. Зустрічаються новоутворення хлорита, діккіта і гюмбеліта. Каолініт і монтморилоніт на пізній етапах як і у пісковиках відсутні.

У *вапняках* спостерігається зниження пористості, підвищення об'ємної ваги і міцності. Відбувається перекристалізація карбонатів і з'являються новоутворення сидерита, піриту і кварцу.

**Результати дослідження.** Як видно, такі дані про постседіментатійні перетворення дають лише загальне уявлення і не охоплює всіх параметрів. Тому має місце бути більш детальне вивчення мінеральних змін які впливають на властивості осадових порід. Отже для збору даних про вторинні зміни порід в пізньому катагенезі, було проаналізовано 62 шліфа пісковиків відібраних з 15 різних пластів розташованих в зоні розвитку вугілля марок К, ОС, Т. В даній роботі представлені результати за чотирма параметрами: розмір зерен, кількість кварцу уламкового, кварцу регенераційного та польових шпатів.

**Розмір зерен.** Незважаючи на те, що цей параметр багато в чому залежить від другорядних факторів не пов'язаних з катагенезом, однак при усередненні

наявних даних, виявляється тенденція до зниження середнього діаметра зерен з ростом катагенеза. На пізній підстадії від вугільної марки К до марки Т зниження відбувається від 0,27 мм до 0,21-0,22 мм відповідно. Це пояснюється тим, що з ростом літіфікації відбувається дроблення зерен.

**Кварц уламковий.** Зміна вмісту кварцу також корелює зі стадіями катагенеза. В районі розвитку вугілля марки К розкид значень вмісту кварцу коливається від 51 % до 72 %, середній вміст 63,8 %; в районі марки ОС розкид збільшується і знаходиться в межах від 38 до 78 %, середнє становить 60,84 %; в районі марки Т розкид скорочується і лежить в межах від 48 до 68 %, середнє 59,17 %.

В цілому простежується кореляція зростання ступеня катагенеза зі зменшенням вмісту кварцу. Така зміна відбувається тому, що кварц зазнає інтенсивне дроблення і часткове розчинення. Результатом цього є виникнення ділянок дрібного, дробленого кварцу, він переходить в регенераційні, або в цемент.

**Кварц регенераційний.** Цей параметр поводитьсь подібним чином як і кварц уламковий, відмінність лише в тому що його вміст не перевищує 10 %. На підстадії вугільної марки К вміст кварцу коливається від 3 % до 6 %, середній вміст 4,88 %; на етапі марки ОС межі розкиду лежать в діапазоні від 1 до 8 %, середній вміст 3,68 %; в районі поширення марки Т розкид варіюється від 2 до 8 %, середнє становить 5,08 %. За ступенем зростання катагенеза в цілому помітний тренд до зниження вмісту кварцу регенераційного до переходу в марку Т, лише в марці Т відбувається незначне зростання.

**Польові шпати (ПШ).** У шліфах пісковіку з ПШ частіше за інших зустрічаються Са-На представники зокрема: 71,25 % плагіоклази і 28,75 % мікроклін. Із загальної кількості плагіоклазів 32,24 % припадає на район поширення вугілля марки К, 36,14% - на район ОС і 31,61 % - на марку Т. З усього знайденого мікрокліна на підстадії марки К відзначається 52,73 %, на ОС - 26,73 %, і в районі марки Т - 20,53 %. Помічено що мікроклін виникає спорадично, тому він не є показовим для катагенеза. Однак за частотою знаходження мікрокліна фіксується істотне його зниження при переході від середнього до пізнього катагенеза, та подальше поступове зниження вмісту по мірі зростання літіфікації.

При підрахунку вмісту враховувалися всі помічені ПШ (плагіоклази і мікроклін). При аналізі чітко помітно що з ростом катагенеза від марки К до марки Т вміст ПШ має хвилеподібний характер з мінімумами на марочних переходах. Однак, навіть з урахуванням хвилеподібного характеру вмісту, в цілому ПШ має стійку тенденцію до зниження на більш ніж 3 %. Така закономірність пов'язана з тим, що в міру зростання катагенеза ПШ вилугуюються, руйнуються, переходять в карбонатні і силікатні мінерали.

**Висновки.** Для досліджень були обрані піщані породи, оскільки вони мають велику різноманітність мінералів. Проби цих петротипів відібрані в районах поширення вугільної марки К - як кінець середнього катагенеза, марки ОС - як прикордонна, та марки Т – яка відноситься до пізнього катагенезу. Були зібрані дані за кількома параметрами: зміна розміру зерен, вміст кварцу уламкового,

кварцу регенераційної і польового шпату. В результаті помічено, що на даних підстадях перетворення, відбувається зниження розміру уламків, зниження вмісту кварцу і польового шпату. Вторинні утворення представлені руйнуванням уламкових зерен, появою в кварці мозаїчної структури і ділянок дроблення, пілітизацією, серіцитизацією і карбонізацією польового шпату, причому найменш стійким є мікроклін. Все це свідчить про те що на мінеральному рівні перетворення тривають від марки до марки і підстадією вугільної марки Т не закінчуються.

### Список літератури

1. Воевода, Б.И., Костенко, Д.Т., Мигель, О.В. (2001). Литологические закономерности угленосных отложений Донбасса. *Наук. праці Дон. держ. техн. університету серія гірничо-геологічна, випуск 23. ДонДТУ*, 10-14.
2. Крашенинников, Г.Ф., Волкова, А.Н., Иванов, Н.В., Рекшинская, Л.Г., Седаева, К.М., Пиотровский, А.М. (1984). Влияние генетических особенностей на формирование физико-механических свойств пород среднего карбона Донецкого бассейна. *Вестн. Моск. Ун-та сер. 4 Геология*, (2), 37-52.
3. Моссур, Е.А. (1973). Вещественный состав и постдиагенетические изменения осадочных пород угленосной толщи Донбасса в связи с прогнозом их выбросоопасности: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. / Днепропетровск: ДГИ им. Артема, 18.
4. Курило, М.В. (2010). Эволюция жильной минерализации в породах угленосной формации Донбасса. *Зб. матеріалов міжн. конф.*, Киев: КНУ им. Т. Шевченко, 34.
5. Паффенгольц, К.Н. (ред.) (1978). Геологический словарь: в 2-х томах. *М.: Недра*, 447.
6. Вассоевич, Н.Б. и др. (ред.) (1983). *Справочник по литологии. М.: Недра*, 509 с.
7. Курило, М.В. (1979). Некоторые вопросы перехода осадочных пород в метаморфические // *Вопросы геохимии минералогии, петрологии и рудообразования. К: Наука думка*, 120-128.
8. Тайхмюллер, М.иР. (1971). Катагенез угля (Углекфикация). *Диагенез и катагенез осадочных образований. М.: МИР*, 353-377.
9. Нагорний, Ю.М., Нагорний, В.М., Приходченко, В.Ф. (2005). Геологія вугільних родовищ: Навч. посібник. *Дніпропетровськ: НГУ*, 338.
10. Баранов, В.А. (2011). Основные результаты глубоких скважин Донбасса. *Збірн. матеріалів II міжнар. конф. Підземні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання*, 153-161.

## ВПЛИВ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСОБЛИВОСТІ РУДОУТВОРЕННЯ УРАНУ

<sup>1</sup>*Маметова Л.Ф., канд. геол. наук, ст. научн. сотр.*

<sup>1</sup>*Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро, Україна*

**Анотація** На підставі аналізу сучасних наукових поглядів встановлено: зміна геологічних умов впливає на мінерали будь-яких гірських порід та руд, зокрема – на уранові. Гідротермальні, метасоматичні та гіпергенні процеси трансформують основні характеристики мінералів (склад, структуру, геохімічну стійкість, щільність та ін.). Відбувається розчинення та міграція мінеральних і рудних компонентів, виникають нові мінерали. Отже, геологічні процеси регулюють геохімічні перетворення в породах, які призводять як до збагачення урану, так і до його виносу.

**Вступ.** Провідні енергетичні компанії світу прогнозують поступове зростання частки атомної електроенергетики. Для задовільної експлуатації наявних АЕС необхідно нарощувати видобуток сировини. Сировиною для атомної енергетики,

космічної, металургійної та інших галузей промисловості є уранові руди, видобуток яких ведеться в геологічних формаціях України. Аналіз публікацій закордонних і вітчизняних наукових досліджень показав - родовища і рудопрояви урану знаходяться в породах різного походження: магматичних, метаморфічних, осадових. Більшість уранових об'єктів розташована в межах центральної частині Українського щита – Інгульський мегаблок (ІМБ), менша – в західній та східній. Інгульський мегаблок від Середньодніпровського відокремлений Кременчуцько-Криворізькою структурною зоною. Промислові концентрації урану виникають завдяки гідротермальним, кристалізаційним, екзогенним процесам, інтенсивність яких пов'язана з тектонічними рухами. Загальновідомі [1, 2, 5] кілька гіпотез походження лужних метасоматитів, а щодо джерела урану думки дослідників розходяться. Ці питання висвітлюються у багатьох роботах, перелік цих публікацій доступний кожному зацікавленому аргументами авторів.

### **Матеріал і методи досліджень**

Для визначення структурних і текстурних характеристик порід використано петрографічні методи і обладнання (мікроскоп ПОЛАМ Р-111, фотокамера ДСМ-200). З метою дослідження геохімічних перетворень у породах проведені експерименти. Для порівняння обрались породи різного генетичного типу і полімінерального складу. Методологія експериментів описана в роботі [3].

**Мета наших досліджень** полягає у визначенні впливу геологічних процесів на особливості рудоутворення та формування уранових корінних і розсіпних родовищ, інших проявів.

### **Результати досліджень.**

Серед зазначених вище процесів, саме гідротермальний, викликає метасоматоз, пріоритетність якого не заперечується. Адже метасоматичні, а пізніше екзогенні (гіпергенез), процеси визначають умови зміни основних характеристик мінералів (структуру, геомеханічну стійкість, щільність та ін.) як гірських порід – серед них метасоматитів, так і уранових руд. Більшість дослідників, погляди яких ми підтримуємо, погоджується з поліхронним характером їх утворення. Практичне значення має виділення зон за ступенем окиснення та інтенсивності альбітизації, які впливають на фізичний стан породного масиву і на концентрацію рудних компонентів.

На основі дослідження типових рудних полів УЩ встановлено такі закономірності:

а) зв'язок лужного метасоматозу з зонами лінійного катаклазу – задіяні геохімічні та тектонічні процеси;

б) на основі зміни інтенсивності альбітизації родовища урану мають зональну будову, яку представляють: безрудні, малорудні та ураноносні альбітити. Форма присутності урану, характер його поширення різні в кожній зоні: в материнських гранітах – як ізоморфний компонент інших мінералів - монациту, циркону [3] - у розсіяному стані – рис. 1

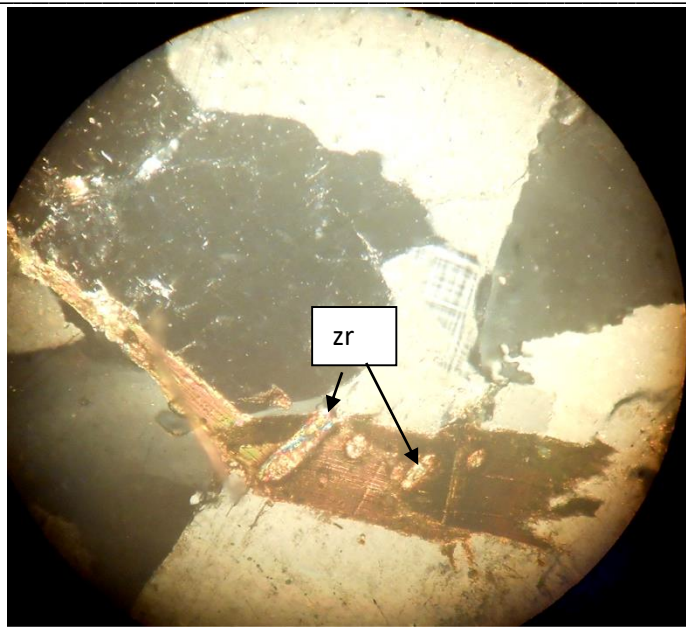


Рисунок 1 - Граніт з цирконами в біотиті – після контакту з реагентами в статичних умовах,  $90^\circ$ , ніколі

В лужних метасоматитах з'являються оксиди урану (уранініт, настуран, гідрооксиди), титанати (бранерит) та силікати (кофініт, уранофан, ін.) урану, які утворюють „гнізда” у формі зростків кількох зерен;

Промислові концентрації урану в осадових породах виникають завдяки окислювально-відновним гіпергенним процесам. Основними відновниками та сорбентами є: карбонати, фосфати, цеоліти, тверді бітуми, вуглиста речовина рослинні залишки, оксиди заліза;

В зоні гіпергенезу відбувається зіткнення різних ендегенних та екзогенних факторів і процесів [4]. Вони визначають характер і тип геохімічного середовища гіпергенезу: а) в умовах окислення; б) у відновлювальному середовищі і в перехідних між ними умовах. Конкретними проявами взаємодії є окислення і відновлення, гідроліз та вилуговування, гідратація і дегідратація, колоїдний обмін та заміщення, винесення одних сполук та елементів і акумуляція інших. Всі ці процеси в земній корі та на поверхні викликають структурне перегрупування та зміни в мінералах і породах з ураном, які супроводжуються взаємними переходами з одного стану в інший і, відповідно, зміною фізичних властивостей (щільності та ін.). Вітчизняні [4-6] і закордонні [7] вчені виділяли зони гіпергенезу за різними принципами, але визнавали відмінність умов хімічних реакцій з кислотним вилуговуванням та відновлювальним оглеюванням. Певну систематизацію зон гіпергенезу уранових родовищ, їх поділом за типами геохімічних бар'єрів і ділянками вторинного збагачення виконали [4, 6] та інші.

Геохімічні бар'єри – це ділянки зони гіпергенезу, де відбувається різке зменшення інтенсивності міграції урану і, відповідно, його концентрація. Розрізняють такі види бар'єрів: біогеохімічні, фізико-хімічні, механічні. Класифікація перших з них ще не розроблена, але вже є дослідження



мікробіологічної адсорбції і бактеріального вилуговування уранових руд із середнім і низьким вмістом урану в породах.

Таблиця 1 - Зони гіпергенезу первинних уранових родовищ

Тип первинних родовищ	Зони гіпергенезу
Силікатно-уранові	Зберігається первинна мінералізація руд, зони вторинного збагачення немає
Сульфідно-уранові	Зони слюдок; присутня потужна зона вторинного збагачення
Настуран-нордизитові	Вторинні молібдато-ураніли, зони вторинного збагачення можуть бути, а можуть не бути
Первинні свинцеві	Присутня зона окислення свинцево-фосфорно-уранових мінералів, первинні руди і зона вторинного збагачення урану відсутні
Уранові в гранітах	Зона окислення представлена потужними зонами слюдок, первинна уранова мінералізація як і зона вторинного збагачення відсутні

Ця технологія кучного вилуговування некондиційних руд і радіоактивних порід за допомогою тіонових бактерій. Вона має перспективи для широкого застосування в умовах України. Найбільше вивчені фізико-хімічні бар'єри, серед яких виділені: окислювальні, відновлювальні (сульфідний і глейовий), адсорбційний та інші. Для урану найбільше значення мають два бар'єри: відновлювальний сірководневий і глеєвий. Окислювальні бар'єри виникають на ділянках зміни умов відновлення на окислення, а також переходу та зростання інтенсивності обох процесів. Головним агентом окислення є вільний кисень та його водні сполуки. Напрямо окислювальних процесів залежить від складу руд (сульфідні – піритові створюють кисле середовище розкладання і мало сульфідні – з лужним середовищем окислення). В першому випадку виникають комплексні сполуки типу  $(\text{UO}_2)(\text{SO}_4)_2^{2-}$  або  $(\text{UO}_2)(\text{SO}_4)_3^{4-}$ , які легко переходять у розчин і мігрують з верхніх частин родовища. Але частина урану в зоні окислення здатна затриматись за умови присутності фосфорної, миш'якової і ванадієвої кислот з утворенням подвійних солей. Безсульфідні та мало сульфідні уранові руди, окислюючись у лужному середовищі, утворюють легкорозчинні гідрооксиди урану, комплексні карбонати і бікарбонати з ураном – про їх міграцію у наступному розділі.

У відновлювальному середовищі формуються два види бар'єрів: сульфідний і глеєвий. Мінералого-геохімічні ознаки глеєвого перетворення порід і руд не такі виразні, як прояви сульфідних процесів, але фіксуються появою новоутворених мінералів закисного заліза – сидериту, хлориту, гідрослюд. Нерідко спостерігається поєднання кількох бар'єрів, так званих комплексних (наприклад глеєво-сорбційний), які виникають зі зміною тектонічних чи кліматичних умов.

При окисленні нессульфідних чи мало сульфідних уранових руд у лужному середовищі утворюються легкорозчинні гідрооксиди складу  $\text{UO}(\text{OH})$ . Процеси оглеювання добре проявлені та вивчені на гідрогенних родовищах урану в осадових породах. Глеєві води для урану, є середовищем як міграції, так і

осадження. Кислі глеєві процеси характеризують початок багатостадійних змін в рудах і породах. На схилах Українського щита і в прилеглих прогинах спостерігаються ділянки з ґрунтовим і пластовим оглеюванням відкладів. По ходу процесу відновлене залізо забарвлює породи в червоний колір, який поступово втрачається – оглеєні породи відбілюються, формується зональність.

Гіпергенетичну зональність зумовлює спочатку відновлення та оглеювання порід, а потім, по мірі дії циркулюючих у них вод, іде розвиток процесу вибілювання (аргілізації), який супроводжується інтенсивним окисненням органічної речовини, каолінізації, окремнінням, кальцитизацією і подібними. До цього етапу належить і уранова мінералізація. В умовах окиснення основним процесом концентрації урану в осадах є сорбція.

Родовища урану, пов'язані з процесами оглеєння, формуються як результат інфільтрації низхідними водами, так і в процесі міграції висхідних глибинних, збагачених газами- відновлювачами. У різко відновлювальних умовах уран представлений уранінітом, настураном, кофінітом і тонкодисперсними включеннями оксидів в органічній речовині. Поява оксидів і гідрооксидів заліза в тріщинах викликана окисненням катіонів заліза ( $Fe^{+2}$ ) в розчинах і осадами лімоніту, гетиту, гематиту або магнетиту; відкладення карбонатів Ca, Mg і Fe та гідролюд пов'язане зі зменшенням кислотності води, а випадіння кремнезему, навпаки, зі збільшенням кислотності.

### **Висновки.**

Дослідженнями типових рудних полів встановлено – гіпергенез в породах стадійний із змінами асоціацій мінералів. Відповідно:

- зона окислення гранітів, альбітитів Кіровоградського району, в якій породотвірні мінерали зазнають вилуговування, змінюється зоною відновлення; у зонах окислення рудних тіл як у кислому, так і в лужному середовищі в поверхневому шарі уран присутній у вигляді силікатів. У нижніх частинах зони окислення сульфідних родовищ розвиваються уранові слюдки, а в таких самих частинах зони окислення безсульфідних родовищ виникають гідроокси урану;

- в зоні відновлення внаслідок реакції із флюїдів випадають луґи - відкладаються альбіт і кальцит, а на відновлювальних бар'єрах – уранініт. Ці реакції ідуть зі зростанням кислотності та зменшенням пористості і проникності порід;

- в осадових породах провідними також є окисно-відновлювальні процеси з утворенням сірководневого і глейового бар'єрів, менше значення мають лужний, сорбційний та інші процеси.

- встановлено вплив ураніл-карбонатних комплексів (активізація їх руху) на концентрацію продуктивних компонентів, провідними концентраторами є уранініт і бранерит;

- уранові родовища центральної смуги УЩ належать до формації лужних метасоматитів, характерною особливістю яких є кремній-калієвий, натрієвий типи метасоматозу із смугами мікроклінітів, мікроклін-альбітових і альбітитових метасоматитів.

### Список літератури

1. Нечаєв, С.В., Семка, В.О. (2012). Рудоносные метасоматиты центральной части Украинского щита (УЩ) (прогнозно-поисковое значение) *Геохімія та рудоутворення*, (31-32), 12-23.
2. Шаталов, М.М. (2015). Уран надр України : геохімія урану та історія створення мінерально-сировинної бази. *Вісник НАН України*, (10), 50-59.
3. Баранов, В.А., Маметова, Л.Ф., Коровін, В.Ю. (2020). Моделирование метасоматозу в радиогенных породах как чинника змінення їх властивостей. *Геофизический журнал* (1, (42)), 86-95. DOI:10.24028/gzh.0203-3100.v42i1.2020.195478
4. Фомин, Ю.А., Демихов, Ю.Н., Сущук, Е.Г. (2010). Система урановорудных альбититов как потенциальный источник поверхностных месторождений урана и/или техногенной опасности. *Зб. наук праць інституту геохімії навколишнього середовища*, 31-49.
5. Михальченко, І.І. (2018). Геологія рудних полів і родовищ Центральноукраїнського урановорудного району: автореф. дис. докт. геол. наук: 04.00.11 – геологія металевих і неметалевих корисних копалин. *Київ*: 45 с.
6. Сущук, Е.Г. (2010). Рудообразующая роль процессов оглеения в осадочных формациях Украины. *Зб. наук праць інституту геохімії навколишнього середовища*, 50-58
7. Калберт, Р.Р. Бойл, Д.Р. Левинсон, А.А. (1987). Поверхностные месторождения урана в Канаде. *Материалы по геологии урановых месторождений зарубежных стран. Москва*, (38), 83-105.

## МЕТОД ТА ПРИСТРІЙ ВІДБОРУ І ПІДГОТОВКИ ПРОБ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ САМОЗАЙМАННЯ ВУГІЛЛЯ

<sup>1</sup>*Пащенко П.С.*

<sup>1</sup>*Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України*

**Анотація.** В даній роботі розглянуто метод відбору та подрібнення вугілля, пристрій для відбору та подрібнення вугілля, які були опробувані на шахтах Донбасу. Вони дозволяють досягти максимального ефекту при підготовці проб вугілля для подальших досліджень визначення схильності вугілля до samozаймання. Методи та пристрої прості в експлуатації, економічно вигідні, відповідають техніці безпеки та легкі у використанні.

**Вступ.** Самозаймання вугілля, яке фіксується як в природних, так і промислових умовах, виникає в результаті сукупності дії чинників різного генезису. При виникненні поблизу поверхні, негативно впливає на навколишнє середовище, а в умовах підземного гірничо-видобувного підприємства створює загрозу життю людей та призводить до знаних економічних втрат. Було встановлено, що відсутність всебічного та детального аналізу геологічної інформації в сучасних методиках суттєво впливають на достовірність складених прогнозів. Треба відмітити, що існуючі методики не завжди враховують комплекс геологічних чинників, які впливають на samozаймання вугілля. Виходячи з цього існує необхідність розробки методів та способів для більш якісного прогнозу samozаймання вугілля з урахуванням геологічної будови масиву та більш якісного відбору та аналізу проб.

Схильність вугілля до samozаймання визначають газохроматографічним методом, на підставі КД 12.01.04.009-2000 «Схильність до samozаймання вугілля, шахтних порід і відходів вуглезбагачення. Методика визначення», затвердженої Міністерством палива та енергетики України 26 вересня 2000 року [1].

Основними фізико-хімічними властивостями вугілля, що визначають схильність його до самозаймання, є критична температура самозаймання, подрібненість, константа швидкості і тепловий ефект окислення.

У даній методиці запропоновано комплексний показник схильності вугілля до самозаймання, фізичний зміст якого є необхідний час для досягнення вугіллям критичної температури самозаймання при певній його подрібненості, константи швидкості і тепловому ефекті окислення. При цьому передбачається, що процес окислення протікає в адіабатичних умовах.

Для виконання розрахунків вище вказаних показників треба в першу чергу якісно відібрати проби та виконати подрібненість вугілля.

Вищезгадане стало підставою для розробки методів та пристроїв для відбору та подрібнення вугілля.

### Методи.

Суть способу відбору проб вугілля для визначення його схильності до самозаймання [2] полягає в тому, що в гірничій виробці обирається вихідна точка, якою є геологічне порушення або зміна морфології пласта. Від даної точки виконується відбір проб масою 0,15-0,20 кг, за схемою по 10 шт в лівий і правий бік від вихідної точки, відстань між пробами 1,0-1,5 м. (Рис.1) Кількість проб обумовлена тим, що це дозволить визначити максимально порушене вугілля і цю пробу буде використано для подальшого визначення схильності вугілля до самозаймання. Відстань між пробами обумовлена технічними характеристиками гірничої виробки та відстанями між кріпленням і затяжками. Таким чином, забезпечується підвищення експресності відбору вугільних проб і як наслідок, зменшення вартості і трудомісткості подальших досліджень.

Представлений спосіб дозволяє виконати якісний відбір проб вугілля з вуглепородного масиву для подальшого дослідження його схильності до самозаймання.

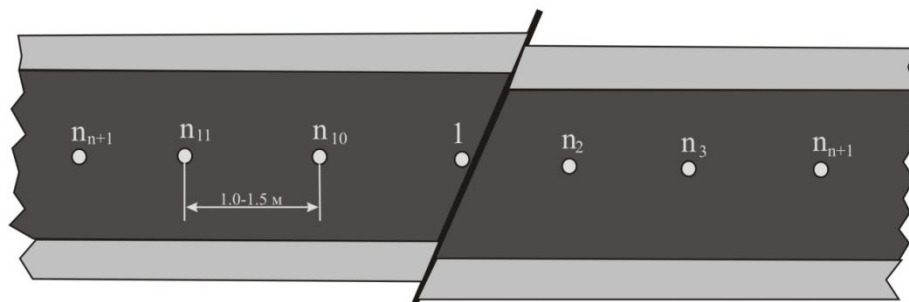


Рисунок 1 – Схема відбору проб у вугільному масиві

Для забезпечення якісного відбору проб був розроблений ручний пристрій для відбору точкових вугільних проб в гірничих виробках [3]. Суть пристрою полягає в наступному: його застосування не вимагає електричного або пневможивлення, він застосовується в гірничих виробках закритих кріпленням або затяжками, за рахунок довжини рукоятки і пробовідбірника (Рис.2). Для відбору проби не треба чіткої видимості вугільного пласта. Матеріал проби не подрібнюється в бурову муку. Таким чином, розроблений ручний пристрій

дозволяє, не розбираючи кріплення або затягувань проникнути до місця відбору проби. За допомогою удару по тильній стороні молотком пристрій проникає в вугілля і вугільна речовина залишається в пробовідбірнику. Таким чином, пристрій дозволяє виконати відбір проб з вуглепородного масиву в гірничій виробці, за рахунок конструктивних особливостей, підвищується експресність відбору вугільних проб, і, як наслідок, він економічно вигідний, простий у використанні.

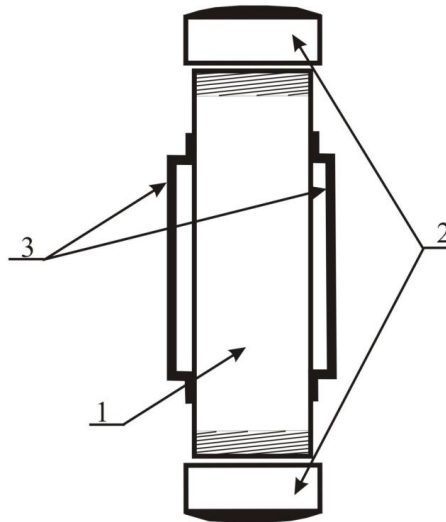
Представлений пристрій дозволяє зробити оптимальний відбір проб з вуглепородного масиву в гірничій виробці. Пристрій простий у використанні, легко переноситься і відповідає техніці безпеки, економічно вигідний і доступний.



1 – ударна сторона, 2 – пробовідбірник

Рисунок 2 – Схема ручного пристрою для відбору точкових вугільних проб

Для подрібнення вугільних проб був розроблений ручний пристрій [4], який не вимагає електричного живлення, він застосовується в лабораторних умовах. Для подрібнення проби використовується рух млина в одному напрямку (рис.3).



1 – пробоприймач, 2 – обмежувачи, 3 – ручки

Рисунок 3 – Ручний пристрій для подрібнення вугільних проб

Проба подрібнюється по природній порушеності. Таким чином, розроблений ручний пристрій дозволяє, роздробити пробу по природній порушеності, досягаючи максимального виходу подрібненого матеріалу. Пристрій дозволяє виконати подрібнення вугільних проб в лабораторних умовах, за рахунок

конструктивних особливостей підвищується експресність подрібнення вугільних проб, і, як наслідок, він економічно вигідний, простий у використанні.

Представлений пристрій дозволяє зробити подрібнення вугільних проб в лабораторних умовах. Пристрій простий у використанні, легко переноситься і відповідає техніці безпеки, економічно вигідний і доступний.

Шляхом зміни типу подрібнення вугілля на ударний, був вдосконалений метод рунування вугільних проб для визначення схильності до самозаймання [5]. Шляхом подрібнення вугілля за допомогою ударного млина проба масою 0,3 – 0,4 кг рунується за природною порушенністю при ударі частинок одну об одну, досягаючи максимального подрібнення на дев'ять фракцій, кожна з яких зважується, що дозволяє визначити фізико-механічні характеристики, які впливають на здатність вугілля до самозаймання, визначають подрібнення по формулі

$$D = \frac{d}{a} \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{d_i},$$

де  $D$  – показник подрібнення вугілля;  $d$  - середній діаметр вихідних частинок вугілля, мм;  $a$  - вихідна маса вугілля, кг.

Представлений спосіб дозволяє виконати подрібнення проб вугілля за природною порушенністю, для визначення фізико-механічних характеристик вугілля та подальшого дослідження його схильності до самозаймання.

**Висновки.** В даній публікації представлені методи та пристрої, які були опробовані на шахтах Донбасу, а саме ПРАТ «ШУ «ПОКРОВСЬКЕ», ТОВ «Краснолиманське», ВП «Шахта Торецька»» ДП «Торецьквугілля». Данні методи та пристрої викладені в хронологічній послідовності по використанню, що дозволяє досягти максимального ефекту при підготовці проб вугілля для подальших досліджень для визначення схильності вугілля до самозаймання. Методи та пристрої прості в експлуатації, економічно вигідні, відповідають техніці безпеки та легкі у використанні.

### Список літератури

1. НИИГД (2000). Схильність до самозаймання вугілля, шахтних порід і відходів вуглезбагачення. Методика визначення КД 12.01.04.009-2000. *Донець: НИИГД*, 85.
2. Булат, А.Ф., Яценко, І.О., Баранов, В.А., Пашенко, П.С., ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України. (2017). Спосіб відбору проб вугілля для визначення його схильності до самозаймання *Пат. № 124530. E21B 49/00 G01N 1/00 (2018)*. u201711373 заявл. 20.11.2017; опубл. 10.04.2018, Бюл. №7, 4с.
3. Булат, А.Ф., Яценко, І.О., Баранов, В.А., Пашенко, П.С., ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України (2017). Ручний пристрій для відбору точкових вугільних проб в гірничих виробках *Пат. № 124524. E21B 49/10 G01N 1/04 (2018)*. u201711359; заявл. 20.11.2017; опубл. 10.04.2018, Бюл. №7, 4с.
4. Булат, А.Ф., Яценко, І.О., Баранов, В.А., Пашенко, П.С., ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України (2019). Ручний пристрій для подрібнення вугільних проб. *Пат. № 140209. B02C 19/00 G01N 1/28 (2020)*. u201907635; заявл. 08.07.2019; опубл. 10.02.2020, Бюл. №3, 5с.
5. Булат, А.Ф., Яценко, І.О., Баранов, В.А., Пашенко, П.С., ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України (2019). Спосіб подрібнення вугільних проб для визначення схильності до самозаймання. *Пат. № 140208. G01N G01N19/08 G01N3/34 G01N33/22 (2020)*. u201907634 заявл. 08.07.2019; опубл. 10.02.2020, Бюл. №3, 5с.

## REGULARITIES OF SEGREGATION AND SEDIMENTATION OF ROCK PARTICLES IN SLUDGE ACCUMULATORS

<sup>1</sup>*Bubnova O.A.*

<sup>1</sup>*Institute of Geotechnical Mechanics by named M.S. Polyakov of the National Academy of Sciences of Ukraine*

Sludge collectors are potential technogenic deposits. Numerous studies have established that sludge reservoirs contain various minerals and useful components, sometimes their concentration is higher than in natural deposits.

In this connection, the scientific interest is the question - how exactly the particles containing useful components are separated and deposited near the storage tank, which will allow controlling the processes of formation of technogenic deposits.

For this it is necessary to study the processes that occur in the sludge storage during the accumulation and accumulation of sludge.

In general, the following processes take place in the sludge storage: release, movement, deposition, compaction, cementation.

The pulp enters the sludge storage through the slurry outlet and moves in the direction of the slope of the surface. The heaviest particles are deposited, the rest of the mass moves on. Then heavy particles are deposited again and so cyclically to the end of the sludge storage. Since the process of filling the sludge storage is continuous, the new pulp also precipitates particles at each stage, so the previously deposited particles are compacted, and then under the influence of other factors is their cementation. A simplified diagram of these processes are shows on Figure 1.

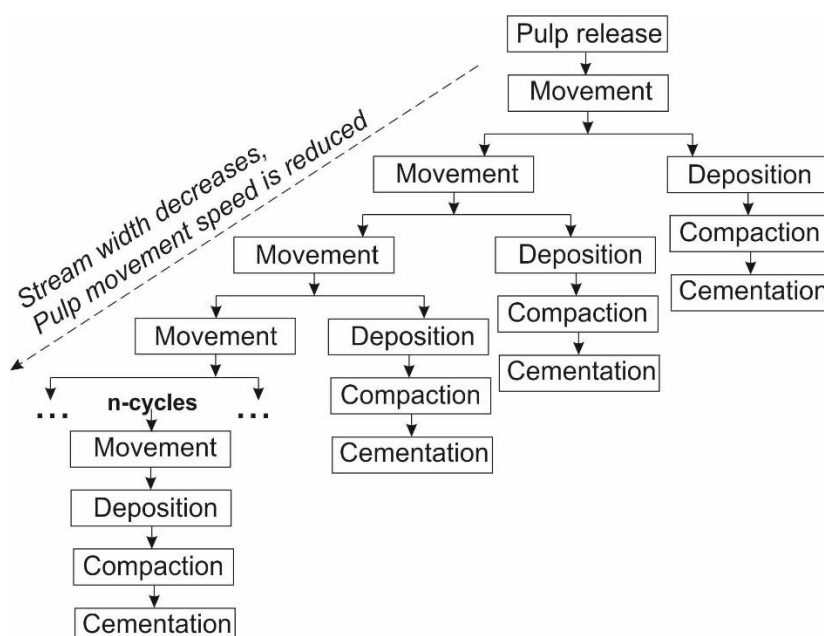


Figure 1 - Simplified scheme of processes occurring in the sludge storage when filling it with sludge

As you move away from the place of release, a speed decreases. Thus, we can conclude that the distance to which the particles belong is directly proportional to the

energy of the medium that transports them. Accordingly, large particles are usually closer to the release, and fine-grained particles - away from the release.

In addition to size, there is also segregation by weight (density) of the particles. Here is the same relationship: as energy decreases, heavier particles precipitate and lighter fragments continue to be transferred. This results in density sorting.

Deposition occurs when the energy of the transport medium becomes too low to continue the transport process. In other words, if the velocity of the transport medium becomes too low to carry sludge, sediment falls out and precipitates. Thus, the final precipitate reflects the energy of the transport medium.

Compaction occurs with increasing weight of the overlying material. The seal forces the grains to come together, reducing the pore space and removing some of the water contained. Some of this water may contain mineral components in solution, and these components may later precipitate as new minerals in the pore spaces. This causes cementation, which then begins to bind the individual particles together.

It should be noted that in the process of transporting grain (particles) may decrease in size due to abrasion. Accidental abrasion leads to rounding of sharp corners and edges of grains. Thus, rounding of grains gives us an idea of how long the sediment was in the transport cycle.

When modeling the accumulation of waste in sludge storages, it is necessary to take into account the chemical processes occurring in them. In addition, at the same time directly with the solid component of waste in the sludge storage is transported an aqueous part containing solutes (ions), which can also recombine, precipitate, enter into various chemical reactions with accumulated sludge and sludge transported.

Based on the above representations of the sludge deposition movement, it can be concluded that successive events of sedimentation create layers called stratification or stratification, which are the most obvious feature of sedimentary rocks (sludge accumulation occurs in the same way as sedimentary rocks). Layering may be due to differences in material color, grain size differences, or differences in mineral content or chemical composition. All these differences may be related to differences in the technological process at the concentrator, in the differences in the parameters of pulp production, deposition parameters, and so on.

The shapes of the layers are related to the flow rate and the size of the sediments.

Consider the factors that affect the transfer and deposition of sediment.

Alteration of sediment transport can occur due to changes in water consumption, water level, weather events and human impact.

Whether the sludge will be washed away, transferred or precipitated depends on the particle size and water flow rate.

For each of the streams there are several main variables that affect the rate of sediment transfer

$$q_s = f(\tau, h, D, \rho_p, \rho_f, \mu, g)$$

where  $q_s$  - the sediment transfer rate per unit width;  $\tau$  - the bias voltage;  $h$  - depth;  $D$  - the diameter of the particle;  $\rho_p$  - particle density;  $\rho_f$  - the density of the liquid;  $\mu$  - water viscosity;  $g$  - the gravitational constant.



Thus, knowing these variables, you can calculate the required flow rate for controlled sedimentation.

Water flow, also called pulp, is the most important element of sediment transport. The water flow is responsible for collecting, moving and settling sediments in the waterway. Without flow, precipitation may remain suspended or settle, but it will not move downstream. The flow is required to initiate the transfer.

There are two main ways to calculate the flow. Water consumption can be simplified as the area  $S$  (cross section of the waterway) multiplied by the velocity  $v$ , or as the volume of water  $V$  moving with time  $T$

$$Q = S \cdot v, m^3/sec$$

$$Q = \frac{V}{T}, m^3/sec$$

Equations describing the relationship between water flow and sediment transport are a bit more complicated. The complexity of sediment transport rate is due to the large number of unknowns (eg, layer geometry, size, shape and concentration of particles), as well as multiple forces acting on the sediment (eg, relative inertia, turbulent vortices, velocity and directional fluctuations). Sediment transfer rate, in particular, is difficult to measure, as any measurement method will disturb the flow and thus change the readings. Most flow rate and sediment transfer equations try to simplify the scenario by ignoring the effects of channel width, channel shape and curvature, sediment adhesion, and heterogeneous flows.

The two main flow factors during sediment transport are the deposition rate and shear stress in the boundary layer. The deposition rate (also called Stokes deposition) is the rate at which the precipitate falls through the liquid, and it is controlled by the force of resistance (maintenance of the weighted particle) and gravitational (particle size function). Understanding this relationship helps to determine some of the forces that must overcome the transfer of sediment, depending on the particle size. Thus, the sedimentation rate is equal to

$$v_s = \frac{g \cdot (\rho_p - \rho_f) \cdot D_p^2}{18\mu}$$

where  $v_s$  - the sedimentation rate;  $g$  - gravity constant;  $\rho_p$  - particle density;  $\rho_f$  - the density of the liquid;  $D_p$  - the diameter of the particle;  $\mu$  - the viscosity of the liquid.

Resistance stress and shear stress are related by the relationship

$$\tau^* = \frac{\tau}{g \cdot (\rho_p - \rho_f) \cdot D_p}$$

where  $\tau^*$  - rotection stress;  $\tau$  - the bias stress;  $g$  - the gravitational constant;  $\rho_p$  - particle density;  $\rho_f$  - the density of the liquid;  $D_p$  - particle diameter.

Thus, knowing these variables, you can calculate the required flow rate for controlled sedimentation.

## РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ГІДРОМЕХАНІЗАЦІЇ ДЛЯ ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СХОВИЩ ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ

<sup>1</sup>Медведєва О.О., докт. техн. наук, <sup>1</sup>Сімес В.Є., аспірант

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, м. Дніпро, Україна

**Анотація.** В роботі виконано аналіз роботи гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу та на основі проведених досліджень зведено в таблицю параметри штучних сховищ відходів збагачення. Встановлено, що сталий розвиток Криворізького залізорудного басейну неможливий без надійного та ефективного функціонування комбінатів з належною площею територій для складування продуктів переробки мінеральної сировини.

**Вступ.** Криворізький залізорудний басейн є найбільшим в Україні, в якому видобувається більше ніж 80% залізорудної сировини і виробляється понад 20% металургійної продукції в Україні. У басейні сконцентровані основні підприємства гірничо-видобувної промисловості: п'ять найбільших гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) з десятьма кар'єрами глибиною понад 300 м і 17 шахт з видобутку залізних руд глибиною від 80 до 1300 м. Залізорудні родовища Кривбасу є комплексними за своїм складом, кожне з них складено двома-трьома типами залізних руд і супутніми нерудними корисними копалинами. У Кривбасі за різними оцінками [1-3] в відвалах розкритих порід міститься до 13 млрд т порід розкриття, а в сховищах відходів збагачення (СВЗ) (табл. 1) накопичено за період експлуатації залізорудних комбінатів понад 7 млрд т відходів збагачення бідних залізних руд.

Таблиця 1 – Параметри СВЗ ГЗК Кривбасу

Назва СВЗ	Висота дамб, м	Площа, га	Ємність сховища, млн.м <sup>3</sup>	Дебіт відходів, млн.м <sup>3</sup> /рік
«Войкове» Південного ГЗК	от 50 до 74	250	156,5	11,50
«Об'єднане» Південного ГЗК та АрселорМітталл	от 40 до 59	от 350 до 550	320,0	6,50
«Миролюбівка» АрселорМітталл	55	479	107,0	10,60
Інгулецького ГЗК	112	736	379,0	4,52
Центрального ГЗК	10	170	290,0	7,00
Північного ГЗК	76	1293	466,0	8,84

Сталий розвиток Криворізького залізорудного басейну неможливий без надійного та ефективного функціонування ГЗК з належною площею територій для складування продуктів переробки мінеральної сировини. Ці підприємства розташовані в межах міста Кривий Ріг, де відсутні вільні ділянки землі для складування продуктів переробки мінеральної сировини. Тому вільних ділянок для нових СВЗ не існує, а більшість сховищ на сьогодні вже заповнені майже повністю. Таким чином для забезпечення ефективної експлуатації хвостосховища необхідно насамперед вирішити питання зі збільшенням їх ємності.

**Мета роботи** – визначення та обґрунтування способів подовження терміну експлуатації СВЗ для забезпечення ефективного функціонування ГЗК.

**Результати досліджень.** Видобуток техногенних покладів, що сформовані при складуванні відходів переробки мінеральної сировини в штучних СВЗ, в роботі розглядається як інструмент для забезпечення надійності функціонування підприємства за рахунок звільнення додаткового простору в СВЗ. В даному випадку параметри техногенних родовищ є головними факторами при визначенні режимів процесів гідротранспортування та складування продуктів переробки мінеральної сировини, що виконуються з метою подовження терміну експлуатації СВЗ та поновлення їх акумулюючої здатності.

Основна ідея модернізації, що рекомендується за результатами проведених досліджень, полягає в обґрунтуванні напрямку повторної переробки відходів та вилучення додаткового обсягу концентрату, який потрапив у відходи збагачення, та осів на ділянці пляжу біля дамби обвалування, з подальшим складуванням на цьому місці нових відходів збагачення.

Відома технологія складування відходів збагачення, яка здійснюється з супутнім видобутком техногенних розсипів на кожному ярусі [5], але цей принцип одночасного складування відходів та вилучення техногенних покладів, можна застосувати для декількох ярусів, що актуально для СВЗ, термін експлуатації яких закінчився або добігає кінця (рис.1).

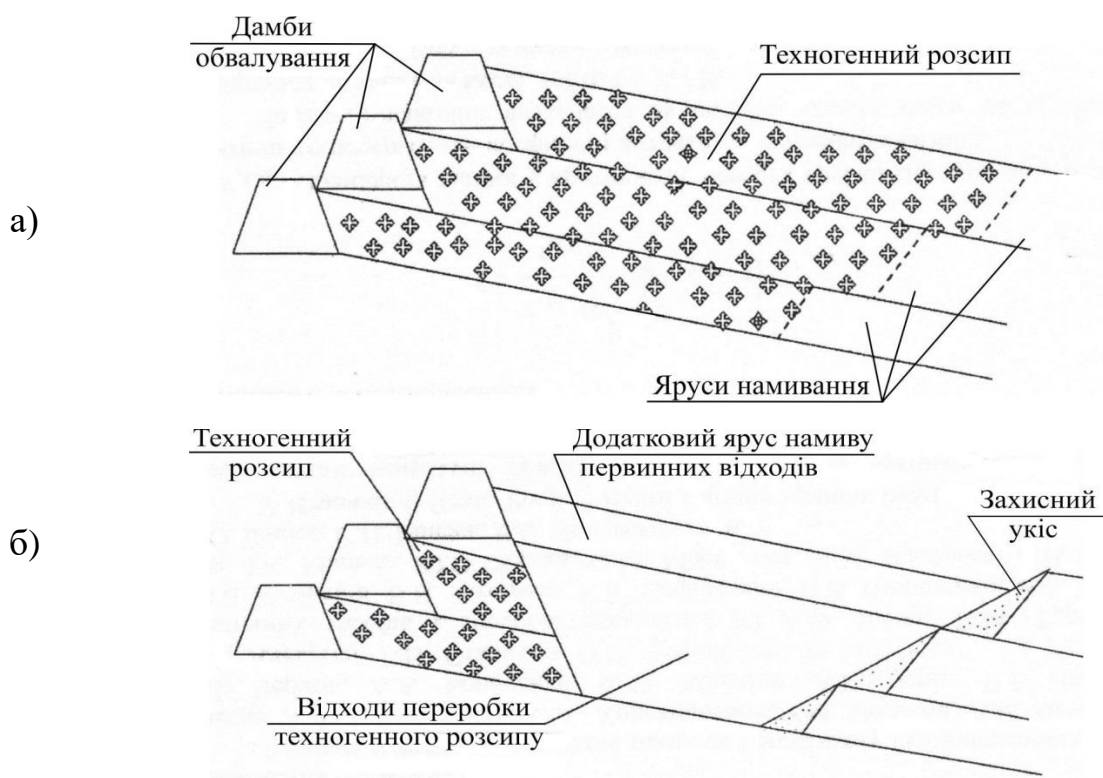


Рисунок 1- Технологія складування додаткового об'єму відходів збагачення після розробки техногенних розсипів на кількох ярусах

У разі застосування такої технології для видобутку техногенних розсипів після виведення СВЗ з експлуатації вона дозволяє скоротити об'єми СВЗ за рахунок переєкскавації дамб обвалування на кінець техногенного розсипу (рис. 2). В цьому випадку гірничі роботи починають з виїмки придамбової частини пляжу верхнього ярусу намивання (рис. 2.а). Потім здійснюють переєкскавацію дамби обвалування на нове місце (рис. 2.б). Після цього, відповідні операції повторюють на наступних ярусах намивання (рис. 2.в, 2.г).

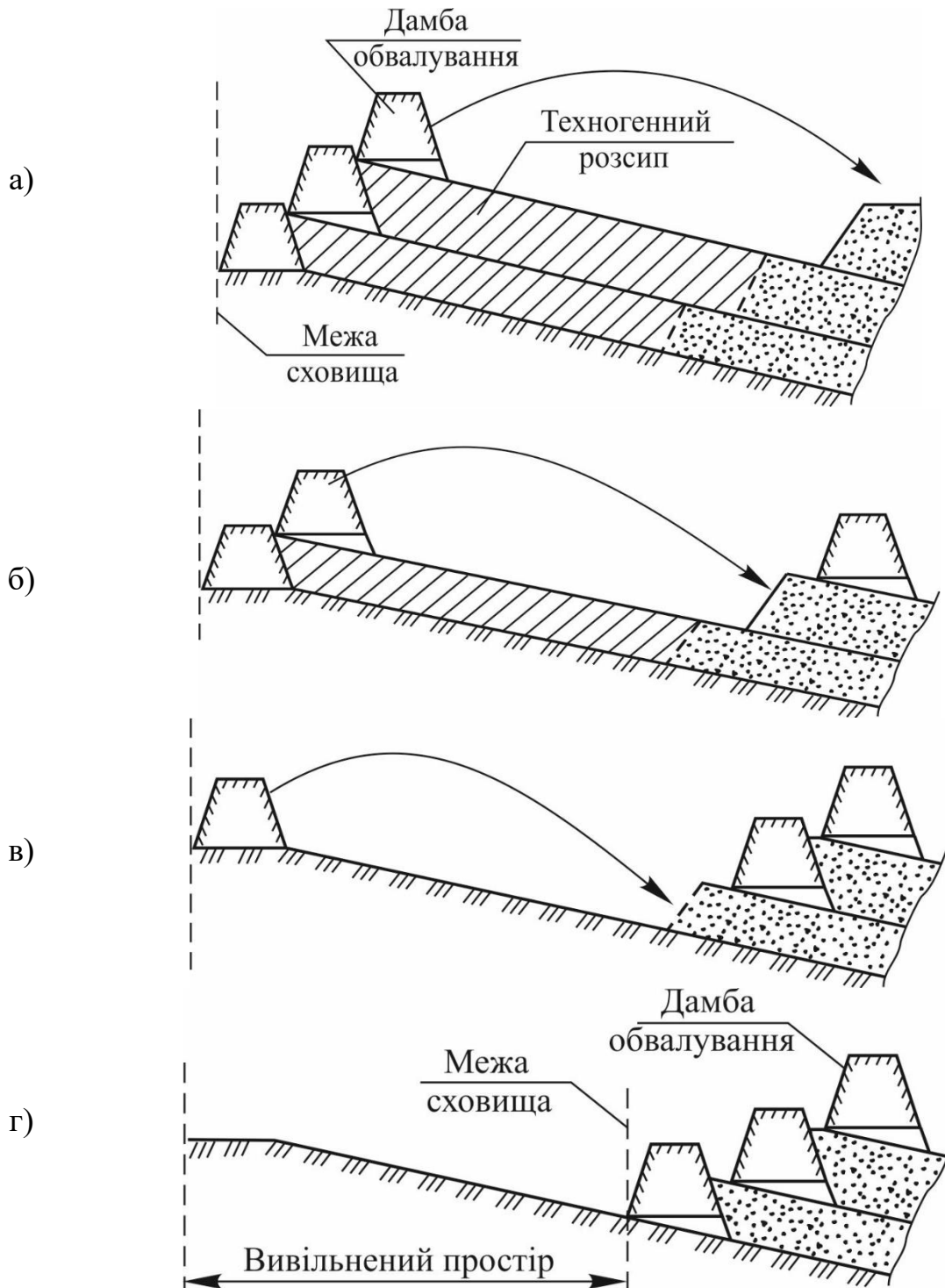


Рисунок 2 - Технологія видобутку техногенних розсипів зі сховищ відходів, які виведені з експлуатації

Загальним є визначення ефективності використання вищезгаданих технологій як відносного об'єму техногенних покладів, які вилучено, тобто частки, яку становить об'єм вилученого техногенного покладу від об'єму ярусів намивання, я яких відбувалося вилучення.

У випадку сховищ відходів, які виведені з експлуатації (рис. 3), для розрахунків ефективності використання вищезгаданої технології та параметрів гірничих робіт можна використовувати залежності, що отримані для умов супутнього видобутку техногенних розсипів на кожному ярусі (рис. 4) [4]

$$w = \frac{\eta - \sigma}{1 - \sigma}, \quad (1)$$

$$W = \frac{2(\eta - \sigma)\sigma}{\sin \alpha} BH^2, \quad W_0 = \frac{2(1 - \sigma)\sigma}{\sin \alpha} BH^2, \quad (2)$$

$$\eta = \sum_{m=1}^M \eta_m, \quad \sigma = \left(1 - \frac{a}{H}\right) \frac{H}{2L} \sin(\alpha - \beta), \quad (3)$$

де  $w$  – ефективність використання технології;  $\eta$  – сумарна частка довжин пляжу, які зайняті техногенним покладом на всіх ярусах, де є видобуток;  $W$  – об'єм техногенних покладів в ярусі намивання;  $W_0$  – об'єм ярусу намивання;  $B$  – довжина ярусу намивання;  $H$  – товщина ярусу намивання;  $a$  – перевищення гребеня дамби обвалування над намитим пляжем;  $L$  – довжина пляжу;  $\alpha$  – кут нахилу зовнішнього укосу дамби обвалування до горизонту;  $\beta$  – кут природного укосу частинок техногенного розсипу;  $M$  – кількість ярусів намивання, на яких ведеться розробка техногенного розсипу;  $\eta_m$  – частка довжини пляжу, яку займає техногенним покладом, на  $m$ -м ярусі;  $\sigma$  – безрозмірна товщина ярусу намивання.

У випадку сховищ відходів, які виведені з експлуатації (рис. 3), техногенні поклади вилучаються повністю, а тому формули (1) – (3) відповідають дійсності. А якщо технологія складування відходів збагачення з супутнім видобутком техногенних покладів використовується для кількох ярусів одночасно (рис. 1.а), то повністю техногенні поклади вилучають тільки на верхньому ярусі, а на кожному наступному ярусі, що знаходяться нижче верхнього, частина техногенних покладів залишається, оскільки вони прикриті пустими породами (рис. 1.б, рис. 3)

$$\eta = \sum_{m=1}^M \omega_m \eta_m, \quad (4)$$

де  $\omega_m$  – частка ділянки пляжу, що зайнята техногенним покладом, на  $m$ -м ярусі та не прикрита пустими породами наступного ярусу.

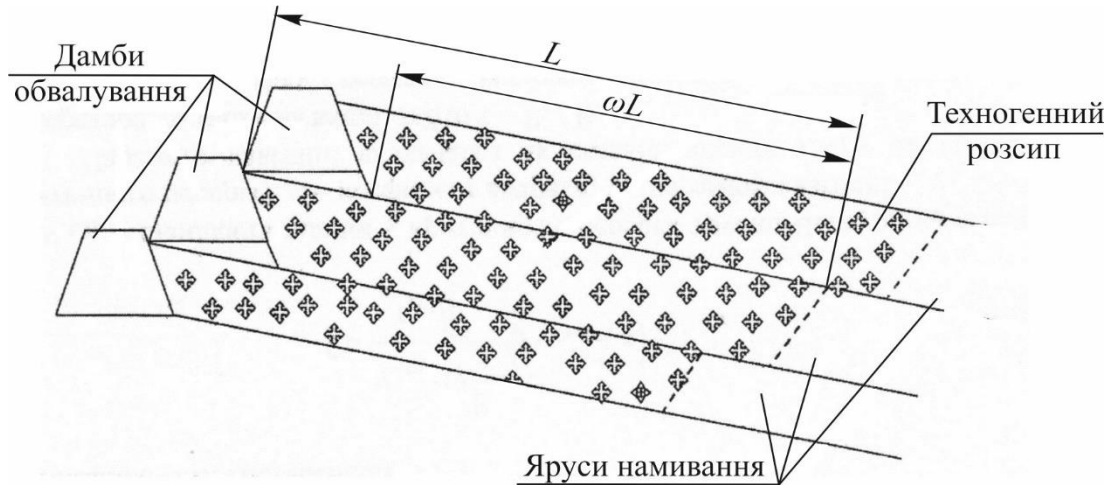


Рисунок 3 - Пояснення втрат частини техногенного покладу при застосуванні технологія супутнього видобутку на кількох ярусах

**Висновки.** Розглянуто технології гідромеханізації, які використовуються при складуванні відходів переробки мінеральної сировини у штучні сховища відходів збагачення, проаналізовано стан сховищ такого типу, їх геометричні параметри, ступінь заповнення та перспективи подальшої експлуатації. На основі встановлених залежностей параметрів процесів, що відбуваються при складуванні відходів збагачення гідравлічним способом, обґрунтовані технологічні рішення по окремому складуванню фракцій відходів збагачення та запропоновано нові технології складування відходів збагачення з супутнім видобутком техногенних розсипів: з видобутком на поточному ярусі; з видобутком на кількох ярусах; з видобутком після виведення сховища відходів з експлуатації.

#### Список літератури

1. Семененко, Е.В. (2011). Научные основы технологий гидромеханизации открытой разработки титан-цирконовых россыпей. *Киев: Наукова думка.* 232 с.
2. Медведева, О.А. (2014). Технологические решения по разработке техногенных месторождений ГОКов Кривбасса. *Форум гірників – 2014: Мат. міжн. конф., жовтень 2014р.* Дніпропетровськ, 2014. 154 – 161.
3. Медведева, О.А. (2012). Анализ и современное состояние хранилищ продуктов переработки минерального сырья. *Збагачення корисних копалин.* №51(92). С. 22 - 29.
4. Махарадзе, Л.И., Гочиташвили, Т.Ш., Криль, С.И. и др. (2006). Трубопроводный гидротранспорт твердых сыпучих материалов. *Тбилиси: Мецниереба.* 350 с.
5. Медведева, О.О. (2021). Развитие научных основ ресурсосберегающих технологий гидромеханизованой розробки техногенних родовищ: Дисертація на здобуття доктора технічних наук, спеціальність 05.15.09 – Геотехнічна і гірнична механіка. *Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.*

## **STUDY OF STEADY VIBRATIONS OF A TWO-MASS VIBRATION MACHINE EXCITED BY A PASSIVE AUTO BALANCER**

*<sup>1</sup>Yatsun V.V. PhD, Associate Professor, <sup>1</sup>Yatsun V.V. PhD, Associate Professor  
<sup>1</sup>Central Ukrainian National Technical University*

Among such vibratory machines as sieves, vibratory tables, vibratory conveyors, vibratory mills, etc., the promising ones are multi-frequency-resonance machines.

Multi-frequency vibratory machines have greater performance, resonance vibratory machines are the most energy efficient, while the multi-frequency-resonance vibratory machines combine the benefits of both multi-frequency and resonance vibratory machines. Therefore, there is a common issue of designing multi-frequency-resonance vibratory machines.

The most effective and simple technique to excite resonance two-frequency vibrations is based on the use of a ball-, a roller, or a pendulum auto-balancer as a vibration exciter. This technique is based on the Sommerfeld effect. The feasibility of this technique was tested analytically in studies. However, given the significant non-linearity of the problems considered, it was not possible to conduct in-depth research and obtain analytical results for the case of a two-mass vibratory machine.

It is relevant to use the results of papers to investigate by analytical-computational methods the steady-state vibrations of a two-mass vibratory machine with a rectilinear translational motion of the platforms.

Two-mass vibratory machines have a series of advantages over single-mass machines. In the two-mass vibratory machines:

- the frequencies of platform oscillations are less dependent on a load mass frequencies;
- it is possible to excite the anti-resonance fluctuations at which platform oscillations are not transferred to the base;
- the resonance modes of motion have large regions of existence and stability;
- it is possible to excite the combined (poly-frequency) resonance vibrations of platforms with the natural vibration frequencies of a vibratory machine;
- the anti-resonance mode of vibratory machine operation is implemented over a wide parameter range, and is less dependent on the mass of a load, etc.

It is proposed in to use a ball-, a roller-, or a pendulum auto-balancer to excite two-frequency resonance vibrations in vibratory machines with different kinematic motion of platforms. It is assumed that this technique is applicable for one-, two-, three-mass vibratory machines.

The technique is based on the Sommerfeld effect. The technique employs a special mode of the motion of balls (rollers) or pendulums, which occurs under small forces of resistance to the motion of loads relative to the casing of the auto-balancer. Under this mode, the loads get together, cannot catch up with the rotor, onto which the auto-balancer mounted, and get stuck at one of the resonance frequencies of the vibratory machine. Slow resonance fluctuations of platforms are excited by load jamming. In addition, the casing of an auto-balancer hosts an unbalanced mass. The unbalanced

mass rotates in sync with the rotor. That excites the rapid fluctuations of platforms. The parameters of two-frequency vibrations change by changing the rotor rotation velocity, the unbalanced mass, and the total weight of the loads.

The vibrations of rotary machines, which are caused by the Sommerfeld effect, were studied in works [1-3]. The effect of jamming a rotor with an unbalanced mass at the resonance frequency of a platform's vibrations using a dynamic system synchronization method was studied in [1]. The use of an airflow to excite the vibrations of the platform by an impeller hosting an unbalanced mass was studied in [12] by using the energy method. The effect of jamming a pendulum freely mounted on the engine shaft on a platform at the resonance platform vibration frequencies was investigated in [3] by using the motion separation method.

It should be noted that the approximate methods applied in works [1-3] made it possible to establish the very fact of a rotor, an impeller, or a pendulum getting stuck at one of the resonance frequencies of the platform oscillations. At the same time, the laws that govern the platform oscillations were defined in the lowest approximation. Therefore, the above approximate methods and the results obtained cannot be used to study the vibrations of a two-mass machine with a vibration exciter in the form of a passive auto-balancer.

The theoretical justification of the feasibility of the method for exciting two-frequency vibrations by passive auto-balancers was addressed in studies [4-7].

Paper [4] developed the generalized models of single-, two-, and three-mass vibratory machines with a translational motion of the platforms and a vibration exciter in the form of a ball-, roller-, or a pendulum auto-balancer. The differential equations of the motion of vibratory machines have been derived.

Study [5] has analytically established the two-frequency modes of the motion of a two-mass vibratory machine with a rectilinear translational motion of the platforms. At the same time, the motions were not investigated because of the complexity to solve this problem analytically. The difficulties are related to the significant non-linearity of the considered problem.

To investigate the steady-state vibrations of a two-mass vibratory machine, excited by a passive auto-balancer, one can apply the analytical-numerical methods developed in [6, 7] using an example of the single-mass vibratory machines. It was shown in [6] that the various steady-state motions of a single-mass vibratory machine acquire or lose stability only at the bifurcating points. In [7], the task of studying the steady-state modes of the motion of a single-mass vibratory machine was solved parametrically and using computational methods.

The generalized model of a two-mass vibratory machine is shown in Fig. 1 [4]. The vibratory machine consists of two platforms of masses  $M_1$  and  $M_2$ , forming an angle  $\alpha$  with the horizon. Each platform is held by external elastic-viscous supports with a rigidity coefficient  $k_i$  and a viscosity coefficient  $b_i$ ,  $/i=1, 2/$ . The platforms are connected via an inner elastic-viscous support with a rigidity coefficient  $k_{12}$  and a viscosity coefficient  $b_{12}$ .

The direction of the platform motion forms angle  $\alpha$  with the vertical. The coordinates of the platforms  $y_1$ ,  $y_2$  are counted from the positions of the static



equilibrium of the platforms.

The second platform hosts a passive auto-balancer – ball-type, roller-type (Fig. 1b), or pendulum-type (Fig. 1c).

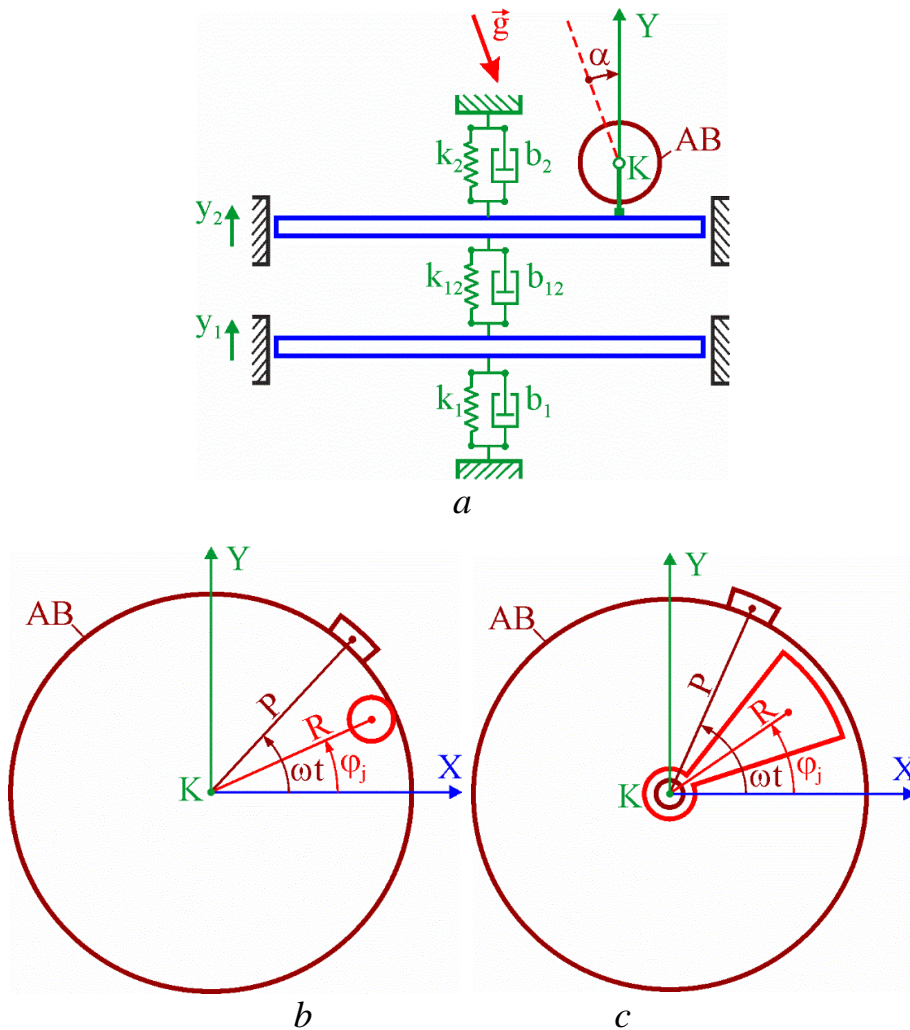


Figure 1 - The generalized model of a two-mass vibratory machine [4]: *a* – the kinematics of platform motion (the scheme is turned at angle  $\alpha$ ); *b* – the kinematics of motion of the unbalanced mass and a ball or a roller; *c* – the kinematics of the motion of the unbalanced mass and a pendulum

The casing of the auto-balancer revolves around the shaft, point  $K$ , at a constant angular speed  $\omega$ .

The point unbalanced mass  $\mu$  is rigidly connected to the casing of the auto-balancer. It is located at distance  $P$  from point  $K$ . The position of the unbalanced mass relative to the casing is determined by the angle  $\omega t$ , where  $t$  is the time.

The auto balancer is made up of  $N$  identical loads. The weight of a single load is  $m$ . The load mass center can move along the circle of radius  $R$  with the center at point  $K$  (Fig. 1b, c). The position of load number  $j$  relative to the casing is determined by the angle  $\varphi_j$ ,  $/j = \overline{1, N} /$ . The load motion relative to the auto balancer's casing is hindered by the force of viscous resistance, whose module is

$$F_j = b_w v_j^{(r)} = b_w R |\phi_j' - \omega|, \quad / j = \overline{1, N} /,$$

where  $b_w$  is a viscous resistance force factor,  $v_j^{(r)} = R |\phi_j' - \omega|$  is the module of the motion speed of the center of the mass of load number  $j$  relative to the casing of the auto-balancer with a bar by the value denoting a time-derivative  $t$ .

The procedure has made it possible to find all possible modes of load jamming, to investigate them, and to assess stability.

The considered vibratory machine has two resonance rotor rotation frequencies and two corresponding shapes of platform oscillations. The use of the procedure has shown that, for the case of small resistance forces, the vibratory machine:

- has five possible modes of load jamming, with the first shape of resonance vibrations of platforms being excited under modes 1 and 2, the second shape – 3 and 4, and, under mode 5, the frequency of load jamming is close to the frequency of rotor rotation;

- demonstrates stable jamming modes under the odd (1,3,5) load jamming modes;

- shows that the jamming modes 1 and 3 are suitable to excite the resonance oscillations of platforms and for industrial application;

- exhibits that increasing the rotor speed monotonously increases the amplitudes of platform oscillations corresponding to a certain jamming mode;

- proves that the amplitude of resonance platform oscillations can be controlled by changing the rotor speed.

The viscous resistance forces acting on the first platform affect the first range of rotor speeds, at which the first resonance shape of platform oscillations is excited. As the resistance forces increase, the first range decreases until the total elimination.

The internal forces of viscous resistance acting between the platforms affect the second range of rotor speeds, at which the second shape of resonance vibrations of platforms is excited. As the resistance forces increase, the second range decreases until the total elimination.

The viscous resistance forces acting on the loads when moving relative to the auto-balancer affect both ranges. As the resistance forces increase, both ranges decrease.

Thus, the two-mass vibratory machine has the following advantages over the single-mass machine:

- a larger number of the resonance modes of platform oscillations

- a larger range of rotor speeds at which the resonance modes are implemented.

It should be noted that the devised procedure has solved an essentially non-linear problem. The procedure is applicable to solve this class of problems for the cases of single-mass and multi-mass vibratory machines at the different kinematics of platform motions. However, the methodology does not make it possible to obtain the analytical results of research. This needs to be compensated for by a large amount of computations, considering the different ratios of smallness between the system parameters.

In the future, it is planned to investigate the steady-state vibrations of a three-mass vibratory machine using the devised procedure.

## References

1. Yaroshevich, N. P., Silivoniuk, A. V. (2013). *About some features of run-updynamic of vibration machines with self-synchronizing inertion vibroexciters*. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 4, 70–75.
2. Kuzo, I.V., Lanets, O.V., Gurskyi, V.M. (2013). *Synthesis of low-frequency resonance vibratory machines with an aeroinertia drive*. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2, 60–67.
3. Artyunin, A.I., Barsukov, S.V., Sumenkov, O.Y. (2020). *Peculiarities of Motion of Pendulum on Mechanical System Engine Rotating Shaft*. ICIE 2019: Proceedings of the 5th International Conference on Industrial, pp. 649–657. doi: [https://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-22041-9\\_70](https://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-22041-9_70)
4. Yatsun, V., Filimonikhin, G., Dumenko, K., Nevdakha, A. (2017). *Equations of motion of vibration machines with a translational motion of platforms and a vibration exciter in the form of a passive autobalancer*. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (1 (89)), 19–25. doi: <https://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2017.111216>
5. Yatsun V., Filimonikhin G., Dumenko K., Nevdakha A. (2018) *Search for the dualfrequency motion modes of a dualmass vibratory machine with a vibration exciter in the form of passive autobalancer*. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(7 (91)), 47–54. doi: <https://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121737>
6. Yatsun V., Filimonikhin G., Podoprygora N., Pirogov V. (2019). *Studying the excitation of resonance oscillations in a rotor on isotropic supports by a pendulum, a ball, a roller*. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (7(102)), 32–43. doi: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.182995>
7. Filimonikhin G., Yatsun V., Filimonikhina I. (2020). *Investigation of oscillations of platform on isotropic supports excited by a pendulum*. E3S Web Conf. 168, 00025, 11. doi: <https://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/202016800025>

## ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ВУЗЛІВ МАШИН УДАРНОЇ ДІЇ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ПРАКТИЦІ СПОРУДЖЕННЯ СВЕРДЛОВИН

<sup>1</sup>Ігнатюк А.О., к.т.н., доц., <sup>1</sup>Аскеров І.К., студ.

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

**Анотація.** Ефективність гідромеханічного способу буріння полягає в значній величині швидкості прикладення руйнівного навантаження, яке за використання гідроударних машин піддається варіюванню в широких межах. Підвищення його продуктивності може бути досягнуте і шляхом вдосконалення інших чинників, супроводжуючих процеси руйнування порід; саме тому одним з практично можливих і технічно здійснених є шлях створення відповідних бурових пристроїв, що комбінують в собі найбільш результативні й ефективні методи дії на порідний масив.

**Вступ.** Свердловини були і залишаються головним засобом пошуку, розвідки й експлуатації різноманітних родовищ корисних копалин, також вони є практично єдиною основою методологічних підходів до вирішення питань, що пов'язані із необхідністю проведення інженерно-геологічних вишукувань та здійснення багатьох операцій, наприклад, стосовно забезпечення ефективної проходки капітальних гірських виробок (вибухові, вентиляційні, дегазаційні, дренажні свердловини) [1]. Вибір способу формування, іншими словами – буріння свердловини, як специфічної гірської виробки, повинен ґрунтуватися на аналізі фізико-механічних властивостей породного масиву. Причому зазначені характеристики є похідною мінералогічного складу конкретної гірської породи, її структури, текстури пористості та ін. До основних властивостей гірських порід,

що безпосередньо впливають на хід процесу буріння (руйнування), можна віднести такі ключові: міцність, твердість, крихкість, абразивність [2]. Проте тут важливо зазначити наступне: величина міцності – властивості порід чинити опір руйнуванню, майже повністю визначається типом деформацій, що покладені в основу реалізованого способу буріння; підтвердженням саме такого стану речей, є дані табл. 1.

Таблиця 1 - Базові механічні закономірності руйнування гірських порід

Тип гірських порід за походженням	Відносна міцність порід при деформації, що є результатом створення			
	одновісного стискування	розтягування	вигину	зрушення
Магматичні	1	0,02 - 0,04	0,08	0,09
Метаморфічні	1	0,02 - 0,1	0,06 - 0,1	0,1 - 0,15

Порівняльні показники табл. 1 свідчать про вельми важливий відносно механіки руйнування факт: міцність порід на сколювання і розрив значно менша, ніж на стискування (зауважимо тут, що останній тип деформації є фундаментальним для декількох, нині широко застосовуваних, способів буріння, показовою рисою яких виступає практично відсутність динамічної складової процесу руйнування); сказане повинно бути основоположним, без усякого перебільшення, критерієм визначення конструктивних параметрів як породоруйнівного інструменту, так і спеціальних поверхневих й вибійних снарядів і двигунів. Не може викликати жодного сумніву, що будь-які техніко-технологічні рішення, які ігнорують вказані ґрунтовні обставини можна свідомо визнавати малоефективними і експлуатаційно непридатними. Одним з провідних шляхів подолання окресленого протиріччя відносно умов й результатів руйнівних процесів, можна вважати можливість створення для гірських порід режиму прикладення динамічних навантажень, які будуть комплексувати в собі найефективніші типи деформацій.

**Мета роботи** полягає в аналізі основних механічних способів буріння, що базуються на використанні переваг динамічних чинників породоруйнівного процесу (в основному ударів), та адаптації відповідних технічних засобів до конкретних технологічних умов.

**Результати досліджень.** Особливим характером відносно як змісту процесу руйнування гірських порід на вибої свердловини, так і технічних засобів його реалізації, володіє ударно-обертальний та обертально-ударний способи буріння, а також їх граничний випадок – ударно-поворотний спосіб, застосовуваний, здебільшого, в породах середніх і високих категорій за буримістю.

Найбільш розповсюдженими буровими машинами, які дозволяють генерувати удари цілком визначеної сили та частоти, є так звані гідро(пневмо)ударники (далі, за текстом, будемо розуміти під терміном «гідроударник» у тому числі і його модифікації для використання стисненого повітря, тобто пневмоударники), принципом дії яких виступає перетворення гідравлічної (для гідроударника) енергії замкнутого потоку краплинної рідини (у відповідності до закону Паскаля) в механічну енергію руху їх виконавчого вузлу – ударника [3].

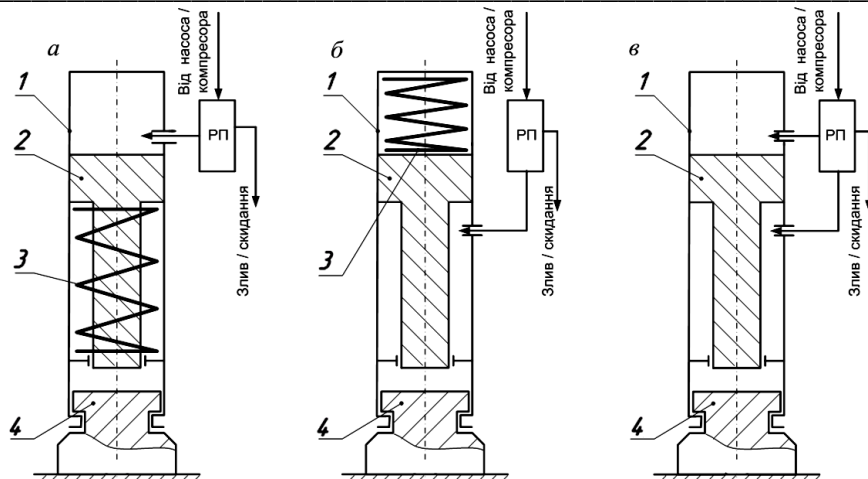


Рисунок 1 – Схеми гідроударників за принципом дії: *а* – прямої, *б* – зворотної, *в* – подвійної; 1 – корпус, 2 – поршень-ударник, 3 – пружина, 4 – ковадло, РП – розподільний пристрій.

Можна виділити занурювані (доставляються у свердловину на бурильних трубах і переміщуються услід за її вибоєм) і незанурювані (розташовуються на денній поверхні і застосовуються, наприклад, для буріння неглибоких свердловин) гідроударники, причому за параметричною класифікацією вони відносяться до гідромеханічних імпульсних систем з рухливим поршнем-ударником, який здійснює періодичні релаксаційні коливання за рахунок спрямованого використання енергії промивальної рідини, що періодично поступає від насоса через спеціальний регулюючий пристрій.

Відповідно до конструктивних особливостей, що їй визначають спосіб спрацьовування гідравлічної енергії потоку рідини в розглядуваних машинах, розрізняють гідроударники прямої, зворотної і подвійної дії (рис. 1).

У машині прямої дії слідством використання гідравлічної енергії рідини є розгін поршня-ударника 2 перед ударом по ковадлу 4 і стискування зворотної пружини 3 (фаза розгону), яка повертає поршень-ударник у початкове положення після нанесення удару (фаза холостого ходу). Машина зворотної дії використовує гідравлічну енергію рідини для стискування пружини 3 і підйому поршня-ударника 2 на фазі холостого ходу, притому розгін поршня-ударника здійснюється за рахунок потенційної енергії стисненої пружини і ваги ударника. Для машини подвійної дії фази розгону і зворотного ходу поршня-ударника здійснюється за рахунок гідравлічної енергії рідини.

Одним з найголовніших виконавчих вузлів гідроударників виступає розподільний пристрій, який використовується для формування наведеного зусилля і регулювання значення рівня енергії, що передається від потоку рідини в коливальну систему. Для переважної більшості конструкцій гідроударників, функції розподільного пристрою виконують різного технічного оформлення клапанні системи, причому в них доцільно розрізняти такі основні елементи: власне клапан – пристрій, що допускає регулювання величини або повне перекриття потоку рідини; і поршень – пристрій, який сприймає перепад тиску, сформований клапаном, та перетворює його в механічний силовий імпульс.

Гідроударники прямої і зворотної дії, зазвичай, мають один клапан, а подвійної – два, причому, в деяких конструкціях гідроударників останнього принципу дії, один клапан замінюється спеціальним дроселем.

В силу різноманіття типів свердловин та геолого-технічних умов їх проведення, розроблена і використовується значна кількість гідроударних машин; зазначене, в свою чергу, дозволило надати чітке формулювання експлуатаційно-технологічних вимог до розглядуваних пристроїв, серед них найбільш вагомими такі: створення ударних навантажень на породоруйнівний інструмент, що забезпечують об'ємне руйнування гірських порід на вибої свердловини; використання як енергоносія промивальної рідини (стисненого повітря); забезпечення стійкої роботи із зростанням глибини свердловини і зміни витрати промивальної рідини (стисненого повітря) в межах технологічного діапазону її регулювання; міцність корпусу і сполучних елементів гідроударника і його ударної системи, з бурильними трубами і буровим снарядом, повинні забезпечувати передачу найбільшого крутного моменту і осьового зусилля, визначуваних технологічним регламентом тощо. Під ударною системою розуміють наступні конструктивні елементи, що передають механічну енергію удару від гідроударника до вибою свердловини: ударник, ковадло, нижній перехідник, колонкова труба з кернорвачем або розширювачем (можуть бути відсутні) і породоруйнівний інструмент (коронка або долото).

Ґрунтовними експериментальними і теоретичними роботами фахівців кафедри нафтогазової інженерії та буріння НТУ «Дніпровська політехніка» переконливо доведено, що гідроударні машини можуть бути з успіхом використані не лише в класичних схемах колонкового або безкернового буріння, а й в інноваційних конструктивних модифікаціях гідромеханічного кулеструминного способу буріння [4]; прикладом цьому може бути конструкція пристрою, схема якої наведена на рис. 2.

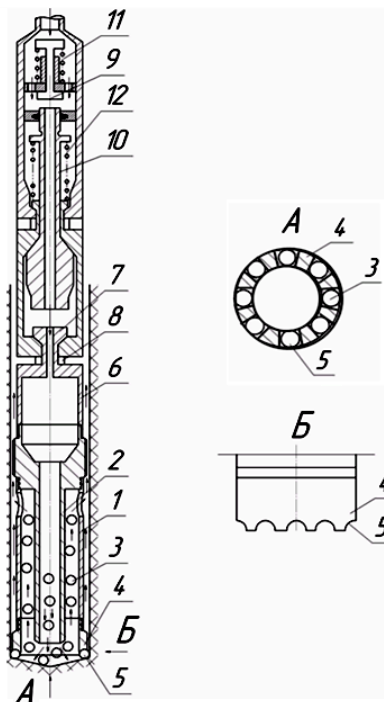


Рисунок 2 – Гідромеханічний кулеструминний пристрій (ГМКП) для буріння



Гідромеханічний кулеструминний пристрій (рис. 2) працює наступним чином: при виникненні циркуляції промивальної рідини у внутрішній частині корпусу 1 починається активний рух породоруйнівних куль 3, які взаємодіють з породою вибою і руйнують її. В привибійній зоні потік промивальної рідини розділяється на дві складових, одна з яких разом із породоруйнівними кулями піднімається уверх до струминного апарату 2, а інша, збагачена продуктами руйнування, виходить в затрубний простір між торцем і корпусом коронки 4 та вибоєм і стінками свердловини відповідно. Наявність коронки 4 в нижній частині пристрою необхідна для формування прямокутного профілю вибою свердловини за рахунок руйнування його криволінійних стінок, виникнення яких обумовлено технологічною схемою буріння та призводить до зменшення механічної швидкості буріння або до повної зупинки процесу поглиблення, особливо в міцних породах. За прямокутної форми вибою свердловини руйнування гірського масиву здійснюється виключно кулеструминним способом, а гідроударник 6 знаходиться у неробочому стані; промивальна рідина, що подається насосом, вільно проходить через відповідно сполучені циркуляційні канали самого гідроударника та струминного апарату 2. Однак із збільшенням кривизни вибою, в периферійній його частині, в контакт вступає акумулююча коронка 4, в пазах якої, за рахунок безперервної циркуляції промивної рідини, та у зв'язку із зменшенням площі промивних каналів встановлюються породоруйнівні кулі. За рахунок механічної взаємодії з криволінійною периферійною частиною вибою свердловини коронка разом із корпусом 1 апарату переміщується уверх. Це в свою чергу призводить до зімкнення шліцьових роз'їмів 8 та перекриття клапаном 9 отвору в поршні 10. Таким чином гідроударник 6 включається до роботи. Під дією миттєвого росту тиску клапан 9 разом із поршнем-ударником 10 з великою швидкістю рухається униз, стискає силові пружини 11 і 12. Поршень-ударник 10 під дією набутої кінетичної енергії рухається униз і в кінці ходу здійснює удар по ковадлу 7 – додаткового конструктивного елемента корпусу 1 струминного апарату 2. Гідроударні динамічні та статичні імпульси передаються корпусом 1 та коронкою на породоруйнівні кулі 3, які утримуються в крізних пазах 5. За рахунок саморегулювання в самому пристрої, передавання постійних ударних імпульсів на породоруйнівні кулі, обертання та осьового навантаження, на вибої свердловини реалізується якнайефективніший механізм руйнування міцних порід, а саме ударно-обертальний гідродинамічний; при цьому кулі 3 руйнують породу на вибої та формують його периферійну зону. При виборі раціональних параметрів режиму буріння можна орієнтуватися на дані табл. 2.

Таблиця 2 - Технологічний режим ударно-обертального буріння за використання ГМКП

Тип гірської породи	Осьове навантаження, кН	Частота обертання, хв. <sup>-1</sup>
Середньої міцності і тверді, середньо абразивні	8 - 10	60 - 70
Теж саме, дуже абразивні	4 - 5	40 - 60

Особливістю розглядуваного пристрою є сполучення окремих його частин, вибір яких та взаємодія створюють новий, не відомий, технічний результат, та дозволяють розширити межі застосування таких пристроїв, навіть до порід надміцного комплексу, що раніше було неможливим.

**Висновки.** Розглянуто основні особливості конструктивних схем гідроударних машин різних принципів дії та їх технологічного супроводження. Показаний механізм взаємодії основних деталей і вузлів модернізованих снарядів гідромеханічного кулеструминного буріння, що забезпечує досягнення оптимальних показників процесу спорудження свердловин.

#### Список літератури

1. Hossain, M.E., & Islam, M.R. (2018). *Drilling engineering: problems and solutions*. Scrivener publishing.
2. Zhang, Z. X. (2016). *Rock fracture and blasting. Theory and applications*. Elsevier Inc. publishing.
3. Davidenko, A.N., & Ihnatov, A.A. (2013). *Abrazivno-mekhanicheskoye udarnoye bureniye skvazhin*. Dnipropetrovsk: Natsionalnyi hirnychiy universytet.
4. Pat. 109273 Ukraine, ICC E21B 7/18. Пристрій для буріння / А.О. Ігнатов. – Publ. 10.08.15.

## МЕТОД ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОСТОРОВИХ КОЛИВАНЬ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ПРИ РУСІ ПО РЕЙКОВІЙ КОЛІЇ НА ОКРЕМИХ ОПОРАХ З ПРУЖНОДИСИПАТИВНИМИ ТА ІНЕРЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

<sup>1</sup>Говоруха В.В., канд. техн. наук, с.н.с.,

<sup>1</sup>Говоруха А.В., <sup>1</sup>Собко Т.П., <sup>1</sup>Семидітна Л.П.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова НАН України, Дніпро, Україна

**Анотація.** Викладено метод досліджень просторових коливань транспортного засобу з колесами, які вільно обертаються на осях колісних пар при русі по рейковій колії на окремих пружних опорах з пружнодисипативними властивостями місць опирання рейок на шпали, а також з вигином рейок між шпалами в вертикальному і поперечному напрямках при проходженні по криволінійних і прямолінійних ділянках колії з інерційними властивостями. Результати роботи можуть бути застосовані для досліджень на залізничному, промисловому і підземному рейковому транспорті.

**Вступ.** У дослідженнях динамічних процесів транспортних засобів і рейкової колії в основу покладено припущення, що рейкошпальна решітка представлена суцільною пружною підрейковою основою відповідно до гіпотези В.З. Власова [1; 2]. Зазначені дослідження можуть бути вдосконалені, якщо враховувати, що рейкова колія у відповідності з реальною конструкцією рейкошпальної решітки представлена з переривчастим опиранням рейкових ниток на окремі опори, а не суцільним опиранням рейок на пружну підрейкову основу. При цьому нерівнопружність уздовж рейкової колії в перетинах шпало-прольотів досягає від 7 до 35%, а нерівнопружність уздовж рейкової колії досягає до 200% [3].



Наведені дані підтверджують актуальність створення нового методу досліджень взаємодії рухомих одиниць і рейкової колії на окремих опорах з пружнодисипативними і інерційними властивостями.

**Метою роботи** є підвищення точності досліджень взаємодії складових виробів транспортної системи за допомогою нового методу досліджень механіки руху транспортного засобу по рейковій колії з окремими пружнодисипативними опорами на заміну існуючого методу досліджень руху по рейковій колії із суцільною пружною підрейковою основою.

**Результати досліджень** в пропонованому методі досліджень руху транспортного засобу по рейковій колії враховуються пружнодисипативні властивості місць опирання рейок на шпали або бруси, а також вигин рейок між шпалами в вертикальному і поперечному напрямках при русі транспортних засобів на прямолінійних і криволінійних ділянках колії, що дозволяє максимально наблизитися до відображення реальних умов експлуатації.

Для складання математичної моделі, яка відображає рух транспортного засобу шляхом довільного обрису в плані, використовувалася одна рухома система координат, а для кожного твердого тіла досліджуваної механічної системи по дві рухливі системи: природна і незмінно пов'язана з твердим тілом [1-4].

В якості узагальнених координат  $q_v$  вибиралися лінійні в поперечному і вертикальному напрямках  $y, z$ , і кутові переміщення  $\vartheta, \varphi, \psi$  твердих тіл, відповідних екіпажу (кузова і ходових його частин), і лінійні переміщення  $u$  і  $z$  твердих тіл, відповідних колії.

Математичні моделі руху досліджуваних систем отримані за допомогою рівнянь Лагранжа II роду. У загальному вигляді рівняння руху розглянутих систем можна представити у вигляді:

$$D_v + \Pi_v + \Phi_v = Q_v, \quad (v = 1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

де  $D_v, \Pi_v, \Phi_v$  – диференціальні оператори, відповідні рівнянням Лагранжа II роду:

$$D_v = \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_v} - \frac{\partial T}{\partial q_v}; \quad \Pi_v = \frac{\partial \Pi}{\partial q_v}; \quad \Phi_v = \frac{\partial \Phi}{\partial q_v}, \quad (2)$$

де  $Q_v$  – узагальнені сили, відповідні узагальненим координатам  $q_v$ ,  $n$  – число ступенів свободи системи,  $T, \Pi, \Phi$  – кінетична, потенціальна енергії і функція розсіювання.

При прийятих вихідних передумовах вираз  $D_v, \Pi_v, \Phi_v$  представлено у вигляді:

$$D_v = f(m, I, q_v, \ddot{q}_v), \quad \Pi_v = f_1(k, q_v) + \Pi_h(q_v), \quad \Phi_v = f_2(\beta, \dot{q}_v) + f_3(F, \dot{q}_v), \quad (3)$$

де  $m, I$  – інерційні характеристики (маси і моменти інерції) твердих тіл системи,  $k_z, k_{zp}, k_{zш}, k_{zo}$ , і  $\beta_z, \beta_{zp}, \beta_{zш}, \beta_{zo}$  – коефіцієнти жорсткості пружних і в'язкості дисипативних елементів відповідно вагона, рейок, шпал і основи колії,  $F_z, F_{zp}, F_{zш}, F_{zo}$  – сили сухого тертя в зв'язках між твердими тілами відповідно вагона, рейок, шпал і основи колії,  $\Pi_h(q_v)$  – складова потенційної енергії, обумовлена зміною висоти центрів ваги твердих тіл при переміщеннях  $q_v$ .

Узагальнені сили  $Q_v$  визначалися як функції сил взаємодії між колесами і рейками  $P_{nj}, F_{ynj}, X_{nj}$  в вертикальному, поперечному і поздовжньому напрямках (тут  $n$  – номер колісної пари,  $j = 1, 2$  – номер колеса  $n$  – ой колісної пари).

Відзначимо відмінні риси визначення сил  $P_{nj}, F_{ynj}, X_{nj}$  для випадків вільної і жорсткої насадки коліс на осі колісних пар.

Сили  $P_{nj}$  діючі на колеса у вертикальному напрямку, в загальних випадках обчислювалися однаково і являють собою суму статичних і динамічних сил, які визначаються через динамічні прогини і їх похідні за часом і через коефіцієнти жорсткості і в'язкості (або сил сухого тертя) елементів ресорного підвішування.

Сили взаємодії коліс з рейками в поперечному напрямку  $F_{ynj}$  визначалися як сума сил псевдоковзання в поперечному напрямку  $y_{nj}$  і сил бічного тиску

гребенів коліс на головки рейки  $W_{nj} = -P_{nj} \frac{dr_{nj}}{dy_{nj}}$ , де  $\Delta r_{nj}$  – збільшення радіусів коліс при їх поперечному переміщенні відносно рейок  $y_{nj}$ .

Дотичні сили взаємодії коліс з рейками (сили псевдоковзання)  $F_{nj}$  знаходилися, виходячи з гіпотези кріпа з урахуванням нелінійної залежності їх від безрозмірних характеристик просковзування, з виразу:

$$F_{nj} = -f_{nj} \varepsilon_{nj} \left[ \left( \frac{f_{nj} \varepsilon_{nj}}{k f P_{nj}} \right)^2 + 1 \right]^{-1/2}, \quad (4)$$

а складові сил псевдоковзання  $X_{nj}, Y_{nj}$  в поздовжньому і поперечному напрямках наступним чином:

$$X_{nj} = F_{nj} \frac{\varepsilon_{xnj}}{\varepsilon_{nj}}; \quad Y_{nj} = F_{nj} \frac{\varepsilon_{ynj}}{\varepsilon_{nj}}, \quad (5)$$

де  $\varepsilon_{nj}, \varepsilon_{xnj}, \varepsilon_{ynj}$  – безрозмірні характеристики просковзування коліс і їх складові в поздовжньому і поперечному напрямках,  $\varepsilon_{nj} = (\varepsilon_{xnj}^2 + \varepsilon_{ynj}^2)^{1/2}$ ,  $f_{nj}$  –

коефіцієнти псевдоковзання, визначаються відповідно з роботами [1-4],  $k_f$  – коефіцієнт тертя між колесами и рейками.

Складові безрозмірних характеристик просковзувань  $\varepsilon_{ynj}$  – визначалися для жорсткої і вільної насадок коліс за формулою:

$$\varepsilon_{ynj} = \frac{1}{V} \dot{y}_{nj}^* - \Psi_{nj}, \quad (6)$$

а складова безрозмірної характеристики  $\varepsilon_{xnj}$  – з виразів:

для жорсткої насадки коліс

$$\varepsilon_{xnj} = (-1)^{j+1} \left[ \frac{d_1}{V} (\dot{\psi}_{nj} + \dot{\chi}_{nj}) + (-1)^j \frac{\Delta r_{nj}}{r} \right], \quad (7)$$

а для вільної насадки коліс

$$\varepsilon_{xnj} = (-1)^{j+1} \left[ \frac{d_1}{V} (\dot{\psi}_{nj} + \dot{\chi}_{nj}) + (-1)^j \frac{\Delta r_{nj}}{r} + \left( -1^j \frac{r \dot{\phi}_{nj}}{V} \right) \right] \quad (8)$$

де  $V$  - швидкість рівномірного руху транспортного засобу;  $\dot{y}_{nj}^*$  – відносна швидкість переміщення точок контакту коліс і головок рейки;  $2a$  – база візка (для безвізкового транспортного засобу – база транспортного засобу);  $k_n$  – кривизна шляху під  $n$ -ою колісною парою;  $2d_1$  – відстань між середніми колами катання коліс колісної пари;  $r$  – радіус середнього кола катання коліс;  $\dot{\chi}_{nj}$  – кутова швидкість, обумовлена кривизною шляху, під  $j$ -им колесом  $n$ -ою колісною пари.

Нерівності рейкової колії в плані задавалися у вигляді синусоїди або косинусоїди, а стикові вертикальні нерівності – у вигляді косинусоїди обмеженої протяжності в межах одного її періоду [1-4].

Оцінку розрахункових схем досліджуваних транспортних систем проведемо за показниками, які характеризують навантаженість рухомих частин, ресорних комплектів вагонів і колії в вертикальному і поперечному напрямках, і за показниками безпеки руху, зокрема, що характеризує стійкість від зсуву рейкошпальної решітки, обезвантажування коліс, вкочування коліс на рейки. Тому в якості критеріїв для оцінки динамічних показників досліджуваних типів рухомого складу виберемо максимальні значення сил, що діють на колеса, ресорні комплекти і рейкові направляючі в вертикальному і поперечному напрямках (відповідно  $P_{nj}, Q_{ynj}, F_{z nj}, F_{ynj}$ , и  $Q_{znjp}, Q_{ynjp}$ ), поперечних сил  $Q_{yn}$  діючих на колісні пари, коефіцієнтів стійкості від обезвантажування коліс  $k_{обез}$ , зсуву рейкошпальної решітки  $k_{сд}$  та від вкочування коліс на рейки  $k_{вк}$ .

В роботі викладені метод і математична модель досліджень для просторових коливань транспортного засобу з вільним обертанням коліс на осях колісних пар при його рівномірному русі вздовж інерційного, пружнодисипативної рейкової колії з довільним окресленням в плані, представлених у вигляді зосереджених мас в місцях опирання рейок на шпали стосовно прямолінійної і криволінійної рейкової колії.

#### **Висновки.**

1. Розглянуті метод і математична модель дозволяють проводити цілеспрямовані дослідження впливу епюри укладання рейкової колії з певними або необхідними величинами прольотів між опорами або шпалами на навантаженість і відповідне цьому напружено-деформований стан всіх елементів рейкової колії, включаючи рейки, шпали та підшпальну основу.

2. Запропоновано новий напрямок досліджень навантаженості і напружено-деформованого стану рейкового шляху при наявності нерівнопружності опирання окремих шпал на опори, нерівножорсткості колії в міжшпальних відстанях та на шпалах.

#### **Список літератури**

1. Лазарян В. А. (1985). *Динамика транспортных средств*: Избр. тр. Киев: Наук. Думка. 528 с.
2. Власов В. З., Леонтьев Н.Н. (1960). *Балки, плиты и оболочки на упругом основании*. М.: Физматгиз. 492 с.
3. Говоруха В.В. (1992). *Физико-технические основы создания элементов рельсового транспорта шахт и карьеров*. Киев: Наук. Думка. 200 с.
4. Радченко Н.А. (1986). *Криволинейное движение рельсовых транспортных средств*. К.: Наук. Думка. 1986 216с.

## DIURNAL CYCLE OF PM<sub>2.5</sub> AND PM<sub>10</sub> IN THE CONTEXT OF METEOROLOGICAL PARAMETERS AT MINING CITY LEVEL: A CASE STUDY OF KRYVYI RIH, UKRAINE

<sup>1</sup>Maryna Batur, <sup>2</sup>Kateryna Babii

<sup>1</sup>Istanbul Technical University, Graduate School, Istanbul, Turkey

<sup>2</sup>Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

**Abstract.** The aim of this research is to analyze the diurnal variations of Air Quality Index (AQI) values of Particulate Matter (PM) as PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in Kryvyi Rih city of Ukraine. For the study, hourly AQI values were collected from 10 air quality monitoring stations located throughout the city. The total period of observations was 48 hours. The collected dataset was analyzed using time series plots and geospatial analysis tool named as Ordinary Kriging. Additionally, AQI values were studied in accordance with weather parameters such as temperature, relative humidity, and wind speed. The results showed the strong positive correlation between both PM and the humidity, while at the same time, the correlations of both PM with temperature and wind speed were found to be negative. Spatial maps revealed that the most polluted sites were those located close to the industrial zone.

**Introduction.** The problem of air quality continuous to be one of the most critical in the whole World. A variety of air pollutants have known to have a harmful effect not only on ecosystem, but also on human health. These include sulfur dioxide, nitrogen, carbon, ground-level ozone, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>. The last two became a reason for respiratory diseases, lung cancer and many others [1-2]. PM is generally emitted from natural sources (dust storms, volcanic eruptions, and wildfires) and from man-made sources (industrial processes, mining activities, coal burning, etc.). According to the [3], in Ukraine, the most sensitive regions of particle pollution are Dnipro, Donetsk, Zaporizhia, and Kryvyi Rih, where mean PM<sub>2.5</sub> concentrations from 2017 to 2020 were 16.64, 14.34, 16.10, and 18.93  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectively. Holding 82% of Ukraine's iron ore deposits and being one the World's largest iron ore manufacturing region [4], it is not surprising to see the highest value of PM<sub>2.5</sub> in Kryvyi Rih. Therefore, an appropriate monitoring and continuous assessment of air quality here are of the most importance.

There are several approaches to assess the air quality, and yet the simplest way is to use a time series model, which allows to see the increase or decrease in the data values. Additionally, such model hypothesizes a probabilistic relationship with other variables that make an impact on the initial data. Therefore, air quality assessment should be studied in connection with atmospheric dynamic systems, which are described by the simple weather data. These assumptions have been investigated previously by many authors [5-7]. Analysis of spatial variations of air pollutants is also essential, since it enables to identify the most polluted sites visually. The most widespread method of spatial analysis is the Kriging interpolation, which have been used in many different studies before [8-9]. A more comprehensive description can be found in [10].

**Aim and objectives of the study.** In the scope of this study, we aimed to investigate the daily AQI of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in the industrial and active mining region of Ukraine,

named Kryvyi Rih. In the methods of solution, we propose to use the time series approach in accordance with the major dynamic mechanisms that may influence the changes in air quality. Thus, we start by investigating the hourly patterns of AQI in the region. Then, we add several meteorological parameters to our model to investigate the correlation between all these variables. Finally, we use the geospatial interpolation as Ordinary Kriging to assess the distribution of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  in the region.

**Results.** In order to measure the statistical relationship between both pollutants and meteorological variables, Pearson correlation coefficients were calculated and can be seen in the Table 1. As shown, both pollutants,  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$ , have a strong negative correlation with the temperature and a strong positive correlation with humidity.  $PM_{2.5}$  revealed in strong negative correlation with wind speed, while  $PM_{10}$  showed very weak correlation with this parameter. Figure 1 illustrates this correlation visually, where vertical axis gives the normalized values of all variables, and horizontal axis represents the timeline.

Table 1 – The correlation coefficients between PM and meteorological factors

	Temperature	Humidity	Wind speed	$PM_{2.5}$	$PM_{10}$
Temperature	1				
Humidity	-0.71	1			
Wind speed	0.09	-0.30	1		
$PM_{2.5}$	-0.46	0.44	-0.36	1	
$PM_{10}$	-0.54	0.58	-0.09	0.71	1

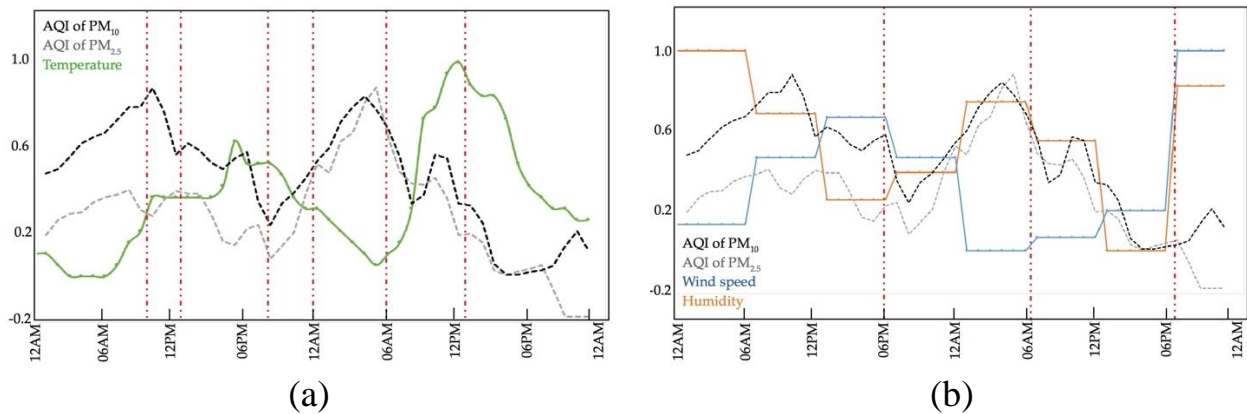


Figure 1 – The relationship of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  with meteorological parameters: (a) relationship with temperature; (b) relationship with wind speed and humidity

Figures 2 and 3 show the spatial distribution of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  respectively across the study region and in accordance with timeline. It is clearly seen that AQI values of both pollutants increase from 12 am to 12 pm and decrease markedly from 12 pm to 12 am. The most polluted part of the city is south-eastern site, which is located close to the industrial zone.

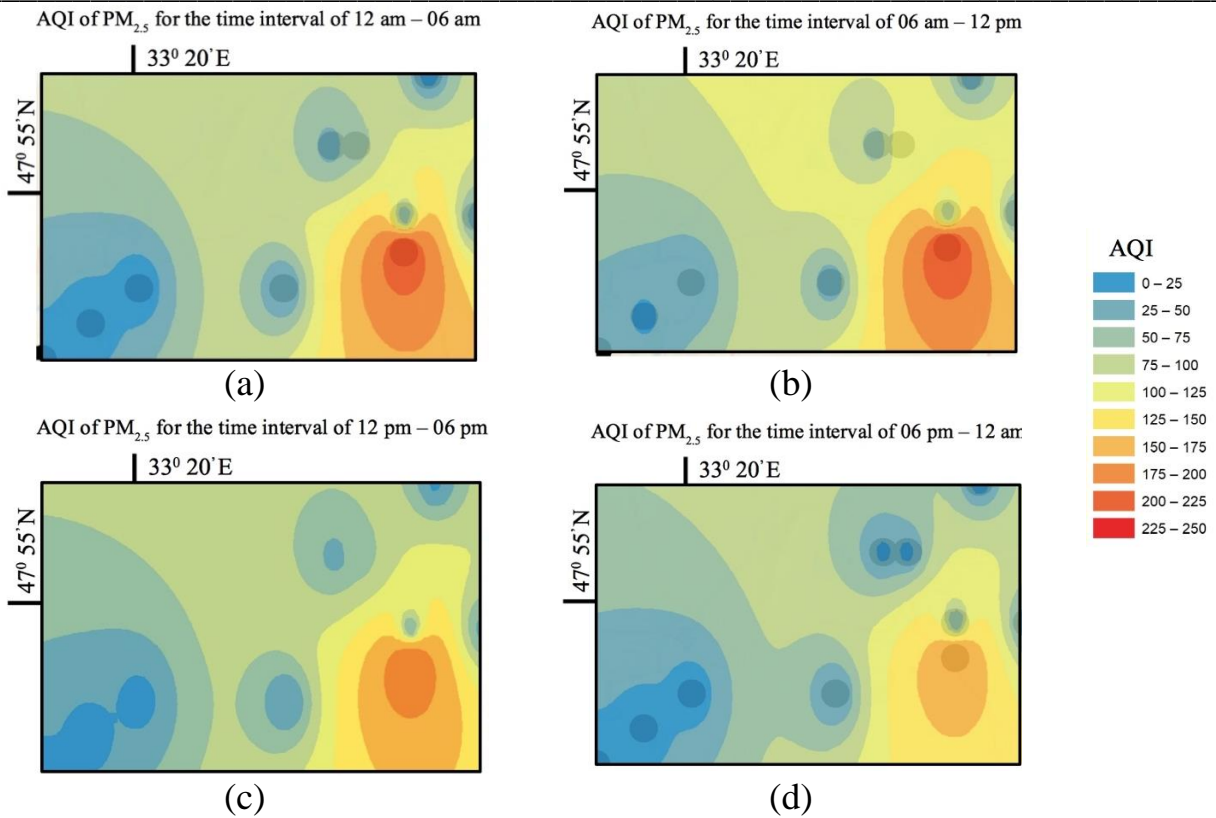


Figure 2 – Spatial distribution of  $PM_{2.5}$ : (a) between 12 am and 06 am; (b) between 06 am and 12 pm; (c) between 12 pm and 06 pm; (d) between 06 pm and 12 am

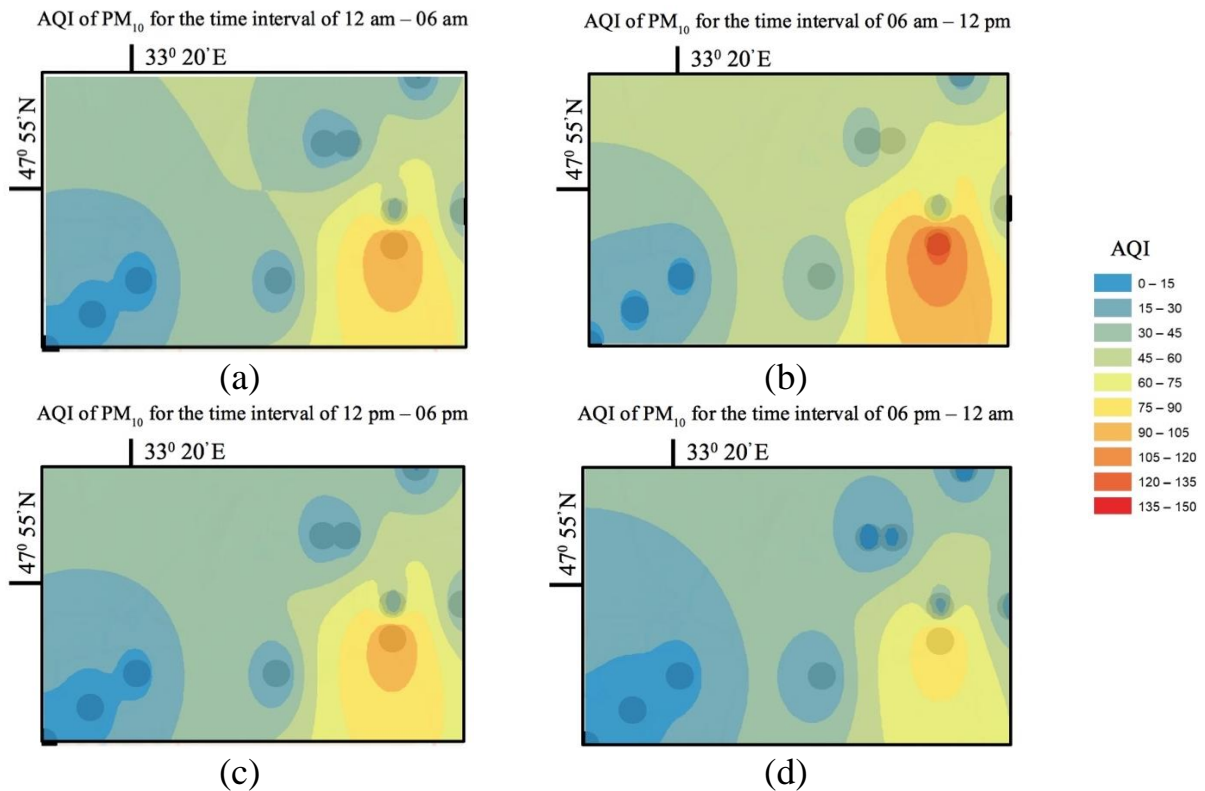


Figure 3 – Spatial distribution of  $PM_{10}$ : (a) between 12 am and 06 am; (b) between 06 am and 12 pm; (c) between 12 pm and 06 pm; (d) between 06 pm and 12 am

**Conclusions.** AQI records of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in the Ukrainian city of Kryvyi Rih were analyzed in order to assess the air quality in the region due to active mining and industrial activities. The 48-hourly dataset indicates that PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> usually increases between 12 am and 12 pm (at night and early morning hours) and decreases between 12 pm and 12 am (at early evening hours). In the correlation analysis of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> with meteorological parameters, humidity was observed to have a positive correlation with both pollutants, while temperature and wind speed were negatively correlated. Spatial analysis via Ordinary Kriging Interpolation method showed that location factor has a significant impact on the amount of PM in the air. Specifically, areas in the close vicinity of industrial plants revealed in higher AQI compare to other areas.

### References

1. Tecer L. H., Alagha O., Karaca F., et al. (2008) "Particulate matter (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10-2.5</sub>, and PM<sub>10</sub>) and children's hospital admissions for asthma and respiratory diseases: A bidirectional case-crossover study", *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 71(8), 512-520.
2. De Marco A., Amoatey P., Khaniabadi Y. O., et al. (2018) "Mortality and morbidity for cardiopulmonary diseases attributed to PM<sub>2.5</sub> exposure in the metropolis of Rome, Italy", *European journal of internal medicine*, 57, 49-57.
3. Bočková S., Bohovic R., Hrnčiar M., et al. (2020) "Air Pollution in Ukraine from Space".
4. Stupnik M. and Shatokha V. (2021) "History and Current State of Mining in the Kryvyi Rih Iron Ore Deposit", *IntechOpen*.
5. Li X., Feng Y. J. and Liang H. Y. (2017, July) "The impact of meteorological factors on PM<sub>2.5</sub> variations in Hong Kong", *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 78 (1). 012003.
6. Huang F., Li X., Wang C., et al. (2015) "PM<sub>2.5</sub> spatiotemporal variations and the relationship with meteorological factors during 2013-2014 in Beijing, China", *PloS one*, 10(11), e0141642.
7. Kozáková J., Pokorná P., Cerníková A., et al. (2017) "The association between intermodal (PM<sub>1-2.5</sub>) and PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, coarse fraction and meteorological parameters in various environments in Central Europe", *Aerosol and Air Quality Research*, 17(5), 1234-1243.
8. Gupta A., Kamble T. and Machiwal D. (2017) "Comparison of ordinary and Bayesian kriging techniques in depicting rainfall variability in arid and semi-arid regions of north-west India", *Environmental Earth Sciences*, 76(15), 1-16.
9. Qiao P., Lei M., Yang S. et al. (2018) "Comparing ordinary kriging and inverse distance weighting for soil as pollution in Beijing", *Environmental Science and Pollution Research*, 25(16), 15597-15608.
10. Moonchai S. and Chutsagulprom N. (2020) "Semiparametric Semivariogram Modeling with a Scaling Criterion for Node Spacing: A Case Study of Solar Radiation Distribution in Thailand", *Mathematics*, 8(12), 2173.



## ОЦІНКА ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПОРУШЕНИХ ГІРНИЧИМИ РОБОТАМИ ТЕРИТОРІЙ

<sup>1</sup>Гальченко З.С., <sup>1</sup>Данько Т.Т.

<sup>1</sup>Інститут проблем природокористування та екології НАН України, м. Дніпро, Україна

**Анотація.** Дана оцінка природно-ресурсного потенціалу порушених гірничими роботами територій. Розглянуті можливості залучення посттехногенних ландшафтів у господарську діяльність гірничодобувних регіонів. Згідно нашого підходу порушені гірничими роботами території розглядаються як природні ресурси, а факт їхнього використання враховується шляхом зміни параметрів ресурсного потенціалу.

**Вступ.** На сучасному етапі Україна переживає економічну і екологічну кризи, спроби виходу з яких, у межах існуючих підходів є проблематичним. Одним із основних завдань, котрі постають перед економікою країни, є нагальна потреба опрацювання концепції впровадження та розвитку екологічно чистого виробництва, гармонізації технологій природокористування та екологізації техніко-економічної системи у принципово нових умовах її функціонування.

Здатність природного комплексу або його окремих компонентів задовольняти потреби суспільства в енергії, сировині, здійсненні різноманітних видів господарської діяльності складають його природно-ресурсний потенціал.

Ступінь трансформації природно-ресурсного потенціалу порушених гірничими роботами територій визначає можливість рекультивациі чи використання цих територій для потреб суспільства. Найбільш цікавим на сьогоднішній день є залучення пошкоджених та непридатних для сільськогосподарських потреб земель під об'єкти відновлювальних джерел енергетики – сонячних енергосистем, вітроустановок і створення рекреаційних лісопаркових зон відпочинку.

**Мета** досліджень полягає в оцінці можливості використання природно-ресурсного потенціалу порушених гірничими роботами територій, в контексті ефективного використання посттехногенних ландшафтів.

**Постановка проблеми.** Розвиток гірничорудного виробництва в Криворізькому басейні справляє негативний вплив на усі компоненти довкілля. Гірничорудними підприємствами порушено значні площі сільськогосподарських угідь, докорінно змінено ландшафт і гідрогеологічні умови навколишнього середовища. Нині у відвалах розкривних порід накопичено понад 2 млрд м<sup>3</sup> гірських порід, а їх площа перевищує 6 тис. га (19% від усіх порушених земель області). Багато відвалів є великими техногенними об'єктами висотою до 50–150 м і площею 90–600 га.

Виробнича діяльність людини вносить певні зміни в процеси, що відбуваються в природній екологічній системі, і викликає тим самим порушення рівноваги між окремими її елементами. В результаті на місці природних виникають нові, як

правило, менш продуктивні техноекосистеми. При цьому виявляються як кількісні, так і якісні зміни компонентів екологічних систем.

На сучасному етапі найважливішими завданнями раціонального природокористування гірничодобувних регіонів є: комплексне використання, видобутих із надр мінеральних ресурсів, охорона природного середовища, економічно ефективно використання ландшафту.

**Результати досліджень.** Вирішення поставлених завдань пов'язане з визначенням поняття природно-ресурсного потенціалу ландшафту і в результаті з розробкою принципово нових і вдосконаленням існуючих технологій вилучення корисних компонентів з надр, комплексної переробки видобутої мінеральної сировини із застосуванням замкнених і маловідходних виробничих схем, використанням постехногенних ландшафтів як ділянок для розміщення об'єктів альтернативної енергетики.

У процесі ведення гірничих робіт докорінно змінюється ландшафт, ушкодження якого обумовлено утворенням техногенних відходів із розкритих порід (зовнішні відвали), відходів збагачення (хвостосховища), виїмок у земній корі (вироблений простір кар'єрного поля). Підземний спосіб відпрацювання родовищ характеризується порушенням стійкості масиву гірничих порід зі значними втратами (до 20-40%) контурних запасів корисної копалини з виходом провалів на земну поверхню і навіть виникненням техногенних землетрусів. Процеси проведення гірничих робіт негативно впливають практично на усі компоненти довкілля.

В той же час, складування на земній поверхні первинних відходів гірничого виробництва створює передумови для їхнього подальшого використання.

В розвинених країнах світу рівень використання промислових відходів досить високий (на сьогодні він сягає 80%).

В Україні до найбільш перспективних ресурсних відходів слід віднести:

1) хвости збагачення руд чорних і кольорових металів, загальні запаси яких в Кременчуцько-Криворізькому рудному басейні вже досягають 2,5 млрд т із вмістом загального заліза – 14-20%, а в Нікопольсько-марганцевому рудному районі – 240 млн т, вміст марганцю в яких складає 10-15%. Наприклад, утилізація шламів Миколаївського глиноземного заводу дозволить отримати золото-рутил-цирконові концентрати (золото – 36-42%, циркон – 40-60%, рутил – 14-20%);

2) втрачену мінеральну сировину відпрацьованих раніше залізрудних родовищ, об'єм якої сягає 30-40% оконтурених запасів із вмістом загального заліза в яких складає 45-67%;

3) запаси бідних і окислених руд, які складують у відвали.

Використання цих ресурсів дозволить отримати додаткові об'єми залізрудного концентрату та матеріали для будівельної індустрії.

До найбільш перспективних видів природних ресурсів необхідно віднести:

– потенціал постехногенних ландшафтів, який характеризується великою площею вільних ділянок земель і аномальним підвищенням висоти нових техногенних утворень перспективних з можливістю їх використання для розвитку поновлюваної енергетики, яка сприятиме відродженню вторинної екосистеми на порушених гірничими роботами територіях, забезпечить електроенергією високоенергетичні процеси демінералізації шахтних і кар'єрних вод;

– рекреаційний, природний і туристичний потенціал деяких об'єктів постехногенного ландшафту.

Однією з найважливіших перспектив освоєння постехногенних ландшафтів у гірничодобувних регіонах є розміщення об'єктів відновлюваних джерел енергії.

В контексті ефективного використання постехногенних ландшафтів розглянемо потенціал сонячної енергетики. Сонячне випромінювання – величина не постійна і залежить від багатьох факторів – від пори року, часу доби, погодних умов і географічного положення. Ці фактори лягли в основу розрахунку кількості необхідної потужності сонячних панелей. Якщо планується використання системи цілий рік, то розрахунок повинен проводитися з урахуванням найбільш несприятливих місяців з точки зору сонячного випромінювання.

При розрахунку для кожного конкретного регіону необхідно проаналізувати статистичні дані про сонячну активність за кілька років. На підставі цих даних, визначається усереднена дійсна потужність сонячного потоку на квадратний метр земної поверхні. Ці дані можна отримати у місцевих або міжнародних метеослужб. Статистичні дані дозволяють з мінімальною похибкою спрогнозувати кількість сонячної енергії для системи, яка буде перетворена сонячними панелями в електроенергію.

За результатами наших розрахунків в межах територій гірничодобувних районів м. Кривий Ріг для отримання 1кВт необхідно задіяти 6,5 м<sup>2</sup> площі панелей або 7,5 м<sup>2</sup> площі території. Таким чином, на площі в 1 га можна розмістити 1334 панелі, які генерують 973 тис. кВт·год електроенергії.

Другим ефективним способом використання природного потенціалу об'єктів техногенного ландшафту є вітроенергетика. Розглянемо вітроенергетичний потенціал зовнішніх відвалів. При вітровому потоці швидкість вітру зростає зі збільшенням висоти над поверхнею Землі. Об'єкти техногенного ландшафту гірничих районів (відвали) характеризуються значною висотою по відношенню до відмітки денної поверхні. Ця величина сягає 100-120 м і з часом може зростати [1].

Тому вітроенергетичні установки можна розташовувати на відвалах різних висот, тим самим збільшуючи виробництво електроенергії. Дослідження при розрахунку вертикального профілю середньорічних значень швидкості вітру

виявили залежність цього показника, як від пори року, так і від величини середньої швидкості вітру.

Дослідження показали, що на високих відвалах вітроенергетичний потенціал буде на 60% перевищувати рівнинний.

На сьогодні найбільше поширення отримали вітроустановки з горизонтальною віссю обертання турбіни. Вони ефективно використовувалися в районах з сильними вітрами. Такі установки починають генерувати електричний струм при швидкості вітру 8 м/с, а нормально працювати – при швидкостях більших 12-14 м/с. Але для територій з помірною швидкістю вітру (від 3 м/с до 13 м/с) більш ефективними є вітрогенератори з вертикальною віссю обертання турбіни.

Порівняння ефективності роботи вітряків (виробництва електроенергії) в умовах відвалів Кривбасу вертикальними та горизонтальними вітроенергетичними установками з урахуванням висоти розташування наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Виробництво електроенергії в умовах відвалів Кривбасу вертикальними та горизонтальними вітроенергетичними установками потужністю 100 кВт для різних варіантів їх розміщення

Швидкість вітру, м/с (внизу відвалу)	Швидкість вітру, м/с (на відвалі висотою 100 м)	Кількість днів з вітром, за рік (м. Кривий Ріг)	Вертикальний вітряк				Горизонтальний вітряк				
			Потужність, кВт, %		Вироблена ел/енергія кВт·днів		Потужність, кВт, %		Вироблена ел/енергія, кВт·днів		
			розміщення внизу відвалу	розміщення на відвалі висотою 100 м	розміщення внизу відвалу	розміщення на відвалі висотою 100 м	розміщення внизу відвалу	розміщення на відвалі висотою 100 м	розміщення внизу відвалу	розміщення на відвалі висотою 100 м	
1,8	3,0	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-
2	4,4	9	1	6	9	54	-	-	-	-	-
2,5	5,0	12	2	13	24	288	-	-	-	-	-
3	5,6	67	6	22	402	1474	-	-	-	-	-
4	6,7	76	13	34	988	2584	-	-	-	-	-
5	7,6	79	22	46	1738	3634	1	6	79	474	
6	8,5	54	34	57	1836	3078	3	15	162	810	
7	9,6	36	46	70	1656	2520	7	24	252	864	
8	10,8	18	57	84	1026	1512	12	32	216	576	
9	11,8	6	70	100	420	600	22	46	132	276	
10	13,0	4	84	100	336	400	38	68	152	272	
11	13,0	2	100	100	200	200	48	73	96	146	
12	13,0	1	108	100	108	100	59	89	59	89	
13	13,0	1	108	100	108	100	80	100	80	100	
Всього		365	-		8849	16544	-		1228	3607	

Виходячи з результатів розрахунку (таблиця 1), при розташуванні вітроагрегатів за межами відвалу (відносна висота 0 м), в умовах Кривого Рогу вертикальні вітроенергетичні установки можуть виробляти електроенергії більше ніж в 7 разів за традиційні (горизонтальні). Кількість виробленої електроенергії збільшується з висотою розташування вітроагрегатів.

Розташування горизонтальних вітроенергетичних установок на поверхні високого відвалу висотою 100 м збільшує кількість виробленої електроенергії з 1228 кВт·днів до 3607 кВт·днів, тобто у 2,9 рази.

Вертикальна вітроенергетична установка за аналогічних умов розташування збільшує кількість виробленої енергії з 8849 до 16544 кВт·днів, тобто у 1,8 рази.

Порівнюючи показники вертикальних та горизонтальних установок при їх розташуванні на відвалах (16544:1228 кВт·днів) можна зробити висновок, що ефективність вертикальних ВЕУ зростає в 13,4 рази.

Фахівцями Інституту проблем природокористування та екології НАН України проведено комплексні дослідження з відновлення вторинних екосистем на порушених гірничими роботами територіях та була доведена ефективність використання постехногенних ландшафтів для природоохоронних, рекреаційних і туристичних цілей. Так на сьогоднішній день вже створено 3 ландшафтних заказника «Візірка», «Вершина» і «Богданівський» загальною площею 1556 га на землях Інгулецького, Присянського і Орджонікідзевського ГЗК відповідно [2].

**Висновки.** Отже, зважаючи на той факт, що негативний вплив порушених гірничими роботами територій на навколишнє середовище з часом тільки посилюється, тому особливо актуальним і важливим стає подальше використання їхнього природно-ресурсного потенціалу.

Досліджено можливість використання вітрової і сонячної енергетики на зовнішніх відвалах та доведено ефективність використання природного потенціалу об'єктів техногенного ландшафту.

Підтверджено основні переваги використання відновлюваних джерел енергії:

- для технологій вітрових електростанцій – енергія вітру невичерпна, виробництво електроенергії за допомогою ВЕС не супроводжується небезпечними викидами в атмосферу, можливість розміщення у важкодоступних місцях, потребують малої площі та вписуються у будь-який ландшафт, отримання безкоштовної електричної енергії в довгостроковій перспективі, відсутність витрат на паливо і його доставку, автономність – незалежність від стану і роботи зовнішніх електричних мереж;

- для технологій сонячних електростанцій – це безшумність роботи, термін роботи сонячних елементів практично необмежений і може становити десятки років, перетворення сонячної енергії відбувається в основному за рахунок використання фотоелектричних елементів, можливість отримання "зеленого" тарифу.

Використання природного потенціалу об'єктів техногенного ландшафту в рекреаційних цілях на основі вже існуючого досвіду Інституту:

- створення природних заказників на територіях відпрацьованих кар'єрів.

### Список літератури

1. Шапар, А.Г., Емець, М.А., Копач, П.І. (2015). Перспективи використання альтернативних джерел енергії в умовах техногенно-змінених ландшафтів у гірничодобувних регіонах. *Екологія і природокористування*. (19). 20-30.

2. Шапарь, А.Г., Копач, П.И., Сметана, С.Н. (2012). Взаимосвязь возрожденных вторичных экосистем и технологии доработки карьеров. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. (6). 351-362.

## ДО ПИТАНЬ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

<sup>1</sup>Медведєва О.О., докт. техн. наук, <sup>2</sup>Медяник В.Ю., канд. техн. наук, доцент,  
<sup>2</sup>Роман С.Г., студентка

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, м. Дніпро, Україна, <sup>2</sup>НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

**Анотація.** В роботі розглянуті питання декарбонізації вугільної та енергетичної галузі України. Наведено основні шляхи їх вирішення та можливі проблеми при впровадженні. Зниження шкідливих викидів при видобутку вугілля та роботі ТЕС потребує модернізації або заміни існуючого устаткування та обладнання в енергетичній галузі, це в свою чергу можливо тільки при залученні інвестиційних капіталовкладень. Розглянуто вирішення питань закриття підприємств вугільної промисловості на прикладі Рурського регіону Німеччини для уникнення депресійності в гірничо-добувних регіонах України.

**Вступ.** Питання декарбонізації та її фінансування досить складне та потребує окремого та детального підходу для всіх країн світу, а для України, як країни, що розвивається, тим більше. Україна повинна розробити свою власну формулу декарбонізації. Мета по скороченню викидів може бути досягнута тільки при повній консолідації позицій всередині країни [1].

Крім того, необхідно відмітити те, що в свою чергу Мінекології України запропонувало визначити скорочення викидів парникових газів до 35% до 2030 року - на 65% від рівня 1990 року, тоді як бізнес оцінює потенціал скорочення викидів парникових газів в Україні лише до 40-45% до 2030 року [2].

З урахування поставленого питання декарбонізації енергетичної галузі та зменшення викидів Україна повинна провести екологічну модернізацію, тобто забезпечити роботу вугільної генерації чистий способом або вивести ТЕС з експлуатації та зменшити обсяг викидів відповідно до зобов'язань. Другий варіант для країни неприйнятний, бо якщо піти цим шляхом в державі виникне великий енергодефіцит, бо зелена енергетика не спроможна замінити всі існуючі ТЕС та ТЕЦ і створить загрозу стабільну роботу всієї ОЕС. А НЕК «Укренерго» змушена буде обмежувати споживачів, щоб не допустити аварійних відключень.

**Мета роботи** – визначення та обґрунтування основних аспектів питання декарбонізації енергетичної галузі.

**Результати досліджень.** Тому в роботі було розглянуто можливість визначення напрямків більш ефективного сценарію декарбонізації. Сценарій «низьковуглецевого розвитку» на сьогодні є одним з найважчих для енергосистеми України. Бо якщо його почати впроваджувати, то без впливу закордонних інвесторів майже не можливо, оскільки вимагає максимуму інвестицій, які до 2030-го, та й 2050 роки, навряд чи можуть бути забезпечені. Референтний сценарій передбачає зменшення розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), підтримку теплової генерації на достатньому рівні для балансування енергосистеми і впровадження нових технологій для підвищення гнучкості ОЕС. Закриття всіх державних вугільних підприємств не дозволить також вирішити це питання. Тому необхідно більш детально вивчити кожний окремих видобувний регіон, визначити напрямки модернізації кожного підприємства (шахти) або цілого Холдингу для обґрунтування напрямків декарбонізації, щоб уникнути депресійності в регіонах. Бо закриття видобувних вугільних підприємств потягне за собою збільшення рівня безробіття, виникнення протестних настроїв, занепаду районів їх розташування.

Досвід Великої Британії, влада якої просто закрила вугільні шахти рішучим політичним рішенням – без програми соціальної підтримки населення цих міст, без запропонованих альтернатив – мав негативні наслідки. Закриття шахт стало дуже болючим для цих міст, супроводжувалось протестами і соціальною кризою. З огляду на це, стало зрозуміло, що варто врахувати соціальний фактор і передбачити програму відновлення як регіону, так і підтримки мешканців шахтарських міст, економіка яких повністю зав'язана на видобутку вугілля [3].

Для виявлення шляхів відновлення економічного благополуччя та соціального аспекту в регіонах, в яких буде здійснюватися реконструкція вугільних шахт та їх консервація можна на прикладі Рурського промислово-вугільного регіону Германії.

За результатами проведених досліджень була розроблена та прийнята система заходів, здатна вивести Рур з стану депресії і кризи. До числа головних заходів відносяться: корінна перебудова, модернізація старих галузей, в першу чергу вугільної і металургійної промисловості; впровадження в структуру виробництва підприємств нових і новітніх галузей; зміцнення освітньої бази; зміцнення наукової бази; поліпшення якості навколишнього середовища [4].

Суттєве значення, було надано перетворенню просторової організації не тільки агломерації, але і прилеглих до неї територій.

Таким чином, переймаючи досвід науковців в провінції Рур, вважаємо, що для регіонів, в яких будуть закриватися підприємства вугільної промисловості, необхідно підходити до вирішення проблем, що будуть утворюватися, тільки комплексно.

По-перше, необхідно перепрофілювати та докорінно змінити напрямки галузей промисловості. Можливо розвинути легку промисловість або приділити увагу аграрному напрямку. Модернізувати гірничі підприємства, підвищити соціальну сферу, розвинути рекреаційний напрямок.

По-друге, не залишити населення цих регіонів соціально незахищеними, розвинути медицину, забезпечити молодь робочими місцями, розвинути та зміцнити освітню базу.

По-третє, поліпшити якість навколишнього середовища.

Таким чином необхідно вирішуючи одні питання, не втрачати пильність та не залишити без розгляду інші, щоб не привести регіон до депресійного стану.

Для України досягнення цілей Зеленого курсу буде неможливим без модернізації енергетичної системи, яка сьогодні генерує більшу частину вуглецевих викидів в країні. Без цього зупиниться експорт в ЄС – за рахунок зростання податку на викиди вуглецю, українські товари втратять конкурентоспроможність. Щоб бути активним членом європейської спільноти, недостатньо еволюції відновлюваних джерел енергії в Україні.

Крім того слід відмітити, що з 33 державних шахт 29 є неприбутковими. З бюджету на 2021 рік було заплановано майже 4 мільярди гривень на підтримку вугільної галузі. При цьому основну частину шахт, до яких не виникає інтерес у інвесторів, буде передано уряду.

Вони будуть підготовлені до ліквідації, і необхідно вже сьогодні вирішувати питання, у який спосіб залучати кошти. Крім інвестицій, також є міжнародно-технічна допомога. Торік урядом було підписано з Німеччиною договір про енергетичне партнерство, який передбачає, що Німеччина допомагатиме Україні в здійсненні справедливої трансформації вугільної галузі.

Економіка шахтарських міст, або ж цілих регіонів, повністю залежить від діяльності шахт. Деякі міста взагалі виростили довкола відкритої шахти. Фактично основу бюджету міста становлять податки від діяльності шахт, профільні й вищі навчальні заклади, що орієнтовані на гірничо-добувну вугільну галузь, і закриття шахт буде психологічною, економічною і соціальною катастрофою. Тому необхідно обов'язково підходити до вирішення питання декарбонізації комплексно, виважено з урахуванням досвіду Німеччини при закритті шахт в провінції Рур та досвід Великої Британії.

**Висновки.** За результатами проведених досліджень [5-7] визначені напрямки розвитку гірничо-добувних регіонів під час декарбонізації енергетичної галузі. Встановлено, що зниження негативного впливу відбувається шляхом проведення модернізації та удосконалення обладнання ТЕС, яке дозволить покращити стан навколишнього середовища, впровадити ресурсозберігаючі технології, вирішувати економічні та соціальні наслідки шляхом сформульованого стратегічного напрямку реструктуризації та переорієнтації діяльності регіонів.

### Список літератури

1. Реформи, інвестиції та декарбонізація: енергетичні домовленості України та США [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/news/2021/09/2/677413/>

2. Юрій Григоренко. Україна має розробити власну формулу декарбонізації – точка зору. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://gmk.center/ua/news/ukraina-maie-rozrobiti-vlasnu-formulu-dekarbonizacii-tochka-zoru/>

3 Трансформація вугледобувних регіонів має бути справедливою. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3141329-zakritta-vugilnih-saht-katastrofa-ci-novi-mozlivosti.html>



4 Рурская агломерация: проблемы, пути и методы развития [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://urtmag.ru/public/448/>

5. Бондаренко, В.І., Медяник, В.Ю., Руденко, М.К., Ковалевська, І.А. (2020). Вугільна шахт : підручник. Дніпро: ЛізуновПрес. 357 .

6. Півняк, Г.Г. (ред.) (2013). Традиційні та нетрадиційні системи енергозабезпечення урбанізованих та промислових територій України: монографія. Д.: Національний гірничий університет. 334.

7. Medianyuk, V.Yu., Netecha, M.V., Demchenko, Y.I. (2015). Integrated production and utilization of mineral resources. *Mining of Mineral Deposits*. (9). 93-100.

## АДСОРБЦІЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ЗІ СТІЧНИХ ВОД АДСОРБЕНТАМИ МОДИФІКОВАНИМИ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ

<sup>1</sup>Федів І.С., <sup>1</sup>Степова К.В., к.т.н., доцент

<sup>1</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, Україна

**Анотація.** Сучасна індустріалізація суспільства має дві сторони: підвищення рівня життя та інша - збільшення негативного впливу на навколишнє природне середовище. Один із наслідків швидкого розвитку галузей промисловості це забруднення стічними водами. Разом із ними до водного середовища потрапляють важкі метали, які мають шкідливий вплив на організм людини. Тому необхідно знайти дієвий спосіб для зменшення вмісту важких металів у стоках до допустимого.

Одним із найоптимальніших метод очищення стічних вод є адсорбція [1], завдяки своїм перевага: низька ціна, простота експлуатації установок, висока селективність та висока ефективність видалення [2]. У якості адсорбентів використовують: активоване вугілля, мінерали, наночастинки, сільськогосподарські відходи та інші недорогі адсорбенти. Щоб покращити адсорбційну здатність матеріалів використовують модифікацію поверхнево активними речовинами [3]. Загалом використання поверхнево-активних речовин для фізична та хімічна модифікацій адсорбентів має на меті підвищити та покращити здатність адсорбенту до поглинання важких металів.

Протягом останніх років зроблено чимало досліджень щодо створення адсорбентів з високим ступенем поглинання [4]. Хімічні, такі як кількість не функціональних груп, та фізичні властивості, такі як форма (порошок, гранули), адсорбентів відіграють велику роль в процесі поглинання. Щодо процесу модифікації поверхнево-активними речовинами, вона проходить на зовнішньому шарі поверхні адсорбенту, змінюючи при цьому на фізичні та хімічні його характеристики. Цим процесом насамперед мають на меті досягнути:

- високої адсорбційної ємності;
- низької вартості;
- можливість повторного використання;
- покращення ефективності [5].

Група вчених [6], які досліджували адсорбцію свинцю вуглецю та модифікованого СТМАВ вуглецю (Cetyltrimethylammonium Bromide) виявила,

що адсорбція іону Pb після модифікації зросла з 79% до 98%. Результати адсорбції краще відповідали моделі ізотерми Ангуміра, а кінетичні дані відповідали моделі псевдо другого порядку. Швидкість адсорбції іонів свинцю з використанням вуглецю, модифікованого поверхнево-активною речовиною СТМАВ, була вищою, ніж у вуглецю. Також відомі результати досліджень [7] сорбції іонів кадмію з використанням вуглецю та модифікованого вуглецю поверхнево-активною речовиною СТМАВ, що показали, що ефективність сорбції кадмію після модифікації зросла з 73% до 98%. Оптимальною умовою адсорбції було рН 8, температура - 30 °С, час контакту - 120 хв і швидкість перемішування - 790 С.

У дослідженнях [7] можна побачити сорбційну поведінку нітратів на модифікованому цеоліті. В якості активатора взяли поверхнево-активну речовину бромід цетилпіридинію. Процес поглинання нітратів був добре описаний кінетичною моделлю псевдо другого порядку. Обчислювались такі термодинамічні параметри, як зміни енергії Гіббса, зміни ентальпії та ентропії. Результати показали, що модифікація адсорбенту збільшує щільність заряду позитивних іонів, тому адсорбується більше нітратів. Присутність конкурентних аніонів, таких як іони хлориду, сульфату та бікарбонату, знижувала сорбційну ефективність нітратів. Максимальна ємність поглинання за оптимальних умов рН 6, час контакту - 24 год., температура - 25°С, концентрація іонів - 8,6мг [7].

Провівши аналіз літературних джерел можна зробити висновок, що модифікація різного роду адсорбентів поверхнево-активними речовинами покращує ефективність сорбції та сорбційна ємність в порівнянні з немодифікованими зразками. Також вони можуть збільшити щільність заряду поверхні, збільшуючи електростатичні взаємодії та іонний обмін і, нарешті, збільшуючи швидкість адсорбції шляхом створення нових функціональних груп. В загальному, можна сказати, що модифікування показало хороший результат, що дає можливість подальшого дослідження та впровадження адсорбції модифікованими поверхнево-активними речовинами адсорбентами важких металів в промисловість.

#### Список літератури

1. Sobhanardakani, S., Jafari, A., Zandipak, R., Meidanchi, A. (2018). Removal of heavy metal (Hg(II) and Cr(VI)) ions from aqueous solutions using Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>@SiO<sub>2</sub> thin films as a novel adsorbent. *Process Saf. Environ. Prot.* 120, 348–357.
2. Allahkarami, E., Rezai, B. (2019). Removal of cerium from different aqueous solutions using different adsorbents: a review. *Process Saf. Environ. Prot.* 124, 345–362.
3. Yuan, P., Fan, M., Yang, D., He, H., Liu, D., Yuan, A., Zhu, J., Chen, T. (2009). Montmorillonite-supported magnetite nanoparticles for the removal of hexavalent chromium [Cr (VI)] from aqueous solutions. *J. Hazard. Mater.* 166, 821–829.
4. Agarwal, M., Singh, K. (2017). Heavy metal removal from wastewater using various adsorbents: a review. *J. Water Reuse Desalination* 7, 387–419.
5. Loganathan, P., Vigneswaran, S., Kandasamy, J. (2013). Enhanced removal of nitrate from water using surface modification of adsorbents—a review. *J. Environ. Manage.* 131, 363–374.
6. Nadeem, M., Mahmood, A., Shahid, S.A., Shah, S.S., Khalid, A.M., McKay, G. (2006). Sorption of lead from aqueous solution by chemically modified carbon adsorbents. *J. Hazard. Mater.* 138, 604–613.
7. Zhan, Y., Lin, J., Zhu, Z. (2011). Removal of nitrate from aqueous solution using cetylpyridinium bromide (CPB) modified zeolite as adsorbent. *J. Hazard. Mater.* 186, 1972–1978.

## АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПОВОДЖЕННЯ З КАР'ЄРНИМИ ВОДАМИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ЇХ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ

<sup>1</sup>Четверик М.С. доктор технічних наук, професор, <sup>1</sup>Левченко К.С.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро, Україна

**Анотація.** Розглянуто проблему накопичення та поведження з кар'єрними водами, які вилучаються в процесі видобутку руд в Кривбасі та можливі шляхи її вирішення.

У промислових циклах гірничодобувної галузі утворюється велика кількість високомінералізованих кар'єрних, шахтних вод. В районі Криворізького залізрудного поясу знаходяться найбільші кар'єри в Україні. В Кривбасі добування та збагачення залізної руди здійснюється 4 приватними компаніями: ПрАТ «Криворізький Залізрудний Комбінат», ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ПрАТ «Євраз Суха Балка» та ПрАТ «Центральний ГЗК». Щорічно підприємствами відкачуються до 20 млн. м<sup>3</sup> високомінералізованих шахтних і 18 млн. м<sup>3</sup> кар'єрних вод [1], які частково використовують в оборотному циклі роботи підприємств, але значну кількість без належної очистки скидають до поверхневих водних об'єктів.

В Кривбасі щорічно у результаті дозованого скидання в гідрографічну мережу потрапляє 10-20 млн. м<sup>3</sup> високомінералізованих вод, які потребують очищення. Така діяльність за певних умов є потенційно небезпечною для довкілля, оскільки при періодичному скиданні високомінералізованих надлишків кар'єрних та шахтних вод неможливо дотриматись діючих норм якості води для поверхневих вод.

Підземні води в зоні впливу гірничо-збагачувальних комбінатів Криворіжжя мають підвищену мінералізацію. Орієнтовна площа забруднення підземних вод (внаслідок фільтраційних втрат з гідротехнічних споруд) у районі гірничозбагачувальних комбінатів становить понад 200 км<sup>2</sup>[2].

Розробка корисних копалин супроводжується обводненням кар'єрів за рахунок водопритоків із четвертинних, неогенових відкладів та порід кристалічного масиву. Всі ці води мають різну мінералізацію, вмішуються у водозбірнику та в результаті цього їх мінералізація усереднюється.

Підземні води високої мінералізації в процесі їх потрапляння на земну поверхню в надрах розбавляються водами четвертинних відкладів. І тим самим втрачаються запаси прісних вод, і високомінералізованих з корисними компонентами. Особливістю при вивченні підземних вод є те, що їх стан та параметри практично постійно змінюються як внаслідок діяльності людини, так і природи [3-5].

Наразі в Україні необхідно вносити зміни та доповнення в основні нормативні документи, які регулюють якість та визначають вимоги до поведження з кар'єрними водами.

Також не вирішене питання приведення водокористування гірничорудними підприємствами Кривбасу у відповідності до вимог законодавства. Підприємства

не забезпечують зниження рівня мінералізації кар'єрних, шахтних вод перед скиданням у водні об'єкти, як це вимагається статтею 72 Водного кодексу України. Умови скидання цих вод у водні об'єкти встановлюються обласними, міськими державними адміністраціями тощо. Для Кривбасу Держводагентством щорічно на підставі розпорядження Кабінету Міністрів України розробляється регламент промивання русла і екологічного оздоровлення р. Інгулець шляхом скидів води з Карачунівського водосховища з одночасною подачею до водосховища дніпровської води каналом Дніпро-Інгулець. При цьому в Індивідуальному регламенті скидання наявність примітки, яка дозволяє ДП «Кривбасшахтозакриття» здійснювати додатковий скид забруднюючих речовин у концентраціях, що дорівнюють 10% регламентного скиду посилює вплив на водний об'єкт і дає можливість забруднити більше уникаючи відповідальності за заподіяну шкоду не шукаючи варіанти вирішення питання використання цих забруднених вод.

За матеріалами [2] з метою вирішення цього питання за підтримки програми сприяння зеленій модернізації української економіки, що реалізовувалась Німецьким товариством міжнародного співробітництва (GIZ) було запропоновано розробити техніко-економічне обґрунтування впровадження ефективних технологій з метою зниження рівня природного і техногенного забруднення високомінералізованих шахтних, кар'єрних та дренажних вод перед скиданням їх у водні об'єкти.

За результатами проведеної роботи консалтинговою компанією DMT Consulting GmbH (переможець серед конкурсного відбору компаній для розробки техніко-економічного обґрунтування щодо оптимізації скидання та часткової або повної утилізації надлишку шахтних вод) підготовлено та направлено на розгляд робочої групи техніко-економічне порівняння попередньо відібраних варіантів оптимізації системи скидання та утилізації надлишку шахтних вод, а саме:

1. Поліпшення існуючої системи (скидання за регламентом в р. Інгулець в осінньо-зимовий період з розбавленням і промиванням русла річки) – без капітальних витрат, ріст експлуатаційних витрат з 112 млн грн/рік до майже 400 млн грн/рік.

2. Скидання в Чорне море (дві нитки трубопроводу діаметром 900 мм, відстань 190 км).

3. Скидання в Дніпро (теж дві нитки діаметром 900 мм, відстань 160 км).

4. Демінералізація з утилізацією продукту (зворотний осмос, випарювання, поводження з сухим залишком).

5. Розбавлення місцевими стоками і водою з Дніпра (розчищення каналу Дніпро-Інгулець, використання каналу Дніпро-Кривий ріг).

Після всебічних обговорень, за участю громадських організацій, науковців області, депутатського корпусу обласного рівня, виконкому Криворізької міської ради та підприємств водокористувачів-забруднювачів, робочою групою рекомендований для більш глибокого вивчення варіант «Постійне скидання

всього обсягу шахтних вод у Чорне море по трубопроводах з балки Свистунова в нижню частину Дніпро-Бузького лиману».

Але жоден із запропонованих варіантів вирішення порушеного питання так і не задовольнив вимоги всіх зацікавлених сторін оскільки, проблема утилізації шахтних вод Кривбасу, є міжрегіональної проблемою, а з огляду на величезний економічний ефект і державною проблемою [2]. Надалі використовується застарілий метод скидання надлишкових вод.

Непоодинокі випадки невиконання суб'єктами господарювання умов дозволів, зокрема невиконання заходів, що стосуються охорони водних об'єктів та приписів Держекоінспекції, щодо усунення таких порушень, в подальшому не несуть дієвої відповідальності за порушення законодавства про охорону водних об'єктів.

За матеріалами виїзного засідання Комітету Верховної ради України з питань екологічної політики та природокористування [2] серед основних забруднювачів Кривбасу поміж іншого відзначаються в сфері водокористування наступні порушення: правил використання водогосподарських споруд, аварійні скиди в водні об'єкти, відмова від позапланових перевірок, відмова від надання екологічної інформації, несвоєчасна сплата за заподіяну шкоду навколишньому середовищу, невиконання законних розпоряджень чи приписів посадових осіб органів, які здійснюють державний нагляд у галузі охорони навколишнього середовища.

Держекоінспекція позбавлена можливості щодо застосування дієвих важелів впливу до суб'єктів господарювання, які порушують природоохоронне законодавство. При поводженні з високомінералізованими водами кар'єрів необхідно якомога раніше посилити державний контроль над ситуацією, яка склалася.

Тому вирішення проблем раціонального використання кар'єрних вод потребує розгляду на загальнодержавному рівні за сприяння Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України із залученням фахових міжнародних організацій та наукових інституцій, представників Державного офісу водних ресурсів України, Дніпропетровської, Херсонської Миколаївської областей та підприємств-забруднювачі, що здійснюють скидання високомінералізованих кар'єрних вод до гідрологічної мережі.

Для того, щоб використовувати підземні води як корисну копалину (тим самим зменшуючи вплив на довкілля) пропонується окремо акумулювати води, що надходять з четвертинних відкладів, розмістивши їх в водозбірнику на верхніх горизонтах кар'єра відповідно до рівня їх надходження. А підземні води, що надходять із зруйнованих порід та кристалічного масиву (води підвищеної мінералізації) розмістити на нижніх горизонтах кар'єра. Акумульовані води четвертинних відкладів пропонується очищувати відомими способами до стану питних. А води кристалічного масиву пропонується опріснювати [6].

Опріснення можна здійснювати по горизонтах, по підприємствах, групам підприємств в залежності від ступеня забруднення і мінералізації різних водоносних горизонтів. При цьому утворюються потенційно небезпечні для

навколишнього середовища концентровані розсоли, розміщення та використання яких є значущою проблемою. Одним із варіантів розміщення відходів опріснення є складування їх у виробленому просторі кар'єрів після доопрацювання кар'єра з індивідуальною технологією в кожному конкретному випадку [3].

Найбільш раціональним є складування розсолів з подальшим вилученням з них корисних компонентів. Основними мінеральними компонентами розсолів після опріснення, в залежності від складу вихідної води, можуть бути сульфати натрію, хлориди натрію, хлориди кальцію і магнію, а також речовини, як йод, бром, калій та ін. [4].

### **Висновки.**

Для вирішення проблем щодо можливості використання кар'єрних вод в регіоні необхідно:

- налагоджувати зв'язки між науковцями, законодавчими та виконавчими органами, надрокористувачами;
- впроваджувати нові технології очищення та демінералізації стічних, шахтних та кар'єрних вод;
- зобов'язувати використовувати кар'єрні води в якості корисної копалини при розробці родовищ, доводячи до питного водопостачання та вилучаючи з них корисні компоненти;
- посилити відповідальність суб'єктів господарювання за недотримання природоохоронного законодавства у сфері водного господарства при розробці родовищ;
- впроваджувати водний аудит та менеджмент.

### **Список літератури**

1. Гайдін, А.М., Собко, Б.Ю. (2018). Гідроекологія при гірничих роботах: монографія. *Дніпро: «Літограф»*. 218.
2. Матеріали виїзного засідання Комітету з питань екологічної політики та природокористування на тему: «Екологічний стан Кривбасу: проблеми та шляхи їх вирішення» (24-25 жовтня 2019 року) [Електронний ресурс]: режим доступу: <http://komekolog.rada.gov.ua/uploads/documents/35706.pdf>.
3. Левченко, Е.С. (2017). Разработка месторождений с использованием извлекаемых подземных минерализованных вод как полезного ископаемого. *Наукова весна: Матеріали VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених – 2017*. Дніпро: НГУ, 2017. 10. 81-82.
4. Левченко, Е.С. (2017). Опреснение карьерных и рудничных вод в условиях Кривбасса. *Геотехническая механика*. 132. 220-228.
5. Четверик, М.С., Бубнова, Е.А., Левченко, Е.С. (2018). Особенности водопритоков в глубоких карьерах, пути снижения минерализации вод в водосборниках и использование их в качестве полезного ископаемого. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2. 60-65.
6. Четверик, М.С., Бубнова, О.А., Левченко, К.С. (2021). Технічні рішення щодо використання підземних вод глибоких кар'єрів як корисної копалини. *Електронний збірник тез доповідей XIX Всеукраїнської науково-технічної конференції «Потурайські читання».-Дніпро, 2021*. 23-24. [Електронний ресурс]: режим доступу: [https://gmi.nmu.org.ua/ua/nauka/vibro/%D0%9F%D0%BE%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0%D1%94%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D1%96%20%D1%87%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F\\_%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8\\_2021.pdf](https://gmi.nmu.org.ua/ua/nauka/vibro/%D0%9F%D0%BE%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0%D1%94%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D1%96%20%D1%87%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8_2021.pdf)

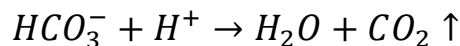
## ЗАСТОСУВАННЯ ГІДРОКАРБОНАТІВ ДЛЯ ОБРОБКИ ВІДВАЛЬНОЇ МАСИ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ

<sup>1</sup>Чоботько І.І.

<sup>1</sup>Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України, Дніпро, Україна

**Анотація.** У статті наведено застосування гідрокарбонатів для попередження виникнення процесів горіння породних відвалів шляхом обробки відвальної маси. Розглянуто вплив гідрокарбонату натрію на відвальну масу при формуванні породних відвалів. Запропоновано використання розчину на основі гідрокарбонату натрію в промислових умовах при обробці відвальної маси, що дозволить значно зменшити кислотне середовище всередині породних відвалів й уповільнити термо-хімічну деструкцію відвальної породи.

Гідрокарбонати складаються з кислих солей карбонатної кислоти  $H_2CO_3$ . Відомий їх вплив на кислотне середовище та застосування у якості інгібітору у вогнегасниках для блокування кисню під час горіння полум'я. Володіючи такими властивостями даний розчин можна використовувати для обробки відвальної маси, яка йде на формування породних відвалів оскільки відомо, що значну роль у горінні відвалів грають процеси термо-хімічної деструкції порід всередині породних відвалів при впливі факторів навколишнього середовища. Хімічна формула взаємодії гідрокарбонатів з кислотами:



Де при взаємодії з сірчисто-кислотним середовищем породних відвалів утвориться вода та вуглекислий газ.





В практиці висока ефективність використання гідрокарбонатів для профілактики самозаймання відвальних порід пояснюється особливостями впливу цієї речовини (вода+гідрокарбонати) на сірчано-кислотне середовище, яке спонукає до виникнення процесів термо-хімічної деструкції породних відвалів.

Гідрокарбонатний розчин на основі гідрокарбонату натрію  $CHNaO_3$  (традиційна назва харчова сода) може бути використаний також при обробці вологих піритовмістовних відвальних порід з метою запобігання процесів їх самонагрівання. Необхідний ефект досягається завдяки декарбонізації розчину й нейтралізації сірчаної кислоти, що створює лужне середовище внаслідок окислення піритовмістовних порід з оксидом заліза й елементної сіркою в породах, які входять до складу породного відвалу [1].

Температура дисоціації гідрокарбонату натрію становить  $60-200\text{ C}^0$ , що дає змогу застосовувати розчин при середній температурі при котрій відвал є палаючим –  $80\text{ C}^0$ . В науковій монографії вчених в області дослідження породних відвалів Зборщика М.П. й Осокіна В.В. «Предотвращение экологически вредных проявлений в породах угольных месторождений», 1996 року найбільш доцільним є застосування вапнякової суспензії (гідроксид кальція)  $Ca(OH)_2$  при обробці породних відвалів у розрахунку  $5-60\text{ кг на }1\text{ м}^3$  відвальної маси [2]. Однак слід зазначити дороговизну застосування даної суспензії та її відповідні

правила експлуатації внаслідок хімічно-агресивної реакції. Нижче наведена порівняльна таблиця (табл. 1) гідрокарбонату натрія та гідроксиду кальція.

Таблиця 1

Гідрокарбонат натрія		Гідроксид кальція	
			
Стан/початковий вигляд	Твердий/білий порошок	Стан/початковий вигляд	Твердий/білий порошок
Хімічна формула	$\text{CHNaO}_3$	Хімічна формула	$\text{Ca(OH)}_2$
Молярна маса, г/моль	84,0066	Молярна маса, г/моль	74,093
Щільність, г/см <sup>3</sup>	2,159	Щільність, г/см <sup>3</sup>	2,211
Температура, С <sup>0</sup> :		Температура, С <sup>0</sup> :	
-плавлення	60-200	-плавлення	512
-розкладання	-	-розкладання	580
Розчинність у воді, г/100 мл	9,59	Розчинність у воді, г/100 мл	0,185
Рівень небезпеки: 	1 – Зазвичай стабільні, але можуть ставати нестабільними при підвищенні температури і тиску (наприклад пропілен)	Рівень небезпеки: 	3 – Короткочасний вплив може призвести до серйозних тимчасових, або помірних залишкових травм (наприклад хлор, сірчана кислота)

**Висновки.** Таким чином запропоновано новий розчин для гасіння породних відвалів - гідрокарбонат натрію. Оскільки він безпечний при експлуатації й не потребує дороговизни виробництва. Проте потребує подальших лабораторних досліджень з метою визначення розрахунку оптимальної пропорції співвідношення застосування гідрокарбонату натрію й води на 1 м<sup>3</sup> транспортуючої відвальної маси з додаванням дрібнодисперсної пісчано-глинистої суміші в якості пластифікатора в залежності від метаморфізму відвальної маси, яка йде на формування породних відвалів.

#### Список літератури

1. Чоботько І.І., Тинина С.В. (2018). Методи та засоби локалізації осередків самозаймання породних відвалів. *Геотехнічна механіка*. 142. 134-140.
2. Зборщик М.П., Осокин В.В. (1996). Предотвращение экологически вредных проявлений в породах угольных месторождений. Монография. *Донецк : Изд-во ДонГТУ*. 178.



## ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД

<sup>1</sup>Ахмедова Н.М. – доктор философских наук (Phd), доцент,

<sup>1</sup>Карабекян С.Х.–ассистент

<sup>1</sup>Навоийский государственный горный институт, г. Навои, Узбекистан

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема загрязнения природных вод (рек, озер, грунтовых вод и т.д.), которая в настоящее время является наиболее актуальной. Рассматривается роль человека в загрязнении природных вод сбросами и отходами.

Вода – самое распространенное неорганическое соединение на планете; вода – основа всех жизненных процессов, единственный источник кислорода в главном движущем процессе на Земле – фотосинтезе.

С появлением жизни на Земле круговорот воды стал относительно сложным, т.к. к простому явлению испарения добавились более сложные процессы, связанные с жизнедеятельностью живых организмов, особенно человека.

Масштабы использования водных ресурсов в Узбекистане быстро увеличиваются. Это связано с ростом населения и улучшением санитарно-гигиенических условий жизни человека, развития промышленности и орошаемого земледелия. Суточное потребление воды на хозяйственно-бытовые нужды в сельской местности составляет 50л на 1 человека, в городах – 150л. Огромное количество воды используется в промышленности. На выплавку 1т стали необходимо 200м<sup>3</sup>, на производство 1т бумаги требуется 100 м<sup>3</sup>, на изготовление 1т синтетического волокна – от 2500 до 5000 м<sup>3</sup>[1]. Промышленность поглощает 85% всей воды, расходуемой в городах, оставляя на хозяйственно-бытовые цели около 15% [2].

Еще больше воды необходимо для орошения. В течение года на 1 га поливных земель уходит 12-14 м<sup>3</sup> воды. При сохранении таких темпов потребления и с учетом прироста населения и объемов производства к 2100 году человечество может исчерпать все запасы пресной воды.

Постоянное увеличение водопотребления на планете ведет к опасности «водяного голода», что обуславливает необходимость разработки мероприятий по рентабельному использованию водных ресурсов.

Кроме высокого уровня расхода, нехватки воды вызывается ее растущее загрязнение вследствие сброса в реки отходов промышленности и особенно химического производства и коммуникационных сточных вод. Бактериальное загрязнение и ядовитые химические вещества (например, фенол) приводят к омертвлению водоемов. Вредные вещества, поступающие в воды: токсичные синтетические вещества (применяющиеся в промышленности, на транспорте, в коммунально-бытовом хозяйстве), металлы (ртуть, свинец, цинк, медь, хром, олово, марганец).

В реки и озера поступают и вымываемые из почвы дождями минеральные удобрения – нитраты и фосфаты, которые в больших концентрациях способны резко изменить вид и состав водоёмов, а также различные ядохимикаты – пестициды, используемые в сельском хозяйстве для борьбы с насекомыми-вредителями.

Одним из видов загрязнения является тепловое загрязнение (электростанции, промышленные предприятия часто сбрасывают подогретую воду в водоем, что уменьшает количество кислорода, увеличивает токсичность примесей, нарушает биологическое равновесие). Сброс предприятиями теплых вод служит неблагоприятным фактором для аэробных организмов, обитающих в пресных водах.

Водоемы загрязняются в основном в результате спуска в них сточных вод от промышленных предприятий и населенных пунктов. В результате сброса сточных вод изменяются физические свойства воды (повышается температура, уменьшается прозрачность, появляются окраска, привкусы, запахи); на поверхности водоема появляются плавающие вещества, а на дне образуется осадок; изменяется химический состав воды (увеличивается содержание органических и неорганических веществ, появляются токсичные вещества, уменьшается содержание кислорода, изменяется активная реакция среды и др.); изменяется качественный и количественный бактериальный состав, появляются болезнетворные бактерии. Загрязненные водоемы становятся непригодными для питьевого, а часто и для технического водоснабжения; теряют рыбохозяйственное значение и т.д.

Из исследований выявлено, что необходимо ограничение промышленных сбросов в реки, озера и другие водные объекты, совершенствование технологий производства и технологий утилизации отходов, осуществлять жесткий контроль за сбросом с полей удобрений и ядохимикатов.

#### Список литературы

1. Юшманов, О.А. (ред.). (1985). Комплексное использование и охрана водных ресурсов. М.: Агропромиздат.
2. Туровский, И.С. (1984). Обработка осадков сточных вод. М.: Стройиздат.

## ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ ГІРНИЧОДОБУВНОГО ОБЛАДНАННЯ РІЗНИХ ТИПІВ ТА БОРОТЬБА З НЕГАТИВНИМИ НАСЛІДКАМИ.

<sup>1</sup>Ікол О.О.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, м. Дніпро, Україна

**Анотація.** У статті наведена інформація про основні джерела забруднення довкілля серед гірничодобувного обладнання та нароби щодо його зменшення. Запропонована технологічні схеми, які є близькими до потокової технології, у яких екскаватори на різних уступах здійснюють завантаження пристосованих для транспортування великих шматків та сприятливих в екологічному відношенні конвеєрів на перевантажувачах, також ці конвеєри сприймають гірничу масу з конвеєра перевантажувача, який працює на уступі нижче.

Гострою проблемою є техногенне забруднення довкілля. Це актуальне також для відкритої розробки родовищ. Щодо гірничодобувного обладнання, яке використовується на цій розробці та при експлуатації якого завдається шкода

довкіллю, слід визначити бурові верстати, екскаватори, бульдозери, грохоти, дробарки, автосамоскиди, залізничний транспорт, особливо тепловози, конвеєрний транспорт. Зрозуміло, що при експлуатації усіх зазначених типів обладнання здійснюється виділення пилу, а автосамоскидів та тепловозів також й вихлопних газів дизельних двигунів.

При постійному впливі вихлопних газів на організм можуть розвиватися імунodefіцит, бронхіти, страждають судини головного мозку, нервова система та інші органи.

У червні 2012 р. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) класифікувала вихлопи від дизельних двигунів як канцерогенні. Відповідно до висновків ВООЗ вплив РМ2.5 скорочує тривалість життя людей в середньому на 8,6 місяці [4].

У світі здійснюються заходи щодо вдосконалення кар'єрного автотранспорту, зокрема:

- встановлення каталітичних конверторів та нейтралізаторів, які, зокрема, знижують кількість чадного газу СО, який дуже небезпечний [4];
- запровадження ультразвукового очищення відпрацьованих газів автотранспорту [7];
- впровадження дизель-тролейвозів, троллейвозів, використання на автосамоскидах акумуляторів, зокрема з рекуперативним гальмуванням([4], [9], [10], [13], [15], [16]);
- впровадження на автосамоскидах електропривода з живленням від водневих паливних елементів([12], [14], [18]);
- використання у якості палива для автосамоскидів скрапленого природного газу [17].

Відносно тепловозів, слід зазначити такі напрямки екологічних розробок:

- розробка пристрою для ізоляції відпрацьованих газів двигунів тепловозів ([5], [6]);
- застосування замість теплових двигунів електричних з живленням від акумуляторів чи водневих паливних елементів ([18], [19]);
- застосування палива для тепловозів на основі гідрованої рослинної олії (НВО) [18];
- застосування в якості палива для тепловозів скрапленого природного газу [18].

Щодо конвеєрів, застосовуються такі заходи:

- облаштування укриття;
- використання трубчастих конвеєрів, конвеєрів з притискною стрічкою.

Метою цієї роботи є розробка технології, близької до потокової, яка передбачає транспортування гірничої маси після екскавації конвеєрами нових екологічно сприятливих конструкцій.

Відома потокова технологія з самохідними дробильними агрегатами, технологія з перевантажувачами. Відомі стрічкові конвеєри з опорами ковзання, які можуть зробити зайвими автосамоскиди та дробарки на глибоких горизонтах, але збільшують енерговитрати та зношення стрічок.

Вже багато років визначені спеціалісти ([21], [22]) ведуть розробки й удосконалення нового типу конвеєрів, які є крутопохилими конвеєрами для великошматкової гірничої маси з рисами трубчастих конвеєрів й працюючими з лопатевими живильниками. Ці конвеєри роблять зайвим використання автосамоскидів, грохотів та дробарок на глибоких горизонтах, знижують пиловиділення. До того ж, останні розробки дозволяють підвищити швидкість руху стрічки та зменшити габарити конвеєра. Проте автор немає інформації про конкретні конструкції та їх типорозмірний ряд.

Пропонується варіант (рис. 1), коли на кожному з уступів працює комплекс з екскаватора 1 та перевантажувача 2.

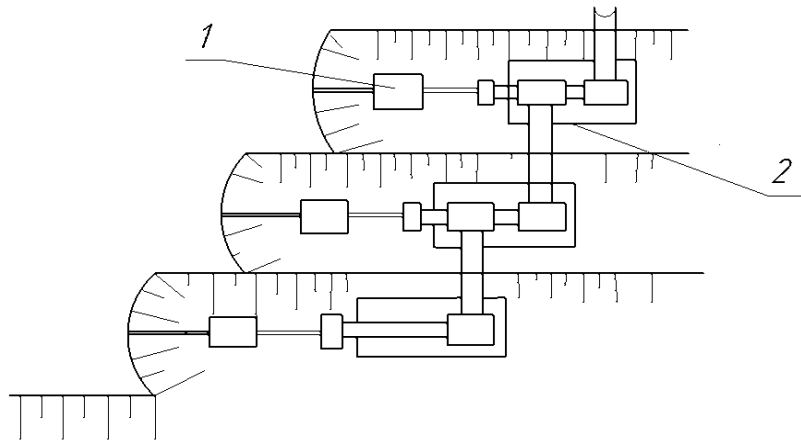


Рисунок 1 – Варіант розміщення обладнання в кар'єрі

На рамі 1 (рис. 2) перевантажувача змонтовані згадані крутопохилий трубчастий конвеєр для великошматкової гірничої маси 3 та його лопатевий живильник 2, підбункерний живильник 4. Розробки, що маються, дозволяють розташувати конвеєр поперек руху комплексу, а підбункерний живильник – уздовж. На підбункерному живильнику 4 розташовані два приймальні бункери – стаціонарний 5 для завантаження з екскаватора, працюючого на цьому уступі та приймальний бункер 6, пересувний уздовж живильника на випадок випередження – відставання комплексів, працюючих на різних уступах. Бункер 6 приймає гірничу масу з конвеєра перевантажувача, який працює на уступі, що розташований нижче. Можливі також виконання підбункерного живильника 4 з ламаною дільницею руху гірничої маси (з нахилом та горизонтально) з розташуванням бункера 5 на нахилі, а бункера 6 на горизонтальній частині, а також застосування двох живильників – похилого та горизонтального; використання приймального безролікового конвеєра; використання видалювача негабариту зі скиданням останнього набік, а іншої маси на конвеєр чи живильник. Підбункерні живильники можуть бути пластинчатими конвеєрами (продуктивність до 2000 т/год) або стрічковими конвеєрами з ковзанням.

Передбачені промислове телебачення та зв'язок між екіпажами комплексів.

Можливо розглянути ще один варіант перевантажувача. В ІГТМ були запропоновані варіанти пружних підвісок для стрічки стрічкового конвеєра у місцях завантаження з виготовленням цих підвісок з обрізків конвеєрних стрічок

[23-24]. Також в ІГТМ був запропонований спосіб транспортування насипних вантажів на крутопохилих конвеєрах [25], який передбачає застосування стрічкового конвеєра з роликівими опорами, які містять по два бічних та по два середніх ролики, розташовані «коритом»; розділення гірничої маси за шматкуватістю; заповнення спочатку стрічки на середніх роликах дрібною масою, потім великою, формування жолобчатості, підсипку другою частиною дрібної маси, підпружинювання.

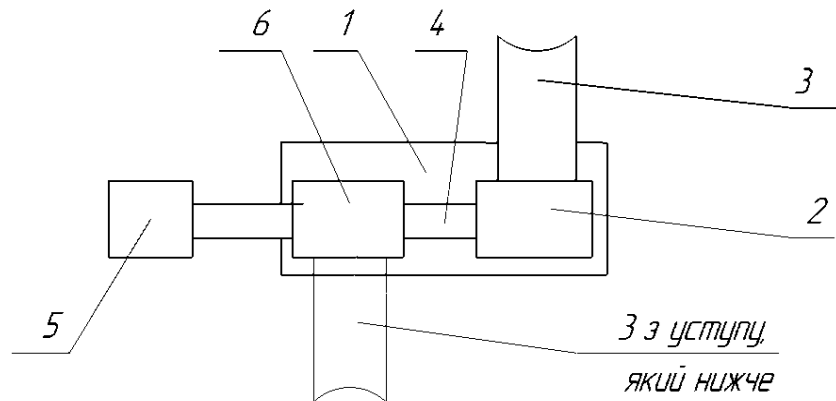


Рисунок 2 – Рама перевантажувача

У запропонованому варіанті ідеї [23] чи [24] з одного боку та [25] з іншого об'єднуються. Конкретно на перевантажувачі встановлено конвеєр, встановлено також живильник-грохот з двома приймальними бункерами. Живильник-грохот має ламану дільницю руху гірничої маси (з нахилом та горизонтально). У низу частині дільниці руху з нахилом встановлено стаціонарний приймальний бункер, який приймає гірничу масу з ковша екскаватора на цьому уступі. На горизонтальній частині дільниці руху встановлено пересувний приймальний бункер, який приймає гірничу масу з конвеєра перевантажувача, який працює на уступі, розташованому нижче. Пересування другого приймального бункера здійснюється у разі випередження-відставання комплексів, які працюють на різних уступах. У живильнику-грохоті дрібна маса відсіюється, а великошматкова транспортується до місця розвантаження. Частина дрібної маси подається на стрічку конвеєра для створення «подушки» посередині, великошматкова маса поступає на першу тічку-стінку, а потім на другу, а з другої – на середину стрічки конвеєра. При цьому також є ще одна тічка-стінка, яка спрямовує великошматкову масу на середину стрічки. Передбачається, що рами тічок-стінок встановлено на пневмогідроциліндрах, а також мають механізми коливальних рухів з метою запобігання заклинювання. При цьому напрям цих коливальних рухів протилежний. Подібно до того, як у [25] формується жолобчатість та засипається залишок дрібної маси. Але яка буде допускати шматкуватість – питання ще не вирішено. Може бути, що перевантажувач буде містити видалювач негабариту, якщо негабарит не перевищує 3 – 5%, немає необхідності у дробарці чи автотранспорті, розуміється, що екскаватор завантажує видалювач, негабарит відкидається на бік, інша маса йде на живильник.

У запропонованих у згаданих схемах перевантажувачах можливе застосування телескопічних систем з приймального та проміжного конвеєрів з механізмами підйому та повороту, що дозволить максимально наблизити місце завантаження приймального конвеєра до місця черпання, що зменшує підйом ковша екскаватора та поворот його платформи.

Також є інформація [26] про стрічкові конвеєри для великошматкових вантажів, які мають високу продуктивність – до 3500 т/год, велику протяжність траси, переміщують вантажі зі шматками 600 – 800 мм, масою до 500 кг. Мають прогумовану стрічку підвищеної надійності та високої амортизаційної здібності. Мають спеціальний завантажувальний пристрій, здібний приймати навантаження від падіння важких вантажів; комплект роликів опор, які закріплені на пружній станині. Завантаження здійснюється пластинчатим або каретним живильником, на стінці завантажувального пристрою, яка направляє, встановлено решітку для просівання дрібної маси.

У [27] йдеться про різноманітні конструкції роликів опор, зокрема канатний став, гірляндні роликові опори та інші, які дозволяють збільшити розмір шматка для конвеєрного транспортування, але залишають необхідність вторинного дроблення (первинне – вибухове).

Тому можливе поєднання ідей [26] та [27] з ідеями [25].

Можливий при цьому варіант з розташування під стрічкою конвеєра в місцях завантаження опор ковзаня.

У [27] пропонується використовувати для транспортування великошматкової гірничої маси без вторинного дроблення стрічкові конвеєри з магнітним підвісом, досліджені їх параметри.

**Висновки.** Таким чином ми бачимо, що нові конструкції стрічкових конвеєрів, здатних приймати та транспортувати великошматкову гірничу масу, можливо монтувати на міжступних перевантажувачах, які працюють на уступах кар'єру у комплексі з екскаваторами й створювати таким чином технологію, яка є близькою до потокової. Використання цієї технології зокрема робить зайвим використання на глибоких горизонтах кар'єру автосамоскидів та дробарок, що позитивно відображається на стані атмосферного повітря.

### Список літератури

1. Буровой станок КТ7С для карьерных и открытых горных работ/Буровая установка с погружным пневмоударником DTH Kaishan [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://ksdrilling.ru>.
2. Шешко, О.Е. (2009). Экологически безопасные транспортные средства для карьеров. *ГИАБ. отдельный выпуск* 6. 474 – 482.
3. Росьянский, Д.С. (2018). Опытные исследования процесса индивидуального пылеподавления карьерных автосамосвалов. *ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». Институт горного дела, геологии и геотехнологий. Кафедра «Горные машины и комплексы»*. Красноярск. 77 с.
4. Хазин, М.Л., Тарасов, А.П. (2018). Эколого-экономическая оценка карьерных троллейбусов. *Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. 17 (2). 166 – 180.
5. Ибатов, М.К., Алиев, С.Б., Балабаев, О.Т., Аскараров, Б.Ш. (2019). Основные результаты экспериментальных исследований изоляции отработавших газов ДВС карьерных тепловозов. *Уголь*. 7. 28 – 30.
6. Аскараров, Б.Ш. (2018). Исследование и разработка системы изоляции отработавших газов двигателей карьерных тепловозов: Аннотация диссертации на соискание учёной степени доктора

философии PhD по специальности 6D071300 – «Транспорт, транспортная техника и технологии» [Электронный ресурс] Режим доступа: kstu.kz.

7. Ибатов, М.К., Кадыров, А.С., Пак, И. А. [и др.] (2020). Результаты экспериментальных исследований работы ёмкостного оборудования ультразвуковой очистки отработавших газов автотранспорта. *Уголь*. 2. 7 – 78.

8. Институт горного дела им. А.А. Скочинского (1999). Методика расчёта вредных выбросов (сбросов) для комплекса оборудования открытых горных работ (на основе удельных показателей). *Министерство топлива и энергетики Российской Федерации. Национальный научный центр горного производства. Институт горного дела им. А.А. Скочинского*.

9. В Белоруссии представили дизель-троллейвоз БелАЗ Kaishan [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://topspb.tv>.

10. Хазин, М.Л., Штіков С.О. (2018). Карьерный электрифицированный транспорт. *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. 16 (1). 11 – 18.

11. Пульчев, М.А. Влияние на окружающую среду карьерного транспорта [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://rudocs.exdat.com>docs>index – 325481>.

12. Самый большой в мире самосвал станет водородным [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://mintrans.news>tech>samyu-bolshoy-v-mire-sa...>

13. Самый большой в мире электрогрузовик выработает больше энергии, чем потратит [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://ecotechnica.com.ua>.

14. Komatsu разработает водородные карьерные самосвалы [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://cfts.org.ua>news>2021/02/25>komatsu\\_gazr...](https://cfts.org.ua>news>2021/02/25>komatsu_gazr...)

15. Хазин, М.Л. (2019). Электрифицированный автотранспорт для подземных и открытых горных работ. *Известия УГГУ*. 129 (53). 128 – 135.

16. Транспортный экобум: дизель-троллейвозы возвращаются? [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://dprom.online>mtindustry>transportnyj-ecobu...>

17. Хазин, М.Л. (2019). Перевод карьерных самосвалов на газ в условиях Севера. *Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. 19 (1). 56 – 72.

18. Водород, батареи, растительное топливо: как «зелёный» тренд меняет автомобили и поезда [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://cfts.org.ua>vodorod\\_batarei\\_rastiteln...](https://cfts.org.ua>vodorod_batarei_rastiteln...)

19. В Польше грузовые поезда планируют перевести на водородное топливо [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://electrovesti.net>61993\\_v\\_polshe\\_gruzovye\\_poe...](https://electrovesti.net>61993_v_polshe_gruzovye_poe...)

20. Галкин, В.И. Шешко, Е.Е. (2014). Обоснование областей эффективного применения специальных видов конвейеров на карьерах. *ГИАБ*. СВ1. 400 – 410.

21. Мулухов, К.К., Беслекоева, З.Н. (2018). Модернизированный комплекс оборудования крутонаклонного конвейерного подъёмника для крупнокусковых горных грузов и глубоких карьеров. *ГИАБ*. 4. 179 – 188.

22. Мулухов, К.К. Беслекоева, З.Н. (2018). Изгибающийся трубчатый ленточно-колёсный конвейер для бесперегрузочного транспортирования грузов по пространственно-криволинейной трассе. *ГИАБ*. 7. 124 – 130.

23. Надутый, В.П., Бро, С.М., Белошин, Д.В. (2014). Исследование деформационных параметров приёмного устройства ленточного конвейера при ударных. *Геотехническая механика*. 114. 179 – 182.

24. Півень В.О., Романенко О.В., Максютенко В.Ю., Монастирський С.В., Мостовий Б.І., Кірія Р.В., Смірнов А.М.; заявник і патентовласник ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України (2007). Пат. № 87906 С2 UA МПК (2009) В 65 G 21/00 В 65 G 39/04 (2007.01) Секція стрічкового конвеєра для пункту навантаження/ -а 2007 12040, заявл. 31.10. 2007; опубл. 25.08. 2009, Бюл. № 16, 2009 р. 3 с.

25. Шевченко О.І., Бабій К.В., Левченко К.С., Ікол О.О.; заявник і патентовласник ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України (2015). Пат. № 96473 U UA МПК В 65 G 27/10 (2006.01) Спосіб транспортування насипних вантажів на крутопохилих кар'єрах / -у 2014 0864, заявл. 30.07. 2014; опубл. 10.02.2015, Бюл. № 3 – 4 с.

26. Назначение и область применения ленточных конвейеров [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.detalmach.ru>lect 26>.

27. Захаров, А.Ю. (2001). Системы магнитного подвеса в ленточных конвейерах для транспортирования крупнокусковой горной массы: диссертация ... доктора технических наук : 05.05.06.- *Кемерово*, 383.

## ПЕРСПЕКТИВИ РЕВІТАЛІЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ ЗОН МІСТ УКРАЇНИНА ПРИКЛАДІ ТЕС

<sup>1</sup>Ворон О.А., <sup>2</sup>Чайка Т.М.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, м. Дніпро,  
Україна

<sup>2</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ,  
Україна

**Анотація.** Проаналізовано стан теплових електростанцій (ТЕС) України і їх вплив на навколишнє середовище. Показано моделі ревіталізації, історію поширення проектів відновлення на території ліквідованих гірничих і промислових підприємств (промислових зон). Рекомендовано перепрофілювання існуючих промислових об'єктів у містах України, а саме території розташування площ відвалів золошлакових відходів (ЗШВ) і промислових будівель ТЕС та селітебної території навколо них за третьою моделлю ревіталізації «Повна заміна функцій».

В Україні працює 14 теплових електростанцій (ТЕС), освоєно 5 тисяч родовищ із 99 видами корисних копалин, серед котрих найбільш потужними є підприємства з видобутком залізної та марганцевої руд. Потужна робоча діяльність ТЕС, гірничодобувних і інших промислових об'єктів (промислові зони), розташованих у містах або поряд з ними, та низка доля утилізації відходів їх виробництва, призводить до поступового виснаження земельних, водних, мінерально-сировинних та біотичних ресурсів, що сприяє формуванню широкомасштабних загроз національній безпеці в екологічній і природно-техногенній сферах [1]. Підприємства ТЕС розташовують в жилих масивах міста або поруч з містом. ТЕС генерують електрику і теплову енергію шляхом спалювання вугілля марки АШ, Г. Тому і відносяться до одних з основних джерел забруднення повітря і ґрунту в містах (приблизно 70-80% у загальному обсязі забруднень по місту). За офіційними даними Міністерства енергетики встановлено, що станції середньої і великої потужності щорічно утворюють 500 тис. т золи. Об'єм накопичених відходів у відвалів золошлакових відходів (ЗШО) досягає 30 млн. т, площа землі відведеної під складування золи складає більш 200 га. З часом настає поступова деградація продуктивних земель і погіршується стан здоров'я людей, які мешкають на прилеглих територіях [2].

В регіонах країни реалізується ряд цільових програм, які направлені на створення екологічно безпечних та комфортних умов для життя населення області шляхом зменшення антропогенного навантаження й відновлення довкілля за рахунок впровадження інноваційних технологій виробництва, зменшення викидів парникових газів та підвищення рівня екологічної культури та свідомості суспільства. Але на мій погляд в них не достатньо приділяється уваги сучасним способам вилучення корисних компонентів з відходів ЗШВ, утилізації відвалів і ревіталізації промислових зон.

Актуальною проблемою при утилізації відходів є те, що продукти згоряння (шлаки) і зола виносу згідно застосовуваної технології складають гідротранспортом в котлован. При злитті пульпи в котловані в першу чергу осідають найбільш великі і важкі частинки, а легка фракція відноситься на далекі



відстані біля золівдвалів і ТЕС. В результаті змочування і при тривалім впливам атмосферних опадів ЗШВ окислюються, вилуговуються і руйнуються, що призводить до зміни мінералогічного і речового складу техногенних відходів. У цьому виді їх складніше переробляти для вилучення корисних і токсичних компонентів і застосовувати при проведенні ревіталізації промислових зон.

Метою роботи є обґрунтування напрямку ревіталізації таких екологічно небезпечних об'єктів, як золівдвал, золонакочувачі і промбудівлі ТЕС.

Кодексом України про надра (який розроблявся на початку ринкових економічних відносин) передбачено, що гірничі виробки і промислові об'єкти після закінчення експлуатації родовищ, консервації або ліквідації повинні бути приведені в стан, безпечний для людей і майна, придатний для використання згідно з земельним законодавством. Було виконано достатньо проектів пов'язаних з відновленням порушеного ландшафту за формою і властивостями до його природно-історичного стану. Тобто порушені землі рекультивували і повертали до застосування в сільському, лісовому господарстві, тощо. На даний час в розвинутих країнах Європи і поступово в Україні впроваджують проекти по ревіталізації порушених ландшафтів для того, щоб відновити території, котрі були структурно деградовані та ускладнюють розвиток міст і районів з урахуванням синтезу гірничої справи і ландшафтної архітектури все більш у рекреаційному напрямку.

Перші процеси ревіталізації на території ліквідованих гірничих і промислових підприємств розпочалися в 50–60-х роках ХХ століття в США та країнах Європи. Прикладами таких проектів є перетворення в озера буровугільних кар'єрів на півдні від Лейпцига з головною атракцією – плаваючі будинки (Німеччина) (85); спорудження футбольного стадіону «Брага Мунісіпал» в виробленому просторі гранітного кар'єру м. Брага (Португалія); озеро в сірчатому кар'єрі, м. Махув (Польща); створення у котловані алмазного кар'єру «Мир» міста «Еко-місто 2020» (Якутія); розташування еко-міста в просторі кар'єру по видобутку молибденових руд м. Єрван (Вірменія); розташування екзотичного готелю «Шімао» у середині частого заповненого водою вапнякового кар'єру глибиною 100 м у м. Сунзянь (Китай); проект формування постгірничого рельєфу в процесі відробки Мотронівського кар'єру у Дніпропетровській області, проект рекультивації території воронки Вдалими проектами з ревіталізації промислових об'єктів і селітебних до них територій міст в країнах світу є: потужний діловий центр Лондона, котрий був збудований на місці колишнього морського порту; мистецько-освітній кластер «Арт-завод Платформа», збудований на території закритого підприємства «Дарницький шовковий комбінат імені Яськова» в м. Київ; «Urban CAD» - простір для проведення фестивалів, виставок, концертів, конференцій та благодійних акцій на території закритого машинобудівного заводу у м. Херсон; «Промприлад. Реновація» - простір для реалізації комерційних та соціальних ініціатив на території колишнього заводу промислового обладнання м. Івано-Франківськ (Україна) та інші<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Відомості про проекти рекультивації і ревілітація порушених гірничими і промисловими підприємствами одержані з відкритих електронних ресурсі.

Існують наступні моделі ревіталізації промислових територій за [3]:

1. Зі збереженням виробничих функцій:
  - а) повна реставрація;
  - б) модернізація;
2. З частковою заміною функцій:
  - а) реконструкція планувальної структури;
  - б) музеєфікація;
  - в) впровадження нових об'єктів;
3. З повною заміною функцій:
  - а) перепрофілювання промислових об'єктів;
  - б) благоустрій порушених територій;
  - в) повний знос промислового об'єкту.

Створений проект ревіталізації завжди має оцінку ефективності за наступними показниками: інтереси власника; екологічна направленість; кількість новостворених робочих місць; збільшення обсягу інвестицій у регіон; динаміка кількості відвідувань регіону туристами та збільшення сплачуваних податків бізнесом (якщо проект ревіталізації передбачає наявність площ для комерційних проектів), тощо.

Рекомендовано для покращення екологічної безпеки і інфраструктури жилих масивів міст у рамках регіональних екологічних програм впровадження заходів щодо ревіталізації за третьою моделлю «Повна заміна функцій» території розташування площ відвалів золошлакових відходів (ЗШВ) і промислових будівель ТЕС (промислова зона) та селітебної території навколо них.

Ревіталізацію промислової зони ТЕС та селітебної території навколо них пропонується проводити поетапно. На першому етапі рекомендовано проведення збагачення ЗШВ з вилученням корисних компонентів (Ас, Li, V, Y, рідкоземельні і ряд інших металів) наприклад, з застосуванням методів флотаційного вилучення недопалу ЗШВ, термохлорування. А також переробка ЗШВ, як вторинної сировини в подальшому використанні, наприклад, у виробництві будівельних матеріалів, що можуть бути використовані при забудові майбутніх об'єктів; матеріалів для оформлення дорожнього покриття тощо. Другий етап включає роботи з технічній рекультивациі (консервації) золошлакових відвалів (відстійників) згідно підрозділу 1.4.1 на Додатку 1 [4]. Третій етап – проведення біологічної рекультивациі (ремедіациі) ґрунтового покриття після ліквідації відвалів ЗШВ з використанням способу пошарового нанесення суміші: зневоднений мул каналізаційних очисних споруд (КОС) та зола в співвідношенні 2: 1, 4: 1 з висіванням рослин сидератів сімейства бобових і хрестоцвітих [2]. Четвертий етап включає проведення робіт по розчистці русла річок, їх берегів від кущів очерету, дерев та мулу. Будівання набережної та благоустрій берегової лінії річки. П'ятий етап - ревіталізація площ ЗШВ, промислових будівель ТЕС та селітебної території навколо них з перепрофілюванням існуючих об'єктів в об'єкти за рекреаційним та суспільно-діловим, сільсько-господарчим, спортивно-розважальним призначенням, тощо.

Висновки.

На мій погляд, для оптимального розвитку міст країни необхідна гармонізація всіх складових міського простору. Таке впорядкування можливе шляхом його ревіталізації. Перетворення і відродження існуючих об'єктів житлової нерухомості, ліквідованих гірничих і промислових підприємств в об'єкти за рекреаційним та суспільно-діловим, сільсько-господарчим, спортивно-розважальним призначенням, тощо допоможе ефективно використовувати промислові території для розвитку ділової, транспортної і туристичної інфраструктур; задовольнити ряд суспільних потреб і покращити стан навколишнього середовища.

### Список літератури

1. Гайдін, А.М., Собко, Б.Ю. (2019). Ревіталізація. Відновлення порушених ландшафтів в зонах діяльності гірничих підприємств. *Дніпро: ПП Кулик В.В.*
2. Ворон, Е.А., Бабий, Е.В. (2021). Биологический способ рекультивации поверхности золошлаковых отвалов теплоэлектростанций. *Труды Сатпаевских чтений «Сатпаевские чтения 2021»*. Алматы. Взято з <https://official.satbayev.university/download/document/20338/%D0%A1%D0%B0%D1%82%D0%BF%D0%B0%D0%B5%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D0%A7%D1%82%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%202021%20-%201%20%D1%82%D0%BE%D0%BC.pdf>
3. Корниенко, С.В. (2019). Ревитализация производственных зон: поиск системного обновления города. *Энергосбережение*, 7, 16-18.
4. РД 34.02.202-95 (1997) *Рекомендации по рекультивации отработанных золошлакоотвалов тепловых электростанций*. Москва: ОРГРЭС. Взято з <https://dikipedia.ru/document/1724507>.

## ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ КЛИМАТИЧНИХ УМОВ

<sup>1</sup>*Івлев А.С., аспірант*

<sup>1</sup>*Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, м. Дніпро, Україна*

**Анотація.** В роботі для отримання прогнозу досліджено різні способи та методи, одним з яких є застосування апарату нейронних мереж. Для передбачення прогнозу погоди обрано архітектури нейронних мереж NAR (англ. Nonlinear Autoregressive Model) та NARX (Nonlinear Autoregressive Exogenous Model). В якості експерименту було прогнозовано динаміку температури повітря на 20 показників вперед.

**Вступ.** Прогнозування погодних умов є одною із найважливіших задач метеорології, адже вірний безпомилковий прогноз дозволяє розробити графік робіт у багатьох сферах життя та галузях промисловості, зокрема на гірничодобувних підприємствах. Для отримання прогнозу погоди використовують різні способи та методи, одним з яких є застосування апарату нейронних мереж.

**Мета роботи** - експериментально спрогнозувати динаміку температури повітря на 20 показників вперед, використовуючи обидві моделі нейромережі NAR (англ. Nonlinear Autoregressive Model) та NARX (Nonlinear Autoregressive Exogenous Model).

**Результати досліджень.** Для спроби передбачення погодних умов, візьмемо архітектури нейронних мереж NAR (англ. Nonlinear Autoregressive Model) та NARX (Nonlinear Autoregressive Exogenous Model), що використовуються у роботах [1-

2]. У якості експерименту спрогнозуємо динаміку температури повітря ( рис. 1) на 20 показників вперед, використовуючи обидві моделі нейромережі.

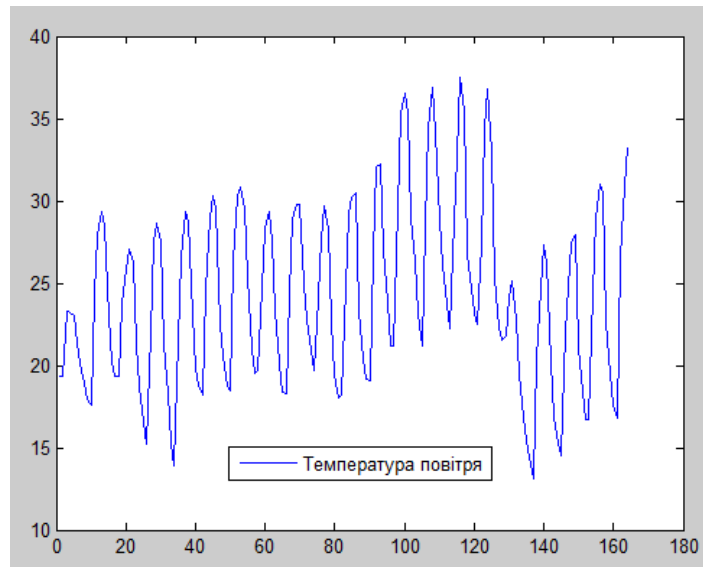
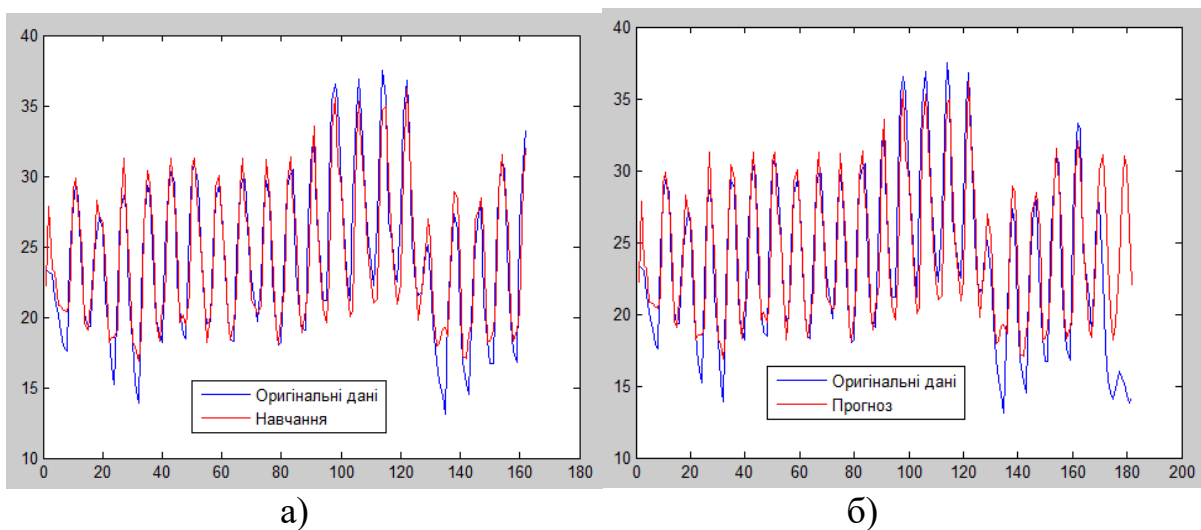


Рисунок 1 – Графік температури повітря.

Почнемо з нейронної мережі типу NAR. Результати прогнозу температури зображено нижче на рис. 2.



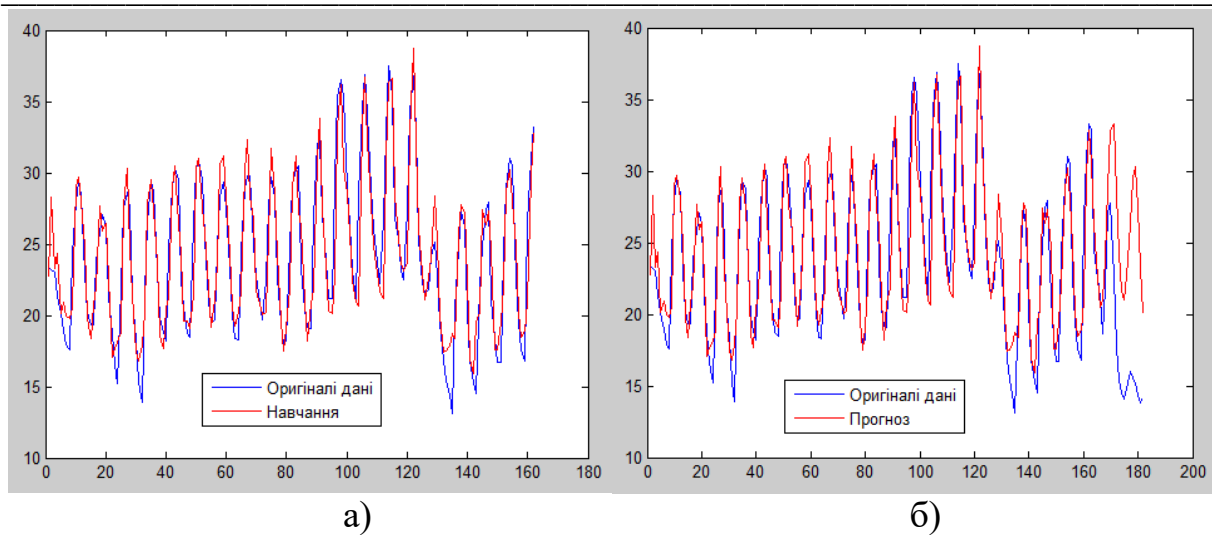
а) Навчання нейронної мережі NAR за вхідними даними;

б) Прогноз температури нейромережею NAR, із 20 наступними значеннями

Рисунок 2 – Графік температури повітря

Тепер спробуємо отримати цей самий прогноз за допомогою нейромережі NARX ( рис. 3).

Результати на рис. 2-3 свідчать, що навчання нейронних мереж на заданих вхідних даних відбувається досить прийнятно, проте є значні похибки у тих точках, де амплітуда коливання графіку досягає максимуму.



а) Навчання нейронної мережі NARX за вхідними даними;  
 б) Прогноз температури нейромережею NARX, із 20 наступними значеннями  
 Рисунок 3 – Графік температури повітря

**Висновки.** За результатами досліджень встановлено, що прогнозовані значення температури помітно відхиляються від справжніх показників, але у той же час передбачувана частина графіку демонструє таку ж динаміку розвитку, що й істинні значення температури. У подальших етапах експериментів планується модернізація алгоритмів прогнозування нейромереж для зменшення похибки та більш стійкого прогнозування даних мережею при значному коливанні ряду цих даних.

### Список літератури

1. Ивлев, А.С. Использование нейронной сети в задаче прогнозирования курса драгоценных металлов [Текст] / А.С. Ивлев // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем: Тези доповідей XVII Міжнародної науково-практичної конференції МПЗІС-2019, Дніпро, 20-22 листопада 2019 р. / Під загальною редакцією О.М. Кісельової – Дніпро: ДНУ, 2019. – С. 112–113.
2. Білозьоров, В.Є. Нейромережевий підхід для моделювання цін на ринку дорогоцінних металів [Текст] / В.Є. Білозьоров, А.С. Івлев // Питання прикладної математики і математичного моделювання [Текст]: зб. наук. пр. / редкол.: О.М. Кісельова (відп. ред.) [та ін.]. – Дніпро: Ліра, 2019. – Вип. 19. – С. 17–23.

## ПРОБЛЕМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ КРИВБАСУ І ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

<sup>1</sup>Малєєв Є.В.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, м. Дніпро, Україна

**Анотація.** Наведена техніко-екологічна характеристика підприємств гірничо-металургійного комплексу Кривбасу. Проаналізовані джерела шкідливого впливу об'єктів гірничого виробництва та надана їх кількісна характеристика. Наведена динаміка вилучення з сільськогосподарського обороту земельних ресурсів. Представлені пропозиції щодо зниження негативного впливу на земельні ресурси.

Гірничодобувна промисловість належить до тих галузей, які інтенсивно впливають на земельні ресурси в результаті своєї діяльності, що викликає різноманіття кількісних і якісних змін земель. Відбувається скорочення площ сільгоспугідь і земель іншого призначення в зв'язку з їх вилученням і порушенням, руйнуванням структури ґрунтового покриву, інтенсифікацією ерозії і мінералізації ґрунтів, перезволоженням, заболочуванням, підтопленням, засміченням та ін. Особливо це відноситься до розробки залізистих кварцитів відкритим способом в глибоких кар'єрах в умовах такого техногенного регіону як Криворізький залізорудний басейн.

У Кривбасі кар'єрами, шахтами, збагачувальними фабриками, хвостосховищами зайнято близько 50 тис. га. За 30 років ця площа збільшилася на 60%, за прогнозами планується зайняти ще понад 15 тис. га.

У процесі видобутку залізних руд щорічно утворюється понад 170 млн м<sup>3</sup> промислових відходів, які вивозяться у відвали, шламо- і хвостосховища, де вже розміщено понад 2,5 млрд м<sup>3</sup> відходів збагачення, вони займають площу близько 25 тис. га [1, 2].

В цілому викиди забруднюючих речовин в повітря тільки в 2011 році склали 109,8 млн т. Левова частка з них належить підприємству ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» – 89,2 тис. т.

Гірничорудні підприємства – кар'єри, породні відвали, хвостосховища, залізничний та автотранспорт за рівнем і масштабами впливу на атмосферне повітря є найбільш проблемними.

Як приклад, наведено конкретні якісні та кількісні показники забруднення, повітряного середовища на Ганнівському кар'єрі ПАТ «Північного ГЗК» і кар'єрі № 3 ПАТ «АрселорМіттал» на породних відвалах «Дальні» та в процесі складування відходів збагачення у хвостосховище «Миролюбівське» (рис. 1).

Таким чином, ці штучно створені техногенні геологічні середовища вилучили з народногосподарського користування величезні території родючих земель сільськогосподарських угідь та є джерелом негативного впливу на проблему збереження родючих земель і екологічну обстановку в регіоні в цілому. Так масштаби порушення земель ГЗК Кривбасу складають 21 тис. га з них 720 га тільки рекультивовано.

Вторгнення в надра надає загальне, часто вельми відчутний вплив на природу, і зокрема на земельні ресурси. Як зазначалося, виводяться з

користування орні землі, завдаючи шкоди зеленим насадженням, змінюються гідрогеологічний режим регіону, рельєф місцевості і рух повітряних потоків, забруднюються відходами виробництва поверхню землі, повітряний і водний басейни. При високій концентрації промислових об'єктів в місті Кривий Ріг утворюється значна кількість залишкових продуктів виробництва, які становлять загрозу навколишньому середовищу, в першу чергу земельним ресурсам.

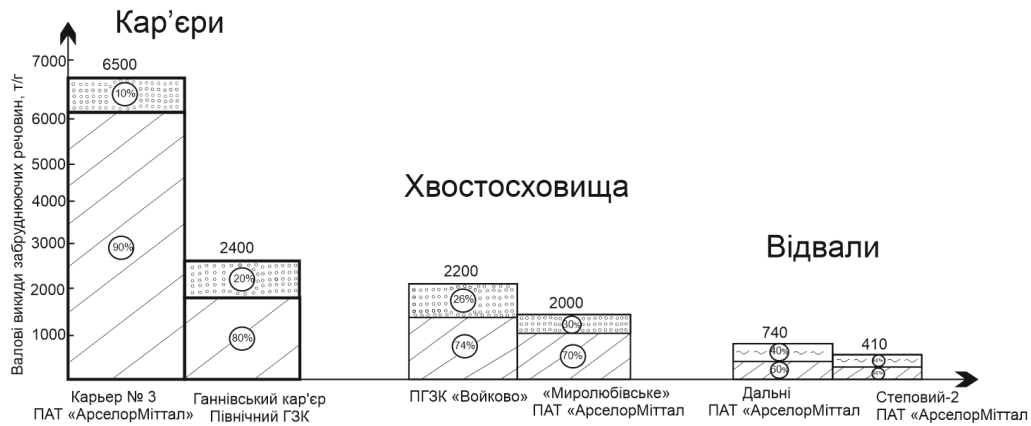


Рисунок 1 – Масштаби забруднення атмосферного повітря

Незважаючи на величезну промислову значимість видобутку залізної руди в Кривбасі, проблема збереження і відновлення земель в регіоні величезна і її необхідно вирішувати.

Рівень і масштаби впливу на земельні ресурси Кривбасу розглянуті на прикладі експлуатації двох кар'єрів, породних відвалів та хвостосховищ.

***Вилучення і порушення земель кар'єрами.***

До основних несприятливих впливів гірничих робіт в кар'єрах на земельні ресурси в першу чергу слід віднести:

- вилучення земель під кар'єри, відвали, хвостосховища та ін. Промислові об'єкти на поверхні;
- забруднення земель, їх ґрунтового покриву викидами газоподібних, рідких і твердих відходів.

Наведено площі порушених та рекультивованих земель кар'єрами ПАТ «Північного ГЗК» (Ганнівський) і ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (кар'єр № 3).

Таблиця 1

Показники	Ганнівський кар'єр, га	Кар'єр № 3, га
Земельний відвід	2122	
Гірничий відвід	816	486
Відвали	910	614
Кар'єр	815	486
Хвостосховище ПРАТ «Північного ГЗК»	1962	«Миролубівське»- площа чаші – 236 га
Проммайданчик	59	–
Порушено земель	1760	
Рекультивовано	420	

На кар'єрах із застосуванням буропідричних робіт у міру їх поглиблення і розширення кордонів бортів нерідко підлягають відселенню житлові квартали населених пунктів, які потрапляють в межі нормативної 1500-метрової санітарно-захисної зони (СЗЗ) (сел. Осички розташованим поруч з кар'єром № 3).

Особливості землекористування в районах відкритих гірничих виробок (кар'єрів) характерні тим, що сільськогосподарські землі межують з промисловою зоною, схильні до міській інфраструктурі і «інтенсивним» насиченням добривами фермерів. Це впливає на агробіологічні властивості ґрунтового покриття. Вплив здійснюється через викиди пилу, вихлопних газів, вміст в ґрунтах важких металів (до 30 видів хімічних елементів 1, 2 і 3 класів небезпеки), що призводить до їх деградації – зниження природної родючості.

***Перелік і масштаби впливів породних відвалів на ґрунти прилеглих земель.***

1. Вплив на ґрунтовий покрив здійснюється в радіусі десятків км в результаті запилення відвальних порід. Якість гумусового горизонту змінюється шляхом деградації ґрунтів, зміни їх механічних, водно-фізичних та агробіологічних властивостей.

2. Верхній найбільш родючий горизонт ґрунтів схильний до інтенсивної ерозії. Цей негативний процес виникає в результаті розмиву їх водними потоками і забруднення шкідливими речовинами, підвищення рівня ґрунтових вод в основі відвалу, а також в результаті атмосферних опадів.

3. Вплив на земельні ресурси за рахунок збільшення обсягів відсіпання відвалів («Дальні» ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» понад 60 млн м<sup>3</sup>), де площі земель зайнятих відвалами (в даний час 230 га) постійно зростає.

4. Основними забруднювачами ґрунтів в цьому районі є кварцовий пісок, свинець, мідь, кадмій та ін. елементи. Аналіз показників забруднення ґрунту важкими металами в районі розташування відвалів «Дальні» вказує, що ґрунти є небезпечними, так як використовуються для вирощування продуктів харчування і на корм худобі, а це не виключає шкідливого впливу цих культур для здоров'я людей.

Безпосередньо вільних земельних угідь, прилеглих до відвалів «Дальні», як і межах СЗЗ немає. Земельні площі в цій промзоні зайняті промисловими об'єктами.

***Особливості забруднення земель при експлуатації і реконструкції хвостосховищ.***

На прикладі хвостосховища «Миролюбівське» ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» розглянуті типові для нього особливості забруднення прилеглих земельних площ.

Основними факторами, які впливають на земельні ресурси в районі хвостосховища є:

- вилучення земель під влаштування огорожувальних дамб, території під укладку пульповодів, під чашу хвостосховища та інші об'єкти хвостового господарства;



- забруднення пилом від сухих «пляжів», прилеглих до хвостосховища земель;

- забруднення прилеглих земель і їх ґрунтовий покрив пилом і вихлопними газами гірничо-транспортного устаткування при експлуатації і реконструкції хвостосховища.

При цьому порушується природний стан ґрунтового покриву, фізико-механічне перетворення ґрунтів, пов'язане з прокладкою пульповодів і ін. комунікацій.

Основними забруднювачами прилеглих земель, їх ґрунтового шару є кварцовий пісок, глини, сланці, вапняк і важкі метали.

Аналіз карт забруднення ґрунтів в районах розташування аналогічних хвостосховищ України показує, що рознос забруднюючих речовин залежить від висоти дамб і потужності (площі) сухих «пляжів» намивають хвостів. При цьому поблизу хвостосховища спостерігається т.зв. буферна зона, а ореол впливу на ґрунти простежується на відстані до 2 і більше км від джерела забруднення.

### **Заходи щодо зниження негативного впливу на земельні ресурси.**

*На кар'єрах.*

1. Заходи пилового погашення при веденні видобувних робіт.  
2. Основним ґрунтозахисним заходом на кар'єрах є своєчасна рекультивация земель.

3. Вдосконалення технологічних схем формування техногенного ландшафту при різних напрямках переміщення фронту гірничих робіт [3].

*На відвалах.*

1. Не планувати додаткове відведення земель під розміщення відвалу.  
2. Заходи щодо пилопогашення в процесі навантаження, транспортування і розвантаження порід на відвалі, а також зрошення робочих місць.

3. Заходи щодо пилопогашення поверхні відвалів і організація постійного контролю за виділенням пилу і за станом ґрунтів навколо відвалу.

4. Здійснювати планову рекультивацию поверхні відвалу.

*На хвостосховищах.*

1. Застосування системи картового намиву, при якій під водою буде знаходитися практично вся площа хвостосховища, що зведе викиди дрібних сухих пісків, що забруднюють прилеглі землі до мінімуму.

2. Одним з основних заходів по боротьбі з виділенням пилу сухих «пляжів» є застосування розчину сульфатного мила для закріплення їм пилить поверхні пилять зневоднених ділянок.

3. Зрошення водою робочих місць, поверхонь хвостосховища та схилів дамб.

4. Постійний контроль за рівнем забруднення ґрунтів в районі проведення робіт.

5. В якості основного заходу щодо зниження впливу хвостосховища на земельні ресурси, перш за все, слід віднести комплекс робіт по рекультивации законсервованих хвостосховищ.

### ***Рекультивація порушених земель.***

Одним з головних ґрунтозахисних заходів при видобутку корисних копалин є відновлення порушених земель – їх рекультивація, що складається з двох етапів ґірничотехнічна і біологічна [4, 5].

Ґірничотехнічна рекультивація включає: зняття і консервацію ґрунтового шару перед початком ґірських робіт в кар'єрі і відсипання відвала; відновлення порушених земель (розбирання відвалів, засипка провалів, очищення території, вирівнювання ділянок, терасування, забезпечення стійкого стану відвалів від водної та вітрової ерозії та ін.); гасіння палаючих відвалів; утилізація порід відвалів; створення родючого ґрунтового шару (забезпечення необхідного гідрологічного режиму, підготовка сприятливих ґрунтосумішей).

Земельні ділянки, що наводяться в стан, придатні для використання в сільському господарстві, повинні бути сплановані, покриті родючим ґрунтовым шаром, обладнані в необхідних випадках дорогами, дренажем та іншими комунікаціями і спорудами. Ділянки повинні бути зручні для виконання сільськогосподарських робіт із застосуванням сучасних машин, мати рівень ґрунтових вод, що забезпечує оптимальні умови для проростання рослин.

На сучасному етапі проведення робіт по рекультивації земель основним є відновлення рельєфу (мезорельєфу) близького до природного порушених ґірничими роботами [6].

Території, порушені внаслідок розробки рудних та інших родовищ, як правило, не мають родючого ґрунтового шару, що істотно ускладнює використання земель в народногосподарських цілях (особливо для сільськогосподарського виробництва). Для створення родючого шару спочатку слід провести роботи по оформленню рельєфу місцевості.

Відвали, на яких необхідно виконати природоохоронні заходи, в більшості представлені конічними, плоскими і пластоподібними техногенними формами.

Біологічна рекультивація – це комплекс робіт з нанесення біологічно активного шару шляхом меліорації, сівозмін, підбору видів рослин і ін.; відновлення біологічного потенціалу землі (внесення добрив, посів почвополіпшуючих рослин і ін.); озеленення відвалів; проведення протиерозійних заходів; відновлення естетичної цінності порушених територій.

При видобутку залізної руди в Кривбасі в незначних масштабах проводиться відновлення порушених ґірничими роботами земель ґірничотехнічна і біологічна рекультивація. Однак діяльність ґірничо-металургійного комплексу Кривого Рогу з рекультивації використаних земель в даний час визнана незадовільною. Загалом під промислові землі відведено 16,8 тис. га (40% від загальної території міста), з них 78% використовуються підприємствами ГМК для видобутку корисних копалин. Планові обсяги робіт по рекультивації земель (ґірничотехнічна – 158,3 га, біологічна – 156 га) були затверджені ще в 2004 р. На даний момент виконані наступні обсяги ґірничотехнічна рекультивація на площі 70,8 га, що становить 44,8% від запланованих обсягів. Біологічної рекультивації виконано на 89% (140 га) від запланованої площі [1].

В Інституті геотехнічної механіки НАН України розроблено та запатентовано нові прогресивні способи пошаровим рекультивації порушених земель, які дозволяють з високою екологічною ефективністю здійснити рекультивацію земель у Кривбасі.

**Висновки.** За результатами проведених досліджень встановлено основні об'єкти шкідливого впливу гірничо-збагачувальних комбінатів на навколишнє середовище Кривбасу. Надана кількісна та якісна оцінка цього впливу. Запропоновані заходи щодо зниження негативного впливу на земельні ресурси.

### Список літератури

1. Ступнік, М.І., Ковальчук, В.А., Буханець, В.В., Ртіщев, Б.А. (2013). Теоретичні засади еколого-ресурсозберігаючих технологій прикінцевої експлуатації залізрудних родовищ. *М. Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ»*. 228.
2. Закон України "Про відходи" (зі змінами та доповненнями) від 05 березня 1998 року № 187/98-ВР URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80>.
3. Малеев, Е.В. (2017). Направление развития горных работ по восстановлению ландшафта нарушенных территорий при открытой разработке горизонтальных месторождений. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 4. 63-70.
4. Дриженко, А.Ю. (1985). Восстановление земель при горных разработках. *М.: Недра*. 240.
5. Четверик, М.С., Стеценко, Н.М., Ворон, Е.А. (2008). Повышение качества нарушенных горными работами земель при их послойной горнотехнической и биологической рекультивации. *Разработка рудных месторождений. Науч. технич. сборник*. 92. 28-32.
6. Четверик, М.С., Малеев, Е.В. (2017). Обоснование технологии восстановления мезорельефа при использовании отвалообразователя-метателя. *Геотехническая механика*. 137. 202-212.

## РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ВИГОТОВЛЕННЯ НАГОЛІВ'Я З УРАХУВАННЯМ ДАНИХ ЗД МОДЕЛЕЙ ГОЛІВ КОРИСТУВАЧІВ

<sup>1</sup>Чеберячко Ю.І., д.т.н., проф., <sup>1</sup>Радчук Д.І., к.т.н., доц., <sup>1</sup>Столбченко О.В., к.т.н., доц., <sup>1</sup>Наумов М.М., к.т.н., доц., <sup>2</sup>Книш І.М., аспірант  
<sup>1</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна  
<sup>2</sup>Фізико-хімічний інститут захисту навколишнього середовища і людини МОН України та НАН України, Одеса, Україна

**Анотація.** З урахуванням переміщення домінуючих областей (перенісся наголів'я акулова зона), необхідно визначити граничні значення, які характеризуватимуть основне статико-динамічне положення та показники задовільного балансу півмаски в статиці, які забезпечують оптимальне значення щільності її прилягання до обличчя. У результаті проведеної роботи було запропоновано алгоритм проектування наголів'я фільтрувального респіратору.

**Вступ.** Для створення умов управляючої взаємодії елементів системи «голова-півмаска» необхідно закласти базовий рівень динамічної відповідності між ними. Умовами для проектування даної системи є: [1]

- забезпечення ступеню свободи руху підборіддя при розмові та визначення амплітуди відхилення нижньої щелепи голови.
- відсутність обмежень на переміщення граничних ділянок півмаски та аналогічних ділянок тіла, тобто зміщення ведуться в єдиній системі.

**Результати досліджень.** Методика визначення перевірки взаємодії елементів системи «голова-півмаска» включає наступну послідовність дій:

1. побудова ескізів наголів'я та визначення їх геометричних параметрів(товщини та довжини) для визначення оптимального місця контакту між обличчя та головою користувача та встановлення позиціонування півмаски на обличчі

2. розрахунок моделей наголів'я для півмаски при динамічних змінах в залежності від її типів; тобто необхідно враховуючи антропометричні параметри голови у різних статичних положеннях наприклад, при розмові, на основі методу накладання 3д моделі півмаски на відповідну модель голови користувача людини.

3. визначення раціональних геометричних параметрів наголів'я для забезпечення щільності прилягання півмаски і мінімального тиску на голову користувача.

**Результати досліджень.** Перший етап передбачає розробку ескізних рішень, які дозволять визначити порядок розрахунку геометричних параметрів наголів'я. Для побудови ескізу визначалися ключові точки, для цього на виді зверху визначалися точки країв вуха і описується чотирикутником ABCD потім визначаємо середину сторін АВ та CD , як це показано на рис. 1, та отримуємо точки Е та F через які проводимо лінію.

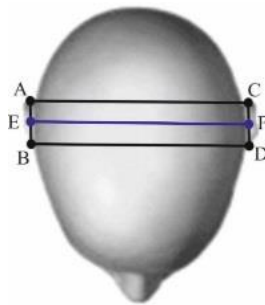


Рисунок 1 - Визначення початкових ключових точок

Наступний етап передбачає визначення середини відрізка лінії EF та проведення перпендикулярної лінії до матушки голови та краю носу таким чином отримуємо перпендикулярну лінію HI, як наведено на рис. 2. Для визначення крайніх точок геометрії наголів'я необхідно поділити лінії EG та GF навпіл та отримати точки J та K. Потім від точки I провести лінії через точки J та K до дуги яка проходить через точки E H F (рис.3). У разі побудови трапеції виникає необхідність проведення дотичної лінії OP до точки G, до верхівки голови, яка повинна бути паралельна лінії EF (рис. 4). Узагальнюючи всі методи зводимо їх до трикутника який має фіксовану висоту на основі довжини лінії HI тобто при визначенні у нас  $HV=0,18-0,34\% \cdot$  довжину лінії HI. Окрім того можливо використовувати метод якщо за ключові точки брати центр ока, приклад побудови на рис. 5. Тобто дану систему можна розглянути як два прямокутні трикутники, звідси маючи розміри HI визначаємо довжину лінії HV, потім за формулою (рис. 6)

$$LH = HV/\sin(\alpha)$$

де  $\alpha$  – кут, який знаходиться в межах від  $(30^0$  до  $45^0)$ .

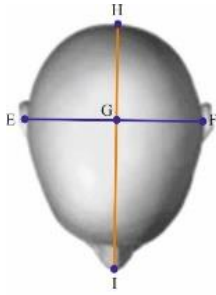


Рисунок 2 - Визначення центральної точки наголів'я

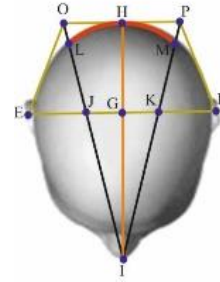


Рисунок 3 - Визначення точок перетину і отримання довжини наголів'я

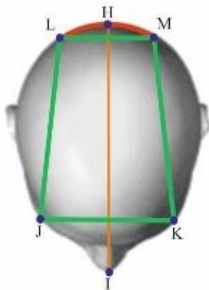


Рисунок 4 - Метод трапеції

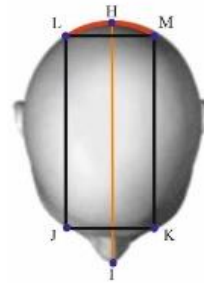


Рисунок 5 - Визначення траєкторії по ключовим точкам середини очей

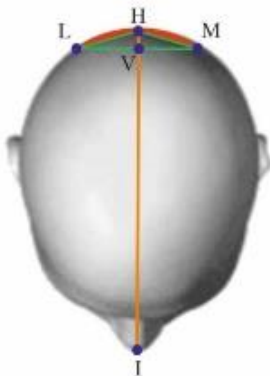


Рисунок 6 - Розрахунок довжини елементів кріплення наголів'я

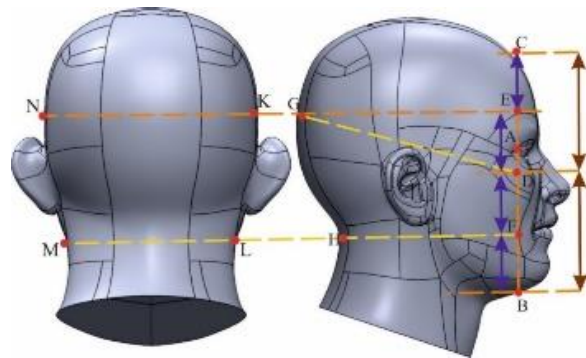


Рисунок 7 - Визначення точок для кріплення наголів'я

Далі виникає необхідність визначення місця кріплення наголів'я на корпусі півмаски для чого скористаємось наступною схемою (рис. 7).

Для зменшення больових відчуттів на голові необхідно досягти однакового тиску на елементах кріплення наголів'я  $\sigma$ . Нехтуючи нерівномірністю розподілу цього тиску за площею контакту, його середні значення можна розрахувати за формулами

$$\sigma = \frac{R}{S}; \quad \text{кПа,}$$

де  $S$  – площа контактної зони за стрічками наголів'я,  $\text{м}^2$ .

Виходячи з наведено порядку визначення антропометричних точок було розроблено декілька варіантів наголів'я. Спочатку, виходячи з наведеного вище підходу визначались ключові антропометричні точки за якими прорисовували ескіз наголів'я (рис. 8).

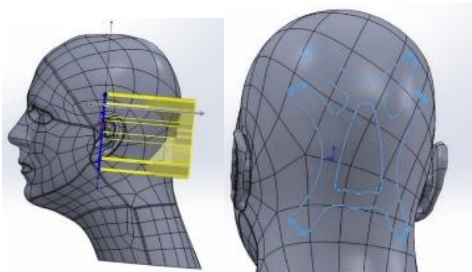


Рисунок 8 - Нанесення контурів наголів'я за ключовими антропометричними точками

Далі, виходячи з розмірів голови визначалась довжина смужок наголів'я з урахуванням параметрів еластомірних стрічок для отримання відповідного зусилля, також було опрацьовано декілька різноманітних варіантів, які дозволять забезпечити рівномірний розподіл зусилля на голову працівника від ваги півмаски з фільтрами, який потім детально прорисовувався для одержання тривимірного зображення. Кожний із запропонованих варіантів перевірявся ІСР-алгоритмом, який дозволяє зіставляти тривимірні поверхні  $S_1, S_2$ .

Він який заснований на мінімізації відстані і між точками цих поверхонь, які порівнюються як об'єкти лінійного простору  $p(S_1, S_2)$ , а ймовірність збігу представляє собою норму  $\|S_1 - S_2\|$  в цьому просторі з урахуванням різниці між розмірами сіток побудови обличчя і півмасок, тоді площу збігу двох поверхонь можна оцінити за формулою

$$\begin{aligned}
 (S_1, S_2) = & k_{п1} \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_1} (n_i^1, n_j^1) e^{-(c_i^1 - c_j^1)^2 / \sigma^2} \\
 & + k_{п2} \sum_{i=1}^{N_2} \sum_{j=1}^{N_2} (n_i^2, n_j^2) e^{-(c_i^2 - c_j^2)^2 / \sigma^2} \\
 & - 2k_{п1} k_{п2} \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} (n_i^1, n_j^2) e^{-(c_i^1 - c_j^2)^2 / \sigma^2}
 \end{aligned} \tag{1}$$

де  $N_1, N_2$  – кількість точок у вихідних тривимірних поверхнях  $S_1, S_2$ ;  $c_i$  – центроїд  $i$ -то трикутника;  $n_i$  – вектор нормалі до  $i$ -то трикутника довжина до якого дорівнює площі цього трикутника;  $\sigma$  – площа поверхні трикутника;  $k_{п1}, k_{п2}$  – коефіцієнт, який враховує невідповідність точок обличчя і півмасок.

Для визначення відповідності наголів'я півмасок використали спеціальний алгоритм, який складається з декількох кроків

- визначення розмірів зон обличчя, які характеризуються однаковою пружністю ділянок;
- встановлення параметрів сітки для деталізації областей дослідження, яка наноситься на моделі обличчя і півмаску;
- розрахунок площі контакту між півмаскою і обличчям для оцінки щільності прилягання через порівняння встановлених контактних плям (рис. 11).

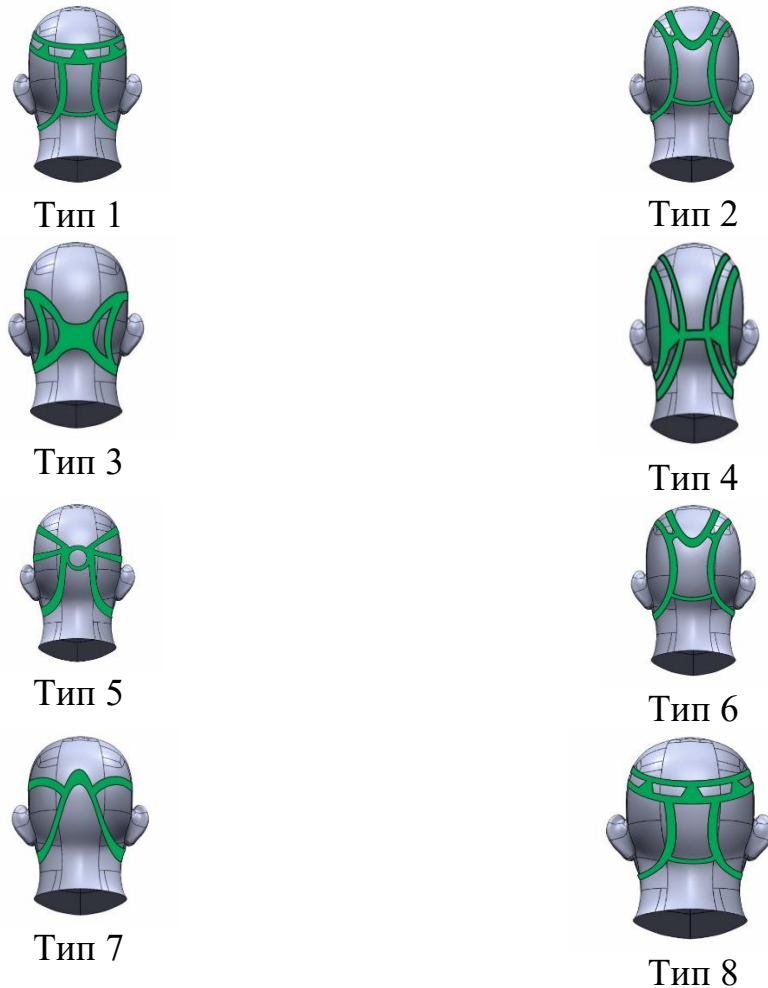


Рисунок 9 - Конструкції наголів'я для багаторазових респіраторів



Рисунок 10 - Вигляд каркасів наголів'я

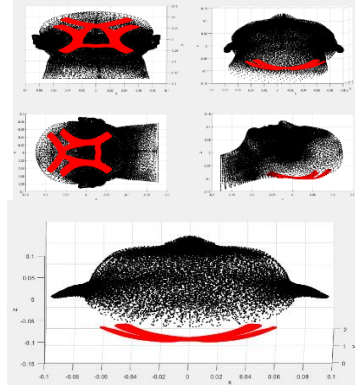


Рисунок 11 - Поєднання наголів'я з моделлю голови для визначення площі співпадиння та розподілу притискного зусилля

В таблиці 1 наведені результати моделювання для визначення найбільш раціональної конструкції наголів'я.

Таблиця 1 – Результати моделювання з поєднання наголів'я з головою користувача

Тип конст-рукції	Параметри сітки наголів'я, шт	Площа контакту з головою, см <sup>2</sup>	Величина зусилля, Н	Величина тиску, Па	Зменшення величини тиску по відношенню зі звичайною стрічкою, %
1	5000	19	5	263,2	57
2		15		333,2	46
3		24		208,3	66
4		21		238,1	61
5		17		294,1	52
6		15		333,3	46
7		14		357,1	42
8		21		238,1	61

**Висновки.** У результаті проведеної роботи було запропоновано алгоритм проектування наголів'я фільтрувального респіратору, який за основу використовує ключові антропометричні точки, що визначаються за даними цифрової моделі. В подальшому було запропоновано декілька типів конструкції наголів'я, раціональна конструкція яких визначалась за площею прилягання і величиною тиску на голову користувача.

#### Список літератури

1. Bazaluk, O., Ennan, A., Cheberichko, S., Deryugin, O., Cheberichko, Y., Saik, P., Lozynskyi, V., Knysh, I. (2021). Research on Regularities of Cyclic Air Motion through a Respirator Filter. Applied Sciences, 11, 3157. DOI: 10.3390/app11073157.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СКИПОВ В КОНСТРУКЦИЯХ КАНАТНО-ПРОФИЛЬНЫХ ПРОВОДНИКОВ

<sup>1</sup>Рубель А.А., канд .техн. наук

*<sup>1</sup>Государственное предприятие «Объединенная компания «Укруглереструктуризация», Киев, Украина*

**Аннотация.** Исследованы существующие нагрузки, возникающие под действием диссипативных сил на углы поворота сосудов вокруг своей оси и при движении их в канатных в канатно-профильных проводниках, а именно: - кручения канатов, - аэродинамической силы; - действие эксцентриситета в лобовой и боковой плоскости. Исследованы преимущества и недостатки гибкой и жесткой армировок ствола, разработаны схемы компоновки сосудов в стволе с канатно-профильными проводниками, проведен сравнительный анализ показателей.

Разработаны формулы расчета: - влияния натяжения, -кручения, - действия аэродинамических сил, эксцентриситета загрузки сосуда действующие на поворот сосуда вокруг своей оси, - зазоров безопасности; между движущимися гружеными сосудами смежных подъемных установок в кпп. По исходным данным выполнены расчеты, позволяющие провести сравнение основных характеристик канатной и канатно-профильной армировки ствола.

**Введение.** Вертикальные стволы являются основными выработками, обеспечивающими функционирование транспортных систем шахты, вентиляцию горных выработок, электроснабжение и другие коммуникационные процессы необходимые для жизнедеятельности предприятия. Для движения сосудов они оборудуются соответствующими армировками жесткими и гибкими, в которых в качестве проводников используются различные направляющие (проводники): для жестких - коробчатые, рельсовые, деревянные проводники; для гибких – стальные канаты.

### **Анализ литературных источников и постановка проблемы**

Жесткая армировка стола обеспечивает направленное движение сосудов в стволе для транспорта: - полезных ископаемых; - подземного персонала; - материалов и оборудования состоит из вертикально расположенных проводников (рельсовых Р38-43 и коробчатых), закрепленных на поперечно установленных балках (расстрелах).

Значительное влияние на конструкцию армировки оказывают горизонтальные нагрузки, возникающие в системе «сосуд-армировка» под влиянием различных факторов:

а) движения сосудов с загрузкой с эксцентриситетом;

б) движения в искривленных проводниках;

в) переменной жёсткости армировки на расстреле и между расстрелами,

и прочее, в результате чего в стволах происходил интенсивных выход из строя элементов армировки.

Впервые попытка измерения горизонтальных нагрузок, действующих на жесткую армировку, была проведена фирмой ГНН в Германии в 1939 [1] путем установки на клеть самопишущего прибор, но по полученным виброграммам можно было определить только состояние проводников. Дальнейшее развитие исследований в ФРГ привело к появлению в 1957 году новых постановлений горной инспекции [2], в которых производились рекомендации к определению

горизонтальных нагрузок действующие на проводники, далее исследования, производимые на экспериментальной шахте «Тремония» [3-4] были направлены не на изучение динамики в системе «сосуд-армировка» а не решение частных вопросов.

В 1985 году на основе исследований советскими учеными динамики взаимодействия подъемного сосуда с неравномерно упругими проводниками выходит методика расчета армировок вертикальных стволов шахт [5] позволяющая наиболее полно определить параметры системы «сосуд-армировка».

Существует также гибкая армировка, где в качестве направляющих проводников используют стальные канаты, закрепленных в копре и натянутые при помощи натяжных грузов, распложенных в зумпфовой части ствола.

В 1980 году при финансовой поддержке Комиссии европейских сообществ (Luxembourg - October 1980) [6] были проведены исследования шахтных стволов Англии, ФРГ, ГДР, Чехии с канатными проводниками и определены основные методики их расчета и предохранительные зазоры безопасности.

В 1982 году на основе исследований советских ученых в СССР вышли методики расчета гибкой армировки ствола - «Нормы безопасности на проектирование и эксплуатацию канатных проводников многоканатных подъемных установок» и «Нормы безопасности на проектирование и эксплуатацию канатных проводников одноканатных подъемных установок» [7], расчет и выбор основных зазоров между движущимися сосудами и стенками ствола осуществлялся с учетом многих факторов.

В последнее время канатно-профильная армировка с канатно-профильными проводниками и консольно-демпфирующими расстрелами [8, 9, 10], позволяет минимизировать недостатки существующих конструкций армировки (жесткой и гибкой) и увеличить уровень жесткости на изгиб и поворот проводника и эксплуатационных показателей, в сравнении с описанными системами.

#### **Цель и задачи исследований.**

1. Обоснование конструктивных и эксплуатационных характеристик армировки вертикальных шахтных стволов с канатно-профильной проводниковой системой.

2. Расчет динамических и статических нагрузок в вертикальных канатно-профильных системах с учетом возникновения лобовых и боковых горизонтальных диссипативных сил, возникающих в результате действия кориолисовой силы инерции, сил инерции, возникающих при аварийном и предохранительном торможении, аэродинамических сил по глубине ствола и в месте встречи сосудов в середине ствола, кручения подъемных канатов, неточности стыков канатно-профильных проводников, эксцентricности загрузки сосудов, допустимого изгиба проводника и отклонения от вертикали - все это учитывалось при конструировании системы.

3. Оценка технико-экономических показателей применения канатно-профильных проводников в армировках вертикальных шахтных стволов.

4. Сравнительная оценка надежности, срока службы и износостойкости канатно-профильной армировки.

5. Обоснование и расчет канатно-профильной проводниковой системы с переменным количеством несущих канатов в проводнике;

6. Расчет, конструктивные и технологические исследования канатно-профильных проводников при применении в их конструкциях несущих канатов из высокопрочных полимерных материалов.

7. Направляющие устройства подъемных сосудов их конструктивные, и технологические особенности для обеспечения направленного движения сосуда по глубине ствола в канатно-профильных проводниках.

8. Обоснование количества консольно-демпфирующих расстрелов и расчет дискретного шага их расположения в системе армировки ствола с канатно-профильными проводниками (в середине ствола).

9. Обоснование снижения аэродинамического сопротивления шахтного ствола, оборудованного канатно-профильной армировкой.

10. Обоснование снижения влияния горно-геологических факторов на канатно-профильную армировку и консольно-демпферные расстрелы путем расчета количества и конструкций заделок в крепи ствола.

11. Многороликовые направляющие устройства выбираются с помощью диссипационных сил, действующих в системе сосуд-проводник с постоянной жесткостью по глубине ствола и обеспечением необходимой кинематической связи при этом силы трения качения, являются линейной функцией изгиба проводника и интенсивности подъема.

#### **Содержание исследований.**

При движении сосудов по глубине ствола, в результате действия различных факторов, возникают горизонтальные силы, действующие на КПП.

Значение крутящего момента, зависит от кручения подъемных канатов; влияния исходящей струи воздуха со скоростью  $V_{исх} = 16 м/с$  для скипового подъема; действия сил Кориолиса; возникающих аэродинамических сил в месте встречи сосудов; загрузки скипов с эксцентриситетом. Для многоканатной подъемной установки для груженого скипа

$$M_{кр.груз.скипа} = c k_c d Q_1 + A_1 + P_{общ}^{экс} + K + A_3, \text{ Н м.} \quad (1)$$

Для многоканатной подъемной установки для порожнего скипа

$$M_{кр.пор.скипа} = c k_c d Q_2 + A_2 + K + A_3, \text{ Н м,} \quad (2)$$

где  $c = 0,31$  - коэффициент результирующего момента, указывающий, какая часть крутящего момента передается сосуду (скипу) из-за неравномерного распределения нагрузки между головными канатами [2];  $k_c = 0,092$  -

коэффициент упругой связи [2];  $d$ , м – диаметр головных канатов;  $Q_1$ , Н – осевое растягивающее усилие, приходящееся на один головной канат от груженого скипа;  $Q_2$ , Н – осевое растягивающее усилие, приходящееся на один головной канат от порожнего скипа;

$$Q_1 = \frac{Q_{ск.у} + Q_{г.у} + 0,5Q_{у.у}}{n_{г.у}}, \text{ Н}, \quad (3)$$

$$Q_2 = \frac{Q_{ск.у} + 0,5Q_{у.у}}{n_{г.у}}, \text{ Н}, \quad (4)$$

$Q_{ск.у}$ , Н – собственный вес скипа;  $Q_{г.у}$ , Н – вес груза в скипе;  $Q_{у.у} = p_{у.у} \cdot L_c \cdot n_{у.у}$ , Н – вес канатов;  $p_{у.у} \cdot H / m$  – вес 1 пог. м. уравновешивающего каната;  $L_c \cdot m$  – длина канатов;  $n_{г.у} = 4$  – количество головных канатов;  $n_{у.у} = 3$  – количество уравновешивающих канатов;  $A_1 = 180$  Н м – закручивающий момент, возникающий при подъеме скипа со скоростью  $V = 16 \text{ м/с}$  из-за обтекания воздухом пологой загрузки скипа [3];  $A_2 = 315$  Н м – закручивающий момент возникающий при подъеме скипа со скоростью  $V = 16 \text{ м/с}$ , и максимально допустимой скоростью исходящей струи  $V = 12 \text{ м/с}$ , т.е. с общей скоростью  $V = 16 + 12 = 28 \text{ м/с}$  при обтекания потоком пологой загрузки скипа [3];  $K = 50$  Н м – момент возникающих от действия силы Кориолиса на движущиеся скипы со скоростью  $V = 16 \text{ м/с}$  в стволах находящихся по азимуту [25].  $A_3 = 500$  Н м – момент возникающий от силы аэродинамического удара при встречи движущихся скипов в середине ствола с суммарной скоростью  $V = 16 + 16 = 32 \text{ м/с}$  [14-15].

Момент сопротивления угловому повороту сосуда вокруг своей оси в системе «сосуд – КПП» с коробчатым ограждающим профилем определяется по формуле:

$$M_{сопр} = W_{КПП} \sin \varphi, \quad (5)$$

где  $\varphi$  – угол поворота сосудов;  $W_{КПП} = W_{огр.проф.} + M_{сопр.к}$  – момент сопротивления КПП (состоящего из: ограждающего профиля, стягивающих скоб и канатов);

Момент сопротивления канатов КПП для схемы яруса находится по формуле

$$M_{сопр.к} = 2K_{n.min.c} (S_1^2 + S_2^2), \text{ Н/м} \quad (6)$$

$$K_{n, \min .c} = \frac{Q_{нат.с.} \cdot a_c \cdot \ln(1 + a_c)}{L_c \cdot \ln \frac{1 + a_c}{1 + a_c \xi_1} \cdot \ln(1 + a_c \xi_1)} n_k; H / м$$

где

– коэффициент сопротивления

натянутого каната горизонтальному усилию;  $Q_{нат.с.} = \frac{Q_{разр.}}{n} - Q_{кан.с.}; H$  – вес натяжных грузов или усилие на натяжных многоручевых шкивах в копре;  $Q_{разр.}; H$  – суммарное разрывное усилие всех проволок в канате;  $n_{проч} = 6$  – допустимый расчетный запас прочности ПБ [12, 13];  $Q_{кан.с.} = L_c \cdot \rho_n; H$  – вес каната КПП;

Расчетный запас прочности канатов КПП определяет, во сколько натяжение превышает или недостает допустимому запасу прочности согласно ПБ [12, 13] ( $n_{проч} = 6$ ):

$$n_{ф.с.} = \frac{Q_{разр.}}{Q_{нат. \min .c} + Q_{кан.с.}}, \quad (7)$$

$$Q_{нат. \min .c} = A(L_0 - L_c) \ln \frac{L_0}{L_0 - L_c}, H, [2] \quad (8)$$

где  $A = 125 H / м$  – минимальный коэффициент сопротивления канатного

проводника поперечному отклоняющему усилию;  $L_0 = \frac{\sigma_\epsilon}{n\gamma}; м$  – предельная длина каната в КПП;  $\sigma_\epsilon = 1372 \cdot 10^6 Па$  – расчетное временное сопротивление

разрыву каната;  $\gamma = \frac{\rho_n}{S_n}; H / м^3$  – объемный вес каната;  $\rho_n; H / м$  – вес 1 м.п.

каната КПП;  $S_n; м^2$  – расчетная площадь сечения всех проволок каната КПП;

$L_c; м$  – длина каната КПП;  $S_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}; м$  – расстояние от одного КПП до

центра сосуда;  $S_2 = \sqrt{a_2^2 + b_2^2}; м$  – расстояние от одного КПП до центра

сосуда;  $a_1; м$  – расстояние от КПП до горизонтальной оси;  $a_2; м$  – расстояние от

КПП до горизонтальной оси;  $b_1; м$  – расстояние от КПП до вертикальной оси;

$b_2; м$  – расстояние от КПП до вертикальной оси.

Момент сопротивления ограждающего профиля, стяжных скоб, задней стенки КПП в середине пролета ( $h = 60 м$ ) между двумя ограничивающими консольно-демпферными расстрелами определяется следующим образом. Согласно табличным данным, момент сопротивления прямоугольника, относительно оси поворота Z, т.е. вокруг вертикальной оси равен:

$$W_z = \frac{bh^2}{6} k_1 + W_z^{швел} + W_z^{планк}, м, \quad (9)$$

где  $k_1 = 0.9$  – коэффициент снижения на болтовые и сварные соединения и отверстия под канаты внутри КПП;

Исходя из п. 8.2.6 [11] расчет из составных элементов швеллеров, уголков, пластин и т.д. следует выполнять как сплошностенчатые при условии, что наибольшие расстояния не превышают для растянутых 80I, в рассматриваемом КПП стяжные скобы располагаются с шагом 3000 мм т.е.  $80 I = 80 \frac{bh^3}{12} = 0.289h = 0.289 \cdot 200 \cdot 80 = 4624 мм$

. Как видно из расчета, при расположении массивных стягивающих скоб, сваренных с помощью сварки в КПП с шагом 3000 мм с учетом коэффициентов на отверстия под канаты можно принимать их для расчета нагрузок на кручение как сплошностенные по длине.

Соблюдая равенство, что момент кручения от приложенных сил равен моменту сопротивления  $M_{кр}^{кпп} = M_{сопр}$  из формулы (5) находим:

$$\sin \varphi = \frac{M_{кр}^{кпп}}{W_{КПП}}, \quad (10)$$

Откуда номинальный угол поворота скипа будет равен

$$\varphi = \arcsin \frac{M_{кр}^{кпп}}{W_{КПП}}, \text{ град} \quad (11)$$

В процессе эксплуатации, иногда возникают аварийные ситуации такие как:

а) обрыв одного из головных канатов;

б) сверхнормативное растягивание канатов при навеске; - падении крупногабаритных предметов и оборудования в ствол (вагонетки, крепь и т.д.), возникают экстремальные режимы работы, при которых воздействующие на КПП критические моменты поворота значительно усиливаются, а также с учетом существующих методик расчета [13] и ПБ [12, 13] для расчета углов поворота сосуда примем коэффициенты:  $K_\delta = 5$  – коэффициент безопасности;  $K_\delta = 1.5$  – коэффициент динамичности. Т.е. с учетом всех коэффициентов формулы для расчета углов поворота для груженого и порожнего скипа примут вид:

- для груженого сосуда (скипа):

$$\varphi = \arcsin \frac{M_{кр}}{W_{КПП}} \cdot K_{б} \cdot K_{\delta}, \text{ град. [13]} \quad (12)$$

- для пустого сосуда (скипа):

$$\varphi = \arcsin \frac{M_{кр}}{W_{КПП}} \cdot K_{\delta}, \text{ град [13]} \quad (13)$$

Эксцентриситет центра масс подъемных сосудов – это несимметричность, зависящая от различных факторов, а именно: - конструкции сосуда; - расположения направляющих устройств, в этом случае, он является величиной постоянной. При несимметричной загрузке сосуда и влияния различных факторов, таких как: - износ проводников; - износ вкладышей направляющих лап; и прочее эксцентриситет является переменной вероятностной величиной, зависит от различных факторов и может достигать для скипов (по данным ВНИИОМШС) до 0,1 – 0,5  $Q_{груза}$ , где  $Q_{груза}$  – суммарный вес груза.

При смещении груза в произвольном направлении в горизонтальной плоскости и попытке груза повернуться относительно вертикальной плоскости, проходящей через ось  $Y$ , через четыре направляющих устройства создаются боковые и лобовые усилия на проводники, которые определяются по формуле

$$P_{бок}^{экс} = \frac{mg \left( \sqrt{1 + \left( \frac{0,15a_c}{s} \right)^2} - 1 \right)}{2\sqrt{1 + k^2}} \sin \left( \arctg \frac{a_c}{b_c} \right), [24] \quad (14)$$

где  $a_c$ , и  $b_c$  – размеры скипов в плане соответственно вдоль осей  $x$  и  $y$ ,

а лобовые соответственно по формуле:

$$P_{лоб}^{экс} = \frac{0,075mgb_c}{h} \cos \left( \arctg \frac{a_c}{b_c} \right), [24] \quad (15)$$

В результате их общая сила будет равна:

$$P_{общ}^{экс} = \sqrt{(P_{лоб}^{экс})^2 + (P_{бок}^{экс})^2} / 2, \quad (16)$$

где  $a_c$ , и  $b_c$  – размеры скипов в плане соответственно вдоль осей  $x$  и  $y$ ;  $h_n$  – расстояние между направляющими устройствами сосуда;  $s$  – ширина колеи, м.

2 – обозначает работу в лобовые и боковые направления четырех направляющих лап;

Для рассматриваемого поворота четырех скипов типа 1СНМ 35-235-1,1 (СМУ 35.00.000) в сечении ствола диаметром  $\phi 7000$  мм коэффициенты равны

$$a_c = 1,9 м, \text{ и } b_c = 2,35 м, \quad h = 12 м, \quad s = 2 м, \quad k = \frac{h}{s} = \frac{12}{2} = 6 м$$

Лобовые и боковые силы при шаге армировки  $H = 60 м$  в середине пролета КПП, при произвольном эксцентриситете в лобовом и боковом направлениях определяются как

$$M_{кр}^{экс} = P_{общ}^{экс} \cdot b_c / 2 \quad (17)$$

Движение сосуда под действием аэродинамических сил, для скипов с поверхностью более  $10 м^2$  определяется по формуле [13]

$$\Delta_n = 50 + 2,5(V_{max} + V_{дв.ст.}), \quad (18)$$

где  $V_{max} = 16 м/с$  – максимальная скорость движения сосуда;  $V_{дв.ст.} = 12 м/с$  – скорость движения струи по стволу;  $\Delta_z = 50 мм$  – предохранительный зазор между сосудами;

Отклонение стенок крепи ствола по радиусу для движения сосудов в КПП принимается  $\Delta_{с.с} = 20$  мм, так как проводник по длине ограничен консольными расстрела то отклонение происходит только на величину зазоров в направляющих предохранительных лапах.

Внедрение КПП для одних и тех же параметров подъема и схем армировки масса грузов в зумпфе сокращается в 2,5 раза, при этом вес грузов может располагаться по горизонтали, а не по вертикали, как для гибкой армировки, что позволяет снизить длину зумпфовой части ствола.

#### Результаты исследований

По результатам исследований определены дополнительные диссипативные силы (5,4 кН), возникающие в системе «сосуд-кпп» при сочетании самых неблагоприятных факторов и определены моменты кручения сосудов. При этом для гибкой армировки согласно методике расчета [13] расчет производится по кручению сосудов в месте их встречи, а момент кручения сосуда с теми же исходными данными составляет 252Н, и закладываются предохранительные зазоры 350 мм на сторону по всей длине ствола.

Как видно из приведенных результатов расчета угол поворота груженого сосуда вокруг своей оси в канатных проводниках под действием только сил кручения канатов, без учета диссипативных сил (кручения от эксцентриситета смещения груза, действия силы Кориолиса, действия аэродинамических сил) с



учетов всех нормативных коэффициентов составляет 20,55град, а при кручении сосуда в кпп с учетом всех диссипативных сил (5380,49Н) и при тех же коэффициентах ( $K_{\sigma} = 5$  – коэффициент безопасности,  $K_{\delta} = 1.5$  – коэффициент динамичности) составляет – 2,06 град, что еще раз подтверждает высокую надежность системы «сосуд-кпп».

В месте встречи кромок скипов движущихся на скорости  $V = 16 м/с$  навстречу друг другу возникает аэродинамических удар, величина которого может достигать в некоторых случаях до 1 кН [14-15], поэтому в этом месте встречи дополнительно устанавливаем консольный расстрел с высокой степенью демпфирования для снижения динамики в системе «сосуд-кпп».

При исследовании не учитывалось снижение углов поворота сосудов при установке перемычек между смежными КПП и ограничение поворотов КПП консольно-демпфирующими расстрелами, что еще больше повышают надежность эксплуатации системы «сосуд-кпп».

### **Выводы.**

Разработка и внедрение конструкций канатно-профильных проводников вертикальных стволов, по сравнению с канатными проводниками гибкой армировки позволяет:

а) значительно уменьшить диаметр ствола (в данном примере для компоновки 4-х скипов типа СНМ 35-235-1,1 в стволе и поворота их относительно друг друга – на 865 мм), при тех же параметрах грузоподъемности подъемных установок, условиях работы, одинаковых предохранительных зазорах, коэффициентах запаса –  $K_{\sigma} = 5$ ,  $K_{\delta} = 1,5$ ;

б) увеличить срок службы канатов за счет снижения истирания;

в) снизить вес натяжных грузов; - размеры зумпфовой части ствола; - увеличить надежность и срок службы армировки;

г) снизить аэродинамическое сопротивление ствола до сравнимого уровня с гибкой армировкой;

д) повысить уровень надежности и безопасности эксплуатации армировки ствола, за счет обеспечения безопасных предохранительных зазоров;

е) исключить необходимость применения отбойных канатов;

ж) увеличить срок эксплуатации проводников до уровня проводников жесткой армировки ствола.

Внедрение данных решений позволит: -снизить недостатки жесткой и гибкой армировки; - достичь высокой пропускной способности ствола; - повысить уровень безопасной и надежной эксплуатации армировки вертикального ствола, в соответствии со всеми действующим требованиям и нормам [12, 13].

### **Список литературы**

1. Meter E., Triebnik K. (1939). Stobmebung mit mechanischen Schwingungsmebgeräten. Mitt. Forsch. Anst. Yutehoffnungs – hütter – Konzers. 7. 231-238.
2. Bergpoliyeiverordnung der OBA Dortmund für Hauptseilfahreranlagen von 1. (1957). Dortmund: H. Bellmann. 226.
3. Slonina, W., Hupfer, H (1970). Messeinrichtungen für die an Schachtförderanlagen auftretenden dznamischen Beanspruchungen . *Glückauf. Forschungshefte*. 31 (5). 246-256.

4. Дювел, К., Шефенхаген, А., Слонина, В. (1967). Новая опытная подъемная установка шахты «Тремония». *Глюкауф*. 1. 21-35.
5. Баклашов И.В. (ред.) (1989), Пособие по проектированию и монтажу жесткой армировки вертикальных стволов шахт и рудников (к СНиП II-94-80.) *Государственный Комитет СССР по Народному образованию Московский Ордена Трудового Красного Знамени Горный институт: Москва*.
6. Slonina, W., Stuhler, W. (1980). Safety problems posed by rope shaft guides. Research Report, *Commission of the European Communities (Mines Safety and Health Commission), Luxembourg*.
7. «Нормы безопасности на проектирование и эксплуатацию канатных проводников многоканатных подъемных установок», утвержденных Минуглепромом СССР 09.08.89 и Госгортехнадзором СССР 22.02.82 и «Нормы безопасности на проектирование и эксплуатацию канатных проводников одноканатных подъемных установок» утвержденных Минуглепромом СССР 09.08.89 и Госгортехнадзором СССР 22.02.82 (1082), Макеевка - Донбасс: МакНИИ.
8. Волошин, А.И. Рубель, А.А., Рубель, А.В. (2016). Армування вертикальних шахтних стволів і методи його вдосконалення. *Геотехнічна механіка*. 126.137-145.
9. Рубель, А.О. (2017). Исследование существующих конструкций ярусов армировки вертикальных стволов и разработка схем ярусов с канатно-профильными проводниками. *Геотехнічна механіка*. 134. 211-227.
10. Волошин, А.И., Рубель, А.А., Рубель, А.В. (2016). Консольно-демпфирующие расстрелы армировки вертикальных шахтных стволов. *Геотехнічна механіка*. 127.
11. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. (В.2.6-198:2014) [Чинний від 01.01.2015. На заміну БН В.2.6-163:2010 в части раздела 1 и ДСТУ Б В.2.6-194:2013]. *Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України*, 2014. 205.
12. Инструкция по эксплуатации стальных канатов в шахтных стволах (1989). *М.: Недра* 215.
13. Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0-1.01-10. - [Дійсні від 22.03.2010]. – Офіційне видання. *Київ: Основа*, 2010.

## ВПЛИВ РОЗМІРУ ЧАСТОК ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ НА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЇЇ ЗНЕВОДНЕННЯ ТА РОЗДІЛЕННЯ ЗА КРУПНІСТЮ

<sup>1</sup>*Шевченко О.І., докт. техн. наук, с.н.с.*

<sup>1</sup>*Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро, Україна*

**Анотація.** Проаналізовано вплив розміру частинок техногенної сировини на ефективність її зневоднення та розділення за крупністю. Визначено основні фактори, які знижують ефективність цього процесу, та засоби її підвищення. Встановлено умови, які забезпечують підвищення ефективності зневоднення та розділення сировини різних класів крупності.

В результаті діяльності промислових підприємств на території України накопичено величезну кількість обводнених тонкозернистих відходів, що складаються, в основному, з частинок розміром менше 1 мм, і які через значну кількість корисного компоненту є, по суті, техногенними родовищами. Ці родовища зазвичай мають своєрідний мінеральний склад і є потенційним джерелом різноманітних корисних копалин, зокрема руд, енергетичної сировини, будівельних матеріалів, а також кольорових, рідкісних і благородних металів. Тільки в золівдвалах і шламовідстойниках України накопичено близько 1 млрд. т. відходів вуглезбагачення з високим вмістом вугілля (25-70%). Складність вирішення проблеми їх переробки посилюється тією обставиною, що

відходи після складування в накопичувач і тривалого зберігання, зважаючи на наявність певної кількості глинистих частинок являють колоїдну суміш з підвищеною до 45% вологістю. Така висока вологість обумовлена наявністю капілярної вологи. Вода в шламах знаходиться в зв'язаному стані, важко піддається гравітаційному відділенню. Проблема переробки ускладнюється також наявністю корисного компонента у різних класах крупності, збільшенням зольної частини у бік найбільш дрібних класів, відсутністю техніки і технології для дозбагачення сировини зазначеної крупності і вимогами залізничного транспорту до транспортування сировини по обмеженню вологості до 10-12%, що зумовлює актуальність пошуку рішень в даній області [1-6].

Одним із способів вилучення корисного компонента з вологої техногенної сировини є розділення за крупністю на поверхні, яка просіває, з використанням вібрації, яка інтенсифікує процеси сегрегації і поділу. Однак в більшості випадків зі зменшенням крупності частинок ці процеси ускладнюються. Найбільші труднощі викликає розділення тонких і дрібних частинок, тому що продукти, сформовані з них, утримують значну кількість води завдяки високорозвиненій поверхні частинок, що активно взаємодіє з водою, і чинним капілярним силам. Пористість і проникність цих середовищ зазвичай низька. Зі зменшенням крупності частинок в продуктах збільшується енергія зв'язку рідини з поверхнею твердого, тобто опір протіканню води у поровому просторі. Чим більше ця енергія, тим важче рідину відокремити. Тому найбільш важко видаляти воду, пов'язану капілярними силами (силами поверхневого натягу), і яка знаходиться в капілярно-стиківих містках між частинками [7-9].

Як показала практика, традиційні методи дозволяють ефективно розділяти тільки матеріали з розмірами частинок більше 1 мм, а вологість готового продукту знизити до 18-22% в залежності від крупності. Грохочення матеріалів крупністю 0,5-1 мм традиційними методами не дає високих результатів, а при розмірі частинок менше 0,2 мм практично неможливо [7-9].

Тому для подолання впливу капілярних сил потрібні спеціальні методи впливу як сировину, так і на поверхню, що просіває, наприклад, комбіноване збудження, поєднання вібраційних і імпульсних динамічних впливів. Використання комбінованого впливу на сировину і поверхню, що просіває, дозволяє підвищити ефективність переробки техногенної сировини і знизити кількість відходів виробництва [7-9].

Вибір раціональної технології і обладнання для зневоднення і переробки техногенних відходів, які зберігаються в накопичувачах (хвостосховищах), необхідно проводити з урахуванням властивостей сировини: гранулометричний склад, вологість, кількість корисного компоненту і відходів (наприклад, у вугільних шламах – кількість вуглецю і золи в класах) і т.п. [3-6].

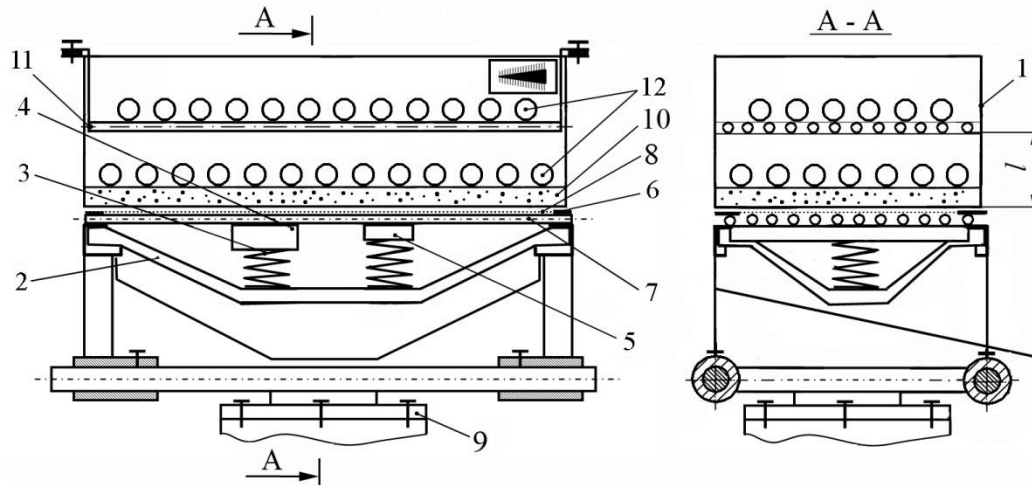
Велика розмаїтість сировини, що переробляється з різними фізико-механічними властивостями і гранулометричним складом вимагає індивідуального підходу в кожному конкретному випадку. В одному випадку для отримання товарного продукту необхідно відокремити найбільш тонкі класи, в іншому – зробити вибірку найбільш перспективних класів (наприклад, у

вугільних шламах з максимальним вмістом корисного продукту і мінімальним вмістом некондиційної частини). І в тому, і в іншому випадку слід встановити мінімальну граничну крупність розділення, яка забезпечує виконання цих умов. Ефективне зневоднення і розділення за крупністю повинні забезпечуватися як для вузьких, так і широких класів крупності [3-6].

Всі ці фактори необхідно враховувати при виборі технології та обладнання для розділення за крупністю і зневоднення техногенної сировини. Тому метою роботи є вивчення впливу розміру часток сировини на вибір обладнання та режимів роботи для її та зневоднення до 10 % (за вимогами залізничного транспорту до транспортування сировини) і нижче та ефективного розділення.

В інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України розроблено нові способи віброударного грохочення [10, 11], в яких для підвищення ефективності зневоднення і розділення за крупністю запропоновано поверхню, що просіває, збуджувати «подвійними» ударами. Спочатку наноситься перший удар, який сприяє відриву сировини від поверхні, і її розпушення, потім на етапі польоту наноситься другий удар, який повідомляє додаткове прискорення поверхні, що забезпечує її очищення від застряглих в отворах поверхні частинок і розрив меніска рідини. Важливо відзначити, що при нанесенні другого удару сировина, що переробляється, не перешкоджає видаленню частинок і рідини з отворів.

На рис. 1 показано модель грохота с двома ударниками.



- 1 – короб грохота; 2 – балка; 3 – пружний елемент; 4 – основний ударник; 5 – додатковий ударник; 6 – пружна прокладка; 7 – стрижні; 8 – поверхня, яка просіває (металева сітка); 9 – стіл вібратора ; 10 – шар сировини; 11 – активатор; 12 – дезінтегруючі елементи

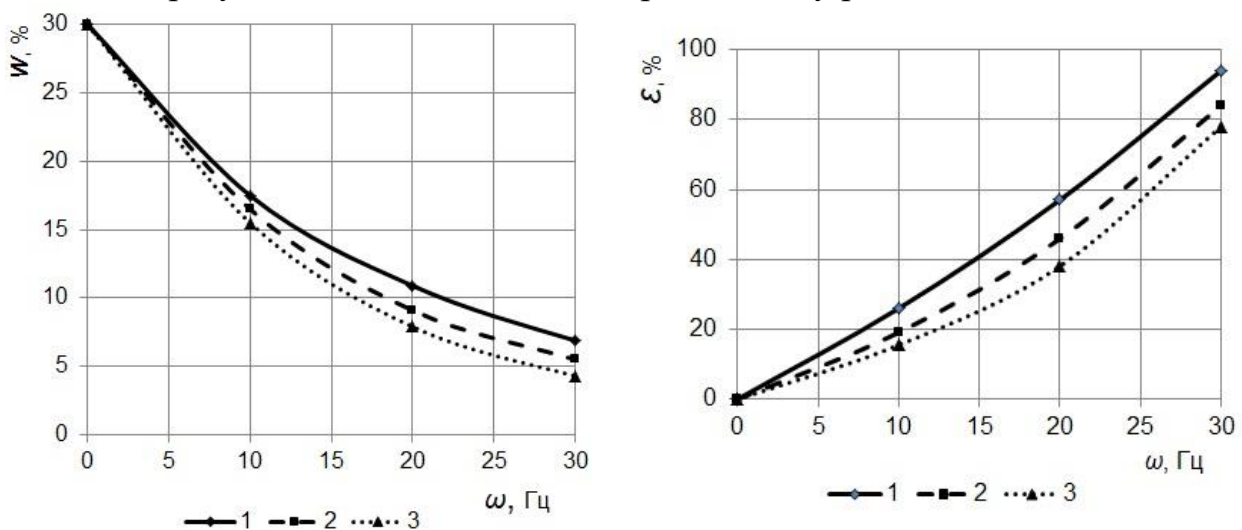
Рисунок 1 – Модель грохота с двома ударниками

Згідно з поставленою метою для різних класів крупності досліджено вплив на показники вологості  $W$  плюсового продукту (на поверхні, що просіває) і

вилучення  $\varepsilon$  мінусового продукту (під поверхню, яка просіває) від параметрів віброзбудження частоти  $\omega$  і амплітуди  $A$  (амплітуда варіювалася від 1 до 9 мм, частота змінювалася від 5 до 60 Гц, тривалість зневоднення 180 с, питома навантаження 12,5 кг/м<sup>2</sup>, вологість початкового продукту 30 %).

При експериментах встановлено, що підвищення показників грохочення (вологість плюсового продукту знижується до 4-6 %, вихід мінусового продукту збільшується до 75-80 %) досягаються при частоті  $\omega$  понад 30 Гц і амплітуді  $A$  понад 7 мм. Однак при цьому виникають перевантаження понад 15 g (прискорення віброзбудження до прискорення вільного падіння). Такі прискорення не характерні для серійних грохотів. Забезпечення таких режимів вимагає створення особливо міцних конструкцій. Необхідний пошук таких умов, при яких забезпечується ефективно зневоднення і розділення матеріалу при менших прискореннях (при перевантаженні 6-8 g). Тому подальші експерименти виконані при амплітуді  $A = 2$  мм, а для інтенсифікації розпушення сировини й руйнування капілярних містків додатково застосовувалися різні дезінтегруючі елементи (ДЕ), в якості яких використовувалися великі частки матеріалу, а також сферичні, еліпсоїдні тіла, виготовлені з різних матеріалів і активатор, який встановлювався над поверхнею, що просіває [10, 11].

На рис. 2 представлено дані досліджень по зневодненню і розділенню матеріалу крупністю +0,4-1,0 мм; +0-0,4 мм та +0-10,0 мм, де наведені середні значення за результатами п'яти дослідів при кожному режимі.



класи крупності: 1 – +0,4-1,0 мм; 2 – +0-0,4 мм; 3 – +0-10,0 мм

Рисунок 2 – Зміна вологості  $W$  і вилучення  $\varepsilon$  мінусового класу для сировини різної крупності від частоти  $\omega$  віброзбудження

При переробці сировини вузького класу крупності з розміром часток +0,4-1,0 мм для інтенсифікації видалення води в якості ДЕ додавався крупний матеріал з розмірами часток +5,0-10,0 мм. Це дозволило знизити вологість сировини з 30 до 7 %, а вилучення мінусового продукту підвищити до 94 % (рис. 2).

При зневодненні сировини з розміром часток +0-0,4 мм додатково використовувалися в якості ДЕ сферичні та еліпсоїдні тіла, виготовлені з різних матеріалів, що дозволило зменшити  $W$  з 30 до 5,5 %, а  $\varepsilon$  збільшити до 84 % (рис. 2).

При зневодненні сировини широкого спектру крупності з розміром часток +0-10 мм разом з використанням ДС застосовується активатор. Це дозволило знизити вологість сировини з 30 до 4 %, а вилучення мінусового продукту підвищити до 94 % (рис. 2).

#### Висновки.

Таким чином, експериментальним методом для різних класів крупності визначено умови, при яких забезпечується максимальне зниження вологості і підвищення виходу мінусового продукту. Вивчено вплив конструктивних і режимних параметрів на інтенсивність зневоднення й розділення за крупністю.

#### Список літератури

1. Bubnova, O., Shevchenko, O. (2019). Reduction of techno genic load from sludge collectors due to separation and dehydration of the stored material. Issue E3S Web Conf. Volume 109, 2019 International Conference Essays of Mining Science and Practice. Article Number 00010. Number of page(s) 10. DOI. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900010>. Published online 09 July 2019. E3S Web of Conferences 109, 00010 (2019).
2. Лукашева, Т.Т. (2009). Технология и оборудование для классификации и обогащения строительных песков. *Горный журнал*. 6. 76-77.
3. Шевченко, А.И. (2017). Совершенствование технологии и технологическая схема обогащения отходов добычи и переработки строительных материалов. *Збагачення корисних копалин*. 65(106). 39-47.
4. Шевченко, А.И. (2017). Обоснование выбора рациональных режимов процесса классификации с обезвоживанием для высокоэффективной переработки песков. *Геотехнические проблемы разработки месторождений: материалы XV международной научно-практической конференции (г. Днепр, 26 октября 2017 г.) ИГТМ НАН Украины*.
5. Шевченко, А.И. (2017). Обоснование технологии и оборудования для выемки обводненных полезных ископаемых. *Сучасні технології розробки рудних родовищ. Еколого-економічні наслідки діяльності підприємств ГМК: матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції (м. Кривий Ріг, 24 листопада 2017)*. 59-60.
6. Шевченко, А.И. (2016). Совершенствование технологии и технологическая схема обогащения угольных шламов. *Збагачення корисних копалин*. 63(104). 101-111.
7. Шевченко, А.И. (2019). Влияние свойств минеральных частиц на технологию и параметры оборудования при извлечении полезных компонентов из хвостохранилищ. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2019 (23). 58-74.
8. Горное дело. Исследование физических свойств материалов [Электронный ресурс] *Режим доступа: <http://scicenter.online/gornoe-delo-scicenter/issledovanie-fizicheskikh-svoystv-143282.html>*
9. Гаркушин, Ю.К., Сергеев, П.В., Белицкий, В.С. (2000). Проблема механического обезвоживания тонкодисперсных углей. *Збагачення корисних копалин*. 8(49). 111-119.
10. Надутый, В.П., Лапшин, С.С., Шевченко, О.И. (2012). Патент 67194 Україна. Спосіб грохочення та зневоднювання матеріалів, що важко класифікуються / U 201107943; заявлено 23.06.2011; опубл. 10.02.2012. Бюл. №3. 4 с.
11. Надутый, В.П., Лапшин, С.С., Шевченко, О.И. (2012). Патент 77362 Україна. Спосіб розділення за крупністю та зневоднювання сипучого матеріалу, який важко класифікується. U 201209458; заявлено 02.08.2012; опубл. 11.02.2013. Бюл. №3. 4 с.

## ПРОЄКТУВАННЯ УРАНОВИХ ШАХТ – НАЙВАЖЛИВІШИЙ ЕТАП ОРГАНІЗАЦІЇ ВИДОБУТКУ УРАНУ ДЛЯ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

<sup>1</sup>Мухачев А.П. канд. фіз.-мат. наук, <sup>2</sup>Харитонова О.А. канд. фіз.-мат. наук,  
<sup>2</sup>Єлатонцев Д.О. доцент, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро,  
Україна

<sup>2</sup>Дніпровський державний технічний університет МОН України, Кам'янське,  
Україна

**Анотація.** У статті викладаються основні вимоги до проектування уранових шахт з урахуванням фізико-хімічного та мінерального складу уранових руд і породи, глибини залягання, безпечного ведення гірничих робіт для забезпечення заданого екологічно обґрунтованого вмісту урану в руді 0,1%.

**Вступ.** Необхідність видобутку уранових руд на Україні в 50-х роках ХХ століття визначалося військовою ядерної загрозою для СРСР з боку США, які створили вперше в світі атомну бомбу в 1945 і підірвали її в Японії. До 1950 року видобуток уранових руд вівся в середній Азії шляхом створення відкритих розробок з вивезенням руди гужовим транспортом. Країні стало потрібно виробництво урану в обсязі до 500 т в рік, яке на перших етапах забезпечувалося імпортом уранових руд і концентратів з НДР, Румунії та Угорщини [1].

Великі запаси уранових руд були вперше виявлені в Україні в 1946 році, але їх видобуток вимагав створення шахт в міцних породах глибиною до 1000 м. Це виключало всі методи її видобутку, крім вибуху. Досвіду проектування подібних шахт в країні не було, що вимагало одночасного проектування і будівництва шахт, так як терміни видобутку уранової руди були вельми стислі. Уранова шахта в місті Жовті Води мала запрацювати вже в 1951 році [2].

### Результати досліджень.

Уран, як правило, знаходиться в бідних рудах. Його вміст у породі не перевищує часток відсотка. Міцність руд є високою, становить 14–16 од. по М.М. Протодьконову і вимагає особливих умов видобутку.

Уран залягає на глибинах понад 500 м, що вимагає надійних інженерних рішень по видобутку, забезпечення роботи шахтного транспорту, безпеки і стабільності, дотримання ГДК пилу і радону. Проектування технології видобутку уранової руди має враховувати наступні умови:

1. Необхідність створення центрального, допоміжних і сліпого стовбурів.
2. Обов'язковість буропідричних робіт на відібраному масиві через глибокі свердловини, що забезпечує необхідну крупність руди і продуктивність шахти.
3. Перевезення руди вагонетками і електровозом до місця її переробки, що вимагає особливо міцного рейкового господарства.
4. Необхідність збагачення руди на збагачувальній фабриці до товарного складу, з метою підвищення продуктивності гідрометалургійного заводу.
5. Повинна бути забезпечена повна механізація гірничих робіт в особливо шкідливих умовах, за наявності пилу, радону і  $\alpha$ -випромінювання.



6. Обов'язкову закладку виробленого простору твердючою сумішшю для запобігання обвалу камери.

7. Утворення великих обсягів порожньої гранітної породи вимагає перетворення її на щебінь і реалізації його в дорожньому будівництві.

Для проектування шахти першою умовою була наявність технології видобутку руди з урахуванням вмісту урану, фізико-хімічних властивостей породи, глибини і характеру залягання урану.

На першому етапі на основі даних геологічних розвідок вибиралася кількість і місце шахтних відвалів, число підземних горизонтів для вироблення урану. Окремо поклади урану мали потужність до 100 м, що визначило висоту і розмір камер для вибухових робіт.

Проектна продуктивність шахти повинна була забезпечити видобуток 3 млн т руди на рік, що вимагало підбору самохідної техніки. Протяжність пластів досягала 1 км. Висока міцність породи дозволила застосувати високопродуктивну систему обробки поверхового штреку бортами з продуктивністю очисного блоку до 25 тис т руди на місяць.

Крутопадаючі поклади вимагають розкриття вертикальними стволами, які передбачаються проектом. При цьому головний ствол розташовується в центрі родовища, вентиляційні стовбури розташовуються на флангах.

Спорудження допоміжних стовбурів різного призначення дозволяє розвантажити основні стовбури. Для поглиблення головних стовбурів використовують сліпі стволи.

Проект повинен забезпечити:

- найкоротші терміни введення родовища в експлуатацію, мінімізацію капітальних і експлуатаційних витрат;
- забезпечення фронту робіт для гірничої техніки на проходці виробок, дослідній вищці, на транспортуванні та випуску руди;
- оптимальні параметри блоків;
- високу інтенсивність гірничих робіт;
- мінімальні втрати руди і малий ступінь її зубожіння;
- забезпечення безпеки умов праці гірського персоналу.

Для вибору схеми розкладання і напрямків відпрацювання поверхів був обраний широко застосовуваний у світовій практиці варіант з поверховим вилуговуванням і відпрацюванням поверхів у напрямку зверху вниз. Висота поверху вибиралася в межах 70–90 м. Для дроблення руди використовувалися дробарки класом 1200x1500 і 900x1200.

Для підготовки блоків з висотою покладів урану до 20 м може використовуватися штрекова схема розташування виробок. Можливе застосування індивідуальної та групової підготовки блоків. Проект повинен передбачити можливість доставки техніки на необхідний горизонт, аж до її збірки з частин на місці роботи.

В якості базової моделі проект повинен визначити найбільш ефективні технології, основною з яких може є спіраль. Рудна і породна спіралі дозволяють скоротити капітальні та експлуатаційні витрати. Кут нахилу спіралі  $7...10^\circ$



дозволить використовувати її в якості похилих польових виробок (штреки, квершлагги). У центральній частині спіралі може проходити рудоспуск на всю висоту поверху. Спіраль може обслуговувати кілька поверхів. Довжина спіралі в межах покладу може досягати 300 м при її поперечному перерізі 8,7 м<sup>2</sup>.

Коефіцієнт використання самохідної техніки повинен досягати 0,6–0,7, що також має бути передбачено проектом. Окремі поклади руди невеликої площі доцільно нарізати рудною спіраллю для найменшого зuboжіння.

Проект повинен враховувати характер залягання уранвмісних порід у вигляді пласта або лінзи, що вимагає спеціальних інженерних рішень.

### **Висновки.**

1. Проектування уранових шахт продуктивністю до 30 млн т руди вперше в СРСР було реалізовано в Кривбасі в кінці 40-х років ХХ століття.

2. Проектування шахти – як умовно-виробничого комплексу з видобутку і збагачення уранової руди в умовах твердих порід вимагало нетрадиційних інженерних рішень від проходки до забезпечення безпечних умов праці персоналу.

3. Проект передбачав максимальну механізацію та автоматизацію гірських робіт.

4. Одночасне проектування і будівництво уранової шахти дозволило скоротити термін введення її в експлуатацію до 3 років.

### **Список літератури**

1. Перков, П.Г. (2006). Уран України. Історія ВостГОКа в воспоминаниях очевидцев. *Днепропетровск: Проспект.*
2. Чернов, А.П. (2001). Добыча и переработка урановых руд в Украине. *Киев: АДЕФ-Украина.*

## **ПРОЕКТУВАННЯ УРАНОВОГО ВИРОБНИЦТВА: ПОЧАТОК РОЗВИТКУ ВІТЧИЗНЯНОЇ АТОМНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

<sup>1</sup>*Мухачев А.П., канд. фіз.-мат. наук,* <sup>2</sup>*Єлатонцев Д.О. канд. техн. наук,*  
<sup>2</sup>*Харитоновна О.А. канд. фіз.-мат. наук, доцент*

<sup>1</sup>*Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро, Україна*

<sup>2</sup>*Дніпровський державний технічний університет МОН України, Кам'янське, Україна*

**Анотація.** В роботі викладені особливості урану які визначають вимоги до видобутку, збагачення та переробки уранових руд і концентратів. Уранові руди знаходяться в природі у вигляді розсіяних мінералів типу настурану, уранініту або альбініта, вміст урану в яких не перевищує часток відсотка. Вимоги до якості оксиду урану визначає його чистоту 99,9% з критичним змістом домішок з великим перетином захоплення теплових нейтронів. Забезпечити концентрування урану в 100 разів і очищення його від домішок необхідно на стадії проектування виробництва урану на основі відомих хіміко-технологічних процесів з урахуванням необхідності захисту персоналу від шкідливого іонізуючого випромінювання. Властивості урану і дочірніх продуктів його розпаду визначають спеціальні вимоги до процесу проектування виробництв чистого урану.

**Вступ.** Необхідність створення виробництва урану з уранових руд виникла через його використання в якості матеріалу, що поділяється, для отримання

нового виду ядерних боєприпасів, які при розподілі вивільняють внутрішню енергію ядра в мільйони разів перевищуючу традиційні джерела енергії. Ядерна загроза світу, що виникла після створення атомної бомби і бомбардування японських міст Хіросіми і Нагасакі в 1945 році, вимагала рівнозначної відповіді з боку СРСР. Для цього була розроблена технологія виробництва урану з уранових руд, які були розвідані в Кривбасі, Середній Азії і країнах Східної Європи (НДР, Чехословаччина, Румунія).

На Україні будівництво уранового заводу почалося в 1947 році в місті Дніпродзержинськ (нині Кам'янське). Склад проекту визначала технологія видобутку і переробки залізоуранової руди Первомайського та Жовторіченського родовищ з вмістом заліза до 74%. Необхідно було побудувати вперше в країні шахти для видобутку урану в обсязі до 1 млн т на рік. Високий вміст заліза вимагав його вилучення в доменний чавун за традиційною металургійною технологією з отриманням шлаку, придатного для будівництва.

Металургійний переділ плавки залізвмісної руди був розміщений на чинному в місті металургійному комбінаті, без будівництва нового заводу. Для переробки збагаченого ураном шлаку необхідно було спроектувати нове уранове виробництво за відомою технологією, що включало в себе традиційні процеси дроблення і подрібнення залізної руди, процеси кислотного вилуговування, що застосовувалися в кольоровій металургії, процеси розділення твердої і рідкої фаз на відомому фільтраційному устаткуванні, осаджувальні процеси концентрування урану у вигляді нерозчинних сполук і їх очищення методами кристалізації. Для отримання 40–60% концентрату окису урану застосовувалося стандартне сушильне обладнання.

Створення і розвиток шахтного методу видобутку урану в Україні описано в роботах [1, 2]. Для видобутку урану більш економічним і прогресивним способом в 1964 році був розроблений вперше в країні метод підземного вилуговування урану сірчаною кислотою без підйому мільйонів тон пустої породи на поверхню, що стало можливим при створенні нового процесу сорбції та концентрування урану на іонообмінних смолах. Цей метод став альтернативою більш екологічно шкідливого шахтного методу видобутку урану.

Військова загроза диктувала стислі терміни будівництва уранового заводу, який необхідно було побудувати протягом року, що і було зроблено в 1947–1948 рр. У той час були відсутні норми проектування уранових виробництв і доводилося керуватися наявним досвідом проектування підприємств кольорової промисловості (золота, свинцю, цинку, олова).

**Мета роботи** – розробити та обґрунтувати норми проектування уранових виробництв для забезпечення високих показників технологічної ефективності переробки сировини і рентабельності продукції.

#### **Результати досліджень.**

У процесі промислового проектування були сформульовані основні вимоги до проекту уранового виробництва:

1. З огляду на специфічні фізико-хімічні властивості урану, наявність в руді радіоактивних дочірніх продуктів розпаду урану і торію, їх небезпеку для

персоналу і навколишнього середовища, в проекті повинні бути забезпечені безпечні умови праці на робочих місцях – вони повинні бути обладнані потужними вентиляторами, щоб виключити шкідливий вплив пилу і радону.

2. Уранове виробництво повинно бути багатотоннажним з переробки руди, вміст урану в якій сягає не більше 0,2%. З цією метою слід використовувати великогабаритне обладнання максимальної продуктивності. Габарити будівель і споруд повинні бути розраховані на розміщення вантажопідйомних механізмів великої потужності. Висота будівлі, де реалізується гідрометалургійне виробництво, повинна бути 24 м, так як тільки пачуки (апарати для сорбції урану) були висотою до 17 м.

3. Для скорочення транспортних операцій все технологічне обладнання повинно забезпечувати самоплив пульпи з позначки 24 м до відмітки 4 м.

4. Урановий комплекс по переробці руди повинен реалізуватися в комплексі будівель, з'єднаних закритими галереями для пилоподавлення і переміщення руди від складу до вузлів дроблення і подрібнення руди, які, як правило, реалізується в окремих будівлях.

5. З огляду на абразивний характер подрібненої уранової руди і високу агресивність технологічних середовищ, які приводили до швидкого зносу машин і механізмів, у складі уранового заводу будувався ремонтно-механічний і ремонтно-будівельний цехи для оперативного ремонту обладнання і будівель. Енергетичний комплекс заводу обслуговувався електроцехом з ділянкою для ремонту обладнання.

6. З огляду на особливо шкідливий характер виробництва, всі технологічні відділи повинні були оснащені автоматичною системою управління технологічними процесами, які контролювалися дистанційно з центральної щитової, де розміщувалася вся пневмосхема виробництва.

7. Виробництво урану працювало безперервно і цілодобово. Два останні дні кожного місяця відводилося на плановий попереджувальний ремонт.

8. Кожен урановий завод повинен був мати хвостове господарство, де повинні були зберігатися тверді відходи, шлами після вилучення урану, без витоків води в підземні горизонти. Обсяг сховища розраховувався на весь час експлуатації уранового заводу. Довжина відкачування пульпи після вилучення урану становила до 20 км.

9. Для забезпечення водного балансу урановий завод споживав питну і технічну воду, яка поповнювала замкнутий оборотний цикл. Завод повинен був мати автономну каналізацію.

10. Завод повинен був мати свій паросиловий цех, здатний забезпечити тепловий режим в будівлях і споживання тепла у вигляді пари і гарячої води для технологічних процесів.

11. Наявність фільтрувального устаткування і процесів сорбції і десорбції урану вимагало наявності компресорів низького і високого тиску для отримання стисненого повітря.

12. Локальне перекачування технологічних середовищ забезпечувалося зануреними насосами, керованими як дистанційно, так і за місцем розташування.

Горизонтальні насоси з сальниковими ущільнювачами використовувалися тільки на щільних піщаних пульпах до вилучення і після вилучення урану.

13. Виробничо-побутові приміщення були передбачені в кожному цеху, робочий одяг дезактивувати регулярно в центральній пральні заводу з утилізацією заражених вод на хвостосховищі.

14. Безперервність процесу забезпечувалася:

- наявністю заводських складів реагентів на термін їх зберігання протягом місяця. Кожен урановий завод повинен мати великотоннажне виробництво реагентів, сірчаної та азотної кислот, які поставляються на виробництво по трубопроводному транспорту;

- наявністю автотранспортного цеху для внутрішньозаводських і зовнішніх перевезень і залізничного вузла з пропускною спроможністю понад 1 млн т вантажів на рік;

- наявністю системи підготовки робітничих кадрів в профтехучилищах, перепідготовки кадрів фахівців кожні 5 років.

15. Для забезпечення високих техніко-економічних показників інженерні рішення повинні були враховувати наступні фактори:

- високе вилучення урану на рівні 98–99%;

- повна утилізація хімічних реагентів на рівні більше 85%;

- наявність технологічного обладнання в антикорозійному виконанні із застосуванням нержавіючої сталі, полімерів, футерованих покриттів;

- наявність високоефективного технологічного обладнання;

- якість продукції має відповідати вимогам замовника;

- необхідність випуску комерційної продукції на основі цінних елементів, які входять до складу уранової руди і реагентів, що використовуються в технології урану.

15. У складі уранового заводу повинні бути екологічно чисті виробництва, де можливо буде працевлаштування персоналу, що вибуває з технологічного цеху за станом здоров'я після отримання трудового пільгового стажу в особливо шкідливих умовах праці.

### **Висновки.**

1. Проектування уранового виробництва забезпечило створення автономного виробничого комплексу для отримання особливо чистого концентрату урану.

2. Витяг цінних компонентів з уранової руди та утилізація хімреагентів дозволило створити супутні «чисті» виробництва і знизити собівартість урану.

3. Проектування ремонтних цехів дозволило створити ефективні способи ремонту основного і допоміжного обладнання для запобігання простоїв виробництва.

4. Проектування енергетичних потужностей для всього комплексу дозволило створити добре керований, надійно працюючий комплекс енергетичних послуг.

5. Проект уранового виробництва передбачав його безперервне функціонування протягом 100 років, забезпечуючи цілісність будівель і отримання прибутку.

6. Проектування унікального за різноманітністю виробництва дозволило скоротити кількість промислових стоків та відходів, які могли використовуватися в суміжних виробництвах.

7. Наявність в проекті ефективних систем захисту навколишнього середовища дозволило знизити замкнутий екологічний комплекс без небезпечних скидів шкідливих речовин вище ГДК.

8. Безперервне проектування уранового виробництва в стадії будівництва дозволило створити виробничі потужності з переробки уранових руд протягом одного року.

### Список літератури

1. Кузов, Ю.И. (1997). Приднепровский химический завод. Исторический очерк. *Днепродзержинск: Полиграфист.*
2. Чернов, А.П. (2001). Добыча и переработка урановых руд в Украине. *Киев: АДЕФ-Украина.*

## ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ КАМ'ЯНОГО ВУГІЛЛЯ ТА СКЛАДУВАННЯ ПУСТОЇ ВІДВАЛЬНОЇ ПОРОДИ

<sup>1</sup>Кочмар І.М., <sup>1</sup>Карабин В.В. д.т.н., доцент

<sup>1</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, Україна

**Анотація.** Розробка родовищ корисних копалин, зокрема у вугільній промисловості України пов'язана з погіршенням екологічної ситуації в районах вуглевидобутку та переробки вугільної продукції. На сьогоднішній день на території держави налічується понад 1200 породних відвалів пустих порід, які займають значні площі та забруднюють водні та повітряні басейни прилеглих територій. Дане питання є актуальним та потребує сучасних підходів для його вивчення та вирішення.

У сучасних умовах розвитку техногенезу раціональне використання природних ресурсів і охорона природного середовища є важливою соціально-економічною й науковою проблемою, а еколого-ресурсна безпека країни, що включає в себе сукупність усіх форм експлуатації природно-ресурсного потенціалу та заходів для його збереження відіграє важливу роль.

Розвиток промисловості пов'язаний в першу чергу із залученням у виробництво значних обсягів енергетичних ресурсів, важливу роль тут відіграє гірничодобувна промисловість. Її інтенсивний розвиток та розробка вугільних родовищ протягом ХХ століття призвів до значних змін природних ландшафтів. Промислове освоєння Львівсько-Волинського вугільного басейну розпочалося у 1950 році і супроводжувалося введенням в експлуатацію понад 20 шахт, що призвело до суттєвого погіршення якості навколишнього природного середовища як на локальному, так і на регіональному рівнях.

Технологія підземного способу видобутку кам'яного вугілля характеризується низкою особливостей, в першу чергу складністю технологічного процесу, який відбувається на глибині понад 500-1000 метрів і глибше та супроводжується накопиченням на поверхні значних об'ємів пустих порід, які в подальшому складаються у відвали. Було розраховано [1], що видобуток 1 млн т вугілля

призводить до забруднення та руйнування 4 га землі і 83 га в результаті роботи середньостатистичної шахти.

Накопичені породні відвали займають значні площі земель сільськогосподарського призначення. Особливу небезпеку при цьому становить техногенне забруднення ландшафтів, яке охоплює практично всі їх компоненти, а також активізація негативних фізико-географічних явищ, геологічних змін, що впливають на розвиток шахтарських міст і селищ, ведення сільськогосподарських робіт та змінюють призначення земель гірничовидобувних регіонів.

Також спостерігаються наступні види порушень внаслідок розробки родовищ кам'яного вугілля та складування відходів вуглевидобутку:

- просідання земної поверхні, яке супроводжується підтопленням та пошкодженням ґрунтовими водами будівель та комунікацій, вимоканням насаджень та зміною мезофітних рослинних формацій на болотяні [1];
- механічні пошкодження порід, зміна рельєфу, зміна хімічного складу порід та ґрунтів [2-3];
- зміна запасів та режиму підземних вод, підтоплення поверхні, інші гідрологічні та гідрогеологічні проблеми [4];
- зміна складу і властивостей атмосфери та гідросфери.

На сьогоднішній день використовують два основних способи поводження із відвальними породами териконів. Перший – це ліквідація териконів, шляхом утилізації їх породи в якості закладного матеріалу для підземних пустот, або при засипці ярів, деформованих поверхонь землі тощо. Доцільно також використовувати їх в якості сировинного ресурсу для отримання багатьох видів будівельних матеріалів – легких заповнювачів для бетону (керамзитового щебеню, гравію, аглопориту), заповнювачів для звичайного бетону, крупних та дрібних в'язучих матеріалів, цегли, черепиці, склокерамічних матеріалів, матеріалів для будівництва доріг і різноманітних інших покриттів, для виробництва мінеральної вати тощо. Це найбільш вірний спосіб, який, на жаль, вимагає дуже великих капітальних витрат та докладного вивчення показників якості вторинної сировини [5,6].

Другий спосіб – рекультивація або фіторекультивація. Його суть полягає у зменшенні існуючої небезпеки териконів шляхом створення на них рослинних насаджень. Рекультивація териконів – менш витратний спосіб, ніж утилізація і передбачає консервацію териконів до настання можливості їх повної утилізації. Розроблено і розробляються способи рекультивації, основною метою яких є зниження витрат і поліпшення рослинного покриву [5]. Однією з основних проблем рекультивації є токсичність породи териконів для рослин, біодоступність хімічних елементів з відвальних порід можна визначити за допомогою ацетатно-амонійного буферного розчину, який екстрагує передусім хімічні елементи у іонообмінній формі, які є найбільш доступними для рослин, дане питання розглянуто більш детально у роботах [2, 3]. При розробці проектів з рекультивації також слід враховувати природні зміни рослинних угруповань на порушених територіях.

Слід зауважити, що використання відвальних порід для господарчих цілей або заповнення відпрацьованих порожнин у шахтах є незначним і становить не більше 17% щорічної видачі на поверхню. Лише невелику частину породи териконів в даний час використовують в дорожньо-будівельних роботах [1, 5].

Залучення в переробку сировини з териконів вимагає в першу чергу впровадження науково обґрунтованих технологій переробки відвальної породи і залучення інвестиційних ресурсів, що зумовить скорочення витрат на пошуки і розвідку нових родовищ, збереження ресурсів у надрах, оскільки їх вичерпність є гострою проблемою сьогодення, підвищення продуктивності праці за рахунок рентабельної переробки вже видобутої сировини, що є готовим напівпродуктом і знаходиться поблизу діючих підприємств, виробництво дешевих будматеріалів, а також звільнення зайнятих відвалами земель та ліквідація джерел забруднення навколишнього середовища [7].

Ці практичні завдання неможливо ефективно виконати без глибоких наукових досліджень, розробки адекватних математичних, фізичних, імітаційних моделей поведінки хімічних елементів залучених у зону техногенезу об'єктів вуглевидобутку та вуглезбагачення.

### Список літератури

1. Огаренко Ю. Доповідь. Проблеми вугільної промисловості України та викиди парникових газів від видобутку й споживання вугілля. URL: <https://www.necu.org.ua/wp-content/uploads/problemy-ugleproma.pdf>
2. Карабин В.В., Кочмар І.М. Форми знаходження міді у зоні техногенезу об'єктів вуглевидобутку. *Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища*. 2017. Вип. 27. С. 30-49.
3. Кочмар И. Н., Карабын В. В. Экологические аспекты геохимии марганца в зоне техногенеза отвалов угольных шахт. *Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология*. 2017. № 4. С. 81–91.
4. Starodub Y., Karabyn V., Navrys A., Shainoga I., Samberg A. Flood risk assessment of Chervonograd mining-industrial district. Proc. SPIE 10783, 107830P. Event SPIE. Remote Sensing. 2018, Berlin, Germany (10 October 2018). URL : <https://doi.org/10.1117/12.2501928>
5. Бутюгин А. В., Узденников Н. Б., Гнеденко М. В., Зубкова Ю. Н. Способы рекультивации терриконов. *Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону*. Донецьк: ДонНУ, 2010. № 1 (10). С. 184 – 189.
6. Черненко М.М. Екологічні проблеми видобутку вугілля на шахтах Західного Донбасу. URL: [http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/157813/%D0%A2%D0%A1%D0%9D\\_%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%9C.%D0%9C.%2C%20%D0%9F%D0%B5%D1%82%D0%BB%D1%8C%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%9C.%D0%92..pdf?sequence=1](http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/157813/%D0%A2%D0%A1%D0%9D_%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%9C.%D0%9C.%2C%20%D0%9F%D0%B5%D1%82%D0%BB%D1%8C%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%9C.%D0%92..pdf?sequence=1)
7. Богач К. С. Визначення засад еколого-економічної політики поводження з відвалами гірської породи вугільних шахт. *Вісник Східноєвропейського університету економіки і менеджменту*. 2013. Вип. 2 (15), С.101 – 110.

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕДУРИ ОФОРМЛЕННЯ ДОКУМЕНТІВ ЩОДО РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК ГІРНИЧОДОБУВНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

*<sup>1</sup>Збаранська М.І. студентка, <sup>1</sup>Бабій К.В. докт. техн. наук, <sup>1</sup>Гойчук А.П. Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*

**Анотація.** В тезах розкриті особливості збору та підготовки документів, які дозволяють в подальшому виконувати гірничотехнічну та біологічну рекультивацію земельних ділянок гірничодобувної промисловості. Встановлено, що потрібно підготувати та узгодити пакет документів, який складається з двох звітів (звіт про стратегічну екологічну оцінку та звіт з оцінки впливу на довкілля) та двох проєктів (робочий проєкт землеустрою щодо зміни цільового призначення та робочий проєкт рекультивації). Визначені основні функції інженера-землевпорядника в цьому процесі.

**Вступ.** Щоб добути корисні копалини людина все глибше проникає в земну кору, внаслідок цього земну поверхню і масив гірських порід розрізано кар'єрами та глибокими шахтами. В результаті цього порушується ґрунтовий покрив земної кори та виникають безліч негативних техногенних пошкоджень, тріщин, зсувів та просідання поверхні. Навколо шахт та кар'єрів утворюються насипи пустих порід (відвали, терикони, хвостосховища тощо), які шкідливо впливають на екологічний стан навколишнього середовища. Земельні та гірничі відводи займають велику площу родючої землі, що не використовується за своїм першочерговим призначенням. Тому техногенні об'єкти та земельні ділянки, які вже не використовуються в гірничому виробництві повинні бути обов'язково рекультивовані, бо «земля є основним національним багатством, що перебуває під особливою охороною держави...» [1]. Адже рекультивація спрямована на поновлення ґрунтового покриву землі та відновлення її родючості.

**Мета дослідження** полягає в аналізі особливостей процедури оформлення документації щодо рекультивації земель гірничодобувної промисловості та визначені функцій інженера-землевпорядника.

**Результати дослідження.** Перед натурним проведенням гірничотехнічної та біологічної рекультивації земельних ділянок землевласнику або землекористувачу потрібно підготувати та узгодити пакет документів, який розкриває землепорядне, геодезичне, містобудівне та екологічне обґрунтування подальших робіт. Цей комплекс досліджень спрямований на аналіз нинішнього стану землі, її навколишнього середовища, аби не завдати йому шкоди та/або не збільшити його вплив.

Аналіз нормативно-правових актів дозволив встановити, що комплекс підготовчих робіт включає в себе розроблення чотирьох проєктів та звітів, а саме:

I. Розроблення робочого проєкту землеустрою щодо зміни цільового призначення земельної ділянки з земель промисловості до обраної категорії земель. Проєкт включає землепорядне визначення земельної ділянки та геодезичне обґрунтування її місця знаходження за допомогою координування кутів поворотів земельної ділянки, складання кадастрового плану земельної



ділянки, визначення топографічних об'єктів тощо, з метою здійснення заходів з рекультивації порушених земель ЗУ «Про землеустрій» [2].

II. Звіт про стратегічну екологічну оцінку (СЕО) – розроблення заходів із запобігання, зменшення та пом'якшення можливих негативних наслідків, які включають визначення стратегічних напрямків та проведення громадського обговорення й консультацій [3]. Суть цієї роботи зводиться до містобудівного та екологічного обґрунтування можливих напрямків рекультиваційних робіт.

III. Розроблення робочого проєкту рекультивації виконується для деталізації рекультиваційних робіт. Він розкриває особливості ведення гірничотехнічної та біологічної рекультивації земельної ділянки з визначенням технологічних процесів, комплексу обладнання, транспортних схем та обсягів переміщення гірничих порід та ґрунтів, калькуляцію та розрахунки тощо.

IV. Звіт з оцінки впливу на довкілля дозволяє на професійному рівні оцінити будь-які наслідки планованої діяльності для довкілля та виконати екологічне обґрунтування прийнятих технологічних рішень щодо рекультивації земельної ділянки.

Згідно ст. 54 [2] підставою розроблення робочого проєкту землеустрою є рішення власника земельної ділянки або землекористувача якому надано спеціальний дозвіл на користування земельною ділянкою. До складу такого проєкту входить:

- 1) завдання на складання робочого проєкту землеустрою;
- 2) пояснювальна записка;
- 3) характеристика природних та агрокліматичних умов відповідної території;
- 4) матеріали ґрунтових та інших обстежень;
- 5) матеріали геодезичних вишукувань та землепорядного проєктування;
- 6) техніко-економічні показники робочого проєкту землеустрою;
- 7) проєктні рішення з визначення комплексу заходів та обсягу робіт з охорони земель;
- 8) розрахунки кошторисної вартості щодо впровадження запроєктованих заходів з охорони земель;
- 9) плани агровиробничих груп ґрунтів та крутизни схилів (за потреби);
- 10) плани запроєктованих заходів;
- 11) матеріали перенесення проєкту в натуру (на місцевість).

Розробником документації із землеустрою згідно ст. 26 [2] можуть бути:

- 1) юридичні особи, що володіють необхідним технічним і технологічним забезпеченням та у складі яких працює за основним місцем роботи сертифікований інженер-землепорядник, який є відповідальним за якість робіт із землеустрою;
- 2) фізичні особи - підприємці, які володіють необхідним технічним і технологічним забезпеченням та є сертифікованими інженерами-землепорядниками, відповідальними за якість робіт із землеустрою.

Перед виконанням проєктних робіт потрібно створити геодезичну знімальну основу (прокласти теодолітний хід). Для цього виконуються топографо-геодезичні роботи в єдиній державній системі координат з метою визначення або

уточнення меж земельних ділянок, координування точок кутів поворотів меж земельної ділянки. Геодезична зйомка виконується інженером-геодезистом, що є відповідальним за якість результатів топографо-геодезичних і картографічних робіт. Прив'язка координат кутів поворотів виконується до пунктів державної геодезичної мережі. Площа земельної ділянки визначається в ході математичної обробки геодезичних вимірів. За результатами складається кадастровий план земельної ділянки, що підлягає рекультивації, та/або проектні контури топографічних об'єктів (дороги, лісосмуги тощо) рекультивації, які підлягають виносу в натуру.

Перед розробкою робочого проєкту землеустрою рекультивації земельної ділянки виконується складання звіту про стратегічну екологічну оцінку – процедура визначення, опису та оцінювання наслідків виконання документів державного планування для довкілля, метою якого є сприяння сталому розвитку шляхом забезпечення охорони довкілля, життєдіяльності суспільства та його здоров'я, який підлягає громадському обговоренню, порядок проведення якого зазначено у ст.12 ЗУ «Про СЕО» [3]. Згідно ч. 3 ст. 2 [3] «Здійснення стратегічної екологічної оцінки проєкту документа державного планування виключає необхідність проведення державної санітарно-епідеміологічної експертизи такого документа». Центральний орган виконавчої влади який реалізує державну політику у сфері охорони навколишнього середовища надає зауваження і пропозиції до заяви про визначення обсягу СЕО проєкту, здійснює методичне керівництво та методологічно-консультативне забезпечення з питань стратегічної екологічної оцінки.

Розроблення робочого проєкту землеустрою базується на геодезичних вимірах, та на звіті про стратегічну екологічну оцінку навколишнього середовища. До складу робочого проєкту входить описання проведення робіт із гірничотехнічного способу рекультивації, який забезпечує підготовку земель, звільнених після розробки родовищ, до подальшого цільового використання. В цей період підприємства або виробничі об'єкти, які розробляють родовища, створюють необхідні умови для подальшого використання земель за цільовим призначенням або для вжиття заходів щодо відновлення родючості ґрунтів та біологічного етапу рекультивації, або просто біологічної рекультивації, що виконується після гірничотехнічної і включає заходи щодо відновлення родючості порушених земель. Вирішальне значення при виборі способів та засобів рекультивації набувають обґрунтування вимог біологічного етапу до гірничотехнічного. Біологічна рекультивація полягає в досвіді робіт з вивчення властивостей порід з їхньої придатності для біологічного освоєння, зокрема вивченню фізико-хімічних властивостей та мінерального складу порід, природного заростання, умов формування водного режиму тощо. Крім того, на вибір напрямку рекультивації впливають природні умови розташування об'єктів, можливість використання гірничо-транспортного обладнання, а також сучасних вимог до питань екології та раціонального використання земель. Вибір напрямку рекультивації здійснюється згідно «ГОСТ 17.5.1.03-86. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации» [5].

Обсяги планувальних робіт при гірничотехнічній рекультивації виконуються відповідно до календарного плану рекультивації земель.

Виконання звіту щодо оцінки впливу на довкілля (ОВД) доцільне якщо земельні ділянки лісогосподарського, сільськогосподарського та водного господарства що мають площу більше ніж 20 га [6, ст 3, ч. 3]. Звіт про ОВД включає в себе [6, ст. 6]:

- 1) опис планованої діяльності;
- 2) опис виправданих альтернатив (наприклад, географічного та/або технологічного характеру) планованої діяльності, основних причин обрання запропонованого варіанта з урахуванням екологічних наслідків;
- 3) опис поточного стану довкілля (базовий сценарій) та опис його ймовірної зміни без здійснення планованої діяльності в межах того, наскільки природні зміни від базового сценарію можуть бути оцінені на основі доступної екологічної інформації та наукових знань;
- 4) опис факторів довкілля, які ймовірно зазнають впливу з боку планованої діяльності та її альтернативних варіантів, у тому числі здоров'я населення, стан фауни, флори, біорізноманіття, землі (у тому числі вилучення земельних ділянок), ґрунтів, води, повітря, кліматичні фактори (у тому числі зміна клімату та викиди парникових газів), матеріальні об'єкти, включаючи архітектурну, археологічну та культурну спадщину, ландшафт, соціально-економічні умови та взаємозв'язки між цими факторами;
- 5) опис і оцінку можливого впливу на довкілля планованої діяльності, зокрема величини та масштабів такого впливу;
- 6) опис методів прогнозування, що використовувалися для оцінки впливів на довкілля та припущень, покладених в основу такого прогнозування, а також використовувані дані про стан довкілля;
- 7) опис передбачених заходів, спрямованих на запобігання, відвернення, уникнення, зменшення, усунення значного негативного впливу на довкілля, у тому числі (за можливості) компенсаційних заходів;
- 8) опис очікуваного значного негативного впливу діяльності на довкілля, зумовленого вразливістю проєкту до ризиків надзвичайних ситуацій, заходів запобігання чи пом'якшення впливу надзвичайних ситуацій на довкілля та заходів реагування на надзвичайні ситуації;
- 9) визначення усіх труднощів (технічних недоліків, відсутності достатніх технічних засобів або знань), виявлених у процесі підготовки звіту з оцінки впливу на довкілля;
- 10) усі зауваження і пропозиції, що надійшли до уповноваженого територіального органу після оприлюднення ним повідомлення про плановану діяльність;
- 11) стислий зміст програм моніторингу та контролю щодо впливу на довкілля під час провадження планованої діяльності, а також (за потреби) планів післяпроєктного моніторингу;
- 12) резюме нетехнічного характеру інформації;

13) список посилань із зазначенням джерел, що використовуються для описів та оцінок, що містяться у звіті з оцінки впливу на довкілля.

Таким чином, можна зробити **висновки**. По-перше, зі сторони держави приділяється багато уваги до процесу моніторингу та відновлення земельних ресурсів, тому що процедура їх рекультивації являє собою складний і тривалий процес, де задіяні багато різних фахівців.

По-друге, пакет документів, який дозволяє в подальшому землевласнику чи землекористувачу виконувати гірничотехнічну та біологічну рекультивацію земельних ділянок гірничодобувної промисловості включає два звіти (звіт про стратегічну екологічну оцінку та звіт з оцінки впливу на довкілля) та два проекти (робочий проект землеустрою щодо зміни цільового призначення та робочий проект рекультивації). Підготовка та узгодження цього пакету документів розкриває землевпорядне, геодезичне, містобудівне та екологічне обґрунтування подальших робіт.

По-третє, в основні функції інженера-землевпорядника входить рекогностування порушених земель, підготовка картографічних матеріалів в існуючому стані, оформлення пакету правовстановлюючих документів на земельну ділянку, формування інженерної та соціальної інфраструктури запланованих технологічних рішень щодо рекультивації з врахуванням первинного рельєфу земельної ділянки, винос в натуру проектних рішень за визначеним способом рекультивації.

### Список літератури

1. Конституція України від 28.06.1996 № 254к/96-ВР із змінами, внесеними згідно із Законом України від 07.02.2019 № 2680-VIII (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254k/96-вр>.
2. Закон України «Про землеустрій» від 22.05.2003 № 858 – IV із змінами, внесеними законом України від 08.09.2021 № 1720-IX 1 (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15>.
3. Закон України «Про СЕО» 20.03.2018 №2354-VII, поточна редакція від 01.01.2020 (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19#n43>.
4. Закон України «Про Державний земельний кадастр» від 07.07.2011 № 3613-VI із змінами, внесеними законом України від 01.12.2021 №199-IX (Електрон. Ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17#Text>.
5. ГОСТ 17.5.1.03-86. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005963>
6. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017 № 2059-VII зі змінами, внесеними згідно із законом України від 20.08.2021 № 1657-IX (Електрон. Ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#n172>.

Національна Академія наук України  
Інститут геотехнічної механіки  
ім. М.С. Полякова

## ХІХ МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ

*Геотехнічні проблеми розробки родовищ*

Матеріали конференції

(on-line видання)

Матеріали розміщені на сайті <http://www.igtm.dp.ua/> в розділі Конференції

Адреса редакції та видавця: Редакція матеріалів конференції «Геотехнічні проблеми розробки родовищ», Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, вул. Сімферопольська, 2-а, м. Дніпропетровськ, 49005.

E-mail: [igtmnanu@ukr.net](mailto:igtmnanu@ukr.net)

Комп'ютерна верстка Бубнова О.А.