

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ

БУР'ЯН ВЯЧЕСЛАВ ВІКТОРОВИЧ

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ, ЕФЕКТИВНОСТІ ТА
ПЕРСПЕКТИВ ВІДКРИТОЇ ГЕОТЕХНОЛОГІЇ З «ВИСОКИМИ»
УСТУПАМИ»**

184 Гірництво

(ОПП «Відкриті гірничі роботи»)

Випускна робота
на здобуття рівня вищої освіти «магістр»

Керівник

Валерій СЛОБОДЯНЮК / _____ /

Завідувач кафедри

Сергій ЖУКОВ / _____ /

Кривий Ріг

2024

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ВСТУП	5
1.ВИВЧЕННЯ ТЕОРІЇ ВИСОКИХ УСТУПІВ НА ВІДКРИТИХ РОЗРОБКАХ	7
1.1.Поняття «високий уступ» у фаховій літературі та особливості високоуступної технології	7
1.2.Дослідження зв'язку між висотою уступу та ефективністю використання гірничого обладнання	10
1.3.Зв'язок між висотою уступу та техніко- економічними показниками роботи підприємства	15
1.4.Оцінка впливу висоти уступів на якісні показники вибухової підготовки гірської маси	23
1.5.Вплив висоти уступу на якість гірської маси та екологічні показники відпрацювання родовища	28
2.ВИВЧЕННЯ ПРАКТИКИ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОУСТУПНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ НА ВІДКРИТИХ РОЗРОБКАХ	33
3.УЗАГАЛЬНЕННЯ НАУКОВОЇ ДУМКИ ТА ПРАКТИКИ З ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ	41
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО НАПРЯМКІВ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	49

РЕФЕРАТ

Бур'ян В.В. Дослідження особливостей, ефективності та перспектив відкритої геотехнології з «високими» уступами. Випускна роб. на здоб. другого (магістерського) рівня вищої освіти - Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2024. – 54 с.

Загальна характеристика роботи. Випускна кваліфікаційна робота на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти складається із наступних розділів: вступ, основний розділ, який складається з трьох розділів, висновки та рекомендацій щодо подальших досліджень, перелік інформаційних джерел, які були вивчені в ході виконання роботи. Загальний обсяг роботи складається з 54 сторінок комп'ютерного тексту, серед них 5 таблиць, 20 рисунків, список інформаційних джерел – 49 найменувань.

Мета роботи полягає у пошуку, систематизації, вивченні і аналізі наукових джерел за темою дослідження магістерської роботи, а також узагальненні теоретичних досліджень та практичного досвіду у напрямку застосування відкритої геотехнології з «високими» уступами.

Виходячи з мети дослідження сформульовано основні **завдання дослідження**:

- Аналіз теоретичної наукової бази щодо застосування високо уступної технології.
- Систематизація існуючих підходів до застосування високих уступів.
- Вивчення практики застосування високих уступів на відкритих розробках.

Об'єктом дослідження є технологічні параметри гірничотехнічних систем сучасних кар'єрів.

Предметом дослідження є висота уступів сучасних кар'єрів.

Методи дослідження, які застосовувались при підготовці роботи – аналіз, узагальнення та систематизація наукової думки і практики у питанні застосуванні високих уступів на відкритих розробках.

У **вступі** зазначається про перспективу відкритого способу видобутку корисних копалин та актуальність досліджуваного питання відкритої геотехнології з «високими» уступами.

Основна частина роботи складається з результатів аналізу наукових джерел та практичного досвіду роботи гірничих підприємств у питанні відкритої геотехнології з «високими» уступами. Було розглянуто поняття «високого уступу» у гірничій науковій літературі, досліджено взаємозв'язок між висотою уступу та основними показниками відкритої розробки родовищ корисних копалин: якістю підготовки гірської маси, техніко-економічними показниками, якісними характеристиками гірської маси, продуктивністю гірничого обладнання тощо. Було розглянуто вплив високоуступної технології на екологічні показники видобутку корисних копалин відкритим способом. Також особливу увагу було приділено вивченню практичного досвіду застосування високих уступів, в тому числі у Кривбасі, з'ясовані причини того, чому дана технологія не знайшла поширення.

У **загальних висновках та рекомендаціях щодо подальших досліджень** сформульовані основні результати магістерської роботи. Крім цього, на основі глибокого вивчення наукових джерел з теми дослідження визначені декілька рекомендацій щодо подальшого розвитку питання високоуступної технології, її перспектив.

Ключові слова: високий уступ, фронт робіт, видобуток корисних копалин, кар'єр, технологія, геотехнологія, ефективність, глибокі горизонти, фізико-механічні властивості гірських порід.

ВСТУП

В даний час частка відкритого способу розробки родовищ становить за різними даними близько 70% загального обсягу видобутку, за прогнозами вона має збільшитися у недалекому майбутньому до 75-80%. Дані цифри свідчать про перспективність відкритої геотехнології. Разом з тим, значні витрати на видобуток корисних копалин, що постійно зростають, пов'язані з погіршенням гірничо-геологічних та гірничо-технічних умов родовищ, вимагають застосування підвищення ефективності гірничого виробництва, застосування нових підходів та інноваційних технологій.

Постійна тенденція збільшення збитків, шкоди природному середовищу відкритим видобутком корисних копалин, визначає необхідність пошуку інноваційних рішень, технологічних схем відкритої розробки, які дозволять скоротити обсяги вилучення розкривних порід, площ земель, забезпечити повноту освоєння надр, покращити техніко-економічні показники роботи підприємств, незважаючи на складність умов роботи. Погіршення гірничо-геологічних та гірничо-технічних умов пов'язане з переходом гірничих робіт на глибокі горизонти, залученням у розробку складних ділянок родовищ, зростанням коефіцієнтів розкриття, обмеженістю робочого простору кар'єрів, а також фізичним та моральним зносом діючого обладнання.

Крім того, у сучасних умовах світової економіки та воєнних дій на території нашої країни для збереження конкурентоспроможності українських підприємств чорної металургії існує необхідність у підтримці вже досягнутого рівня виробництва залізорудної сировини. Поряд з цим постають важливі питання екологічних та енергозберігаючих технологій у мінерально-сировинному секторі. Частковому вирішенню цих задач відповідає застосування високоуступної технології (уступами 30-35 м) при відкритій розробці залізорудних родовищ. Це, за різними оцінками, дозволяє ліквідувати

відставання розкривних робіт, збільшити продуктивність гірничого обладнання на 8-10% тощо.

Сьогодення характеризується розробкою та впровадженням у виробництво потужної високопродуктивної гірничодобувної та транспортної техніки. При цьому вимоги до обґрунтування параметрів уступів, розроблені в ще у ХХ столітті, не повною мірою відповідають сучасним умовам ведення гірничих робіт та рівню розвитку техніки. Іншими словами, зараз з'явилися можливості нівелювати або значною мірою зменшити прояви погіршення умов розробки родовищ шляхом впровадження нових технологій. Однією з таких є високоуступна технологія відпрацювання родовищ відкритим способом.

В даній роботі маємо намір проаналізувати особливості високоуступної геотехнології, її переваги та недоліки, практику застосування, систематизувати наукову думку у цьому напрямку.

Даному питанню в свій час присвятили наукові праці такі вчені: М.Г. Новожилов, О.І. Арсентьев, Г.А. Холодняков, О.В. Шпанський, Є.Ф.Шешко, К.Н.Трубецькой, М.Д.Абдулаєв, А.В.Баулін, М.Ф. Друкований та ін.

1. ВИВЧЕННЯ ТЕОРІЇ ВИСОКИХ УСТУПІВ НА ВІДКРИТИХ РОЗРОБКАХ

1.1. Поняття «високий уступ» у фаховій літературі та особливості високоуступної технології

Уступ є одним з основних гірничо-технологічних понять відкритої розробки, одним з основних конструктивних елементів розкриття та системи розробки. Головним параметром уступу є його висота, що має визначальний вплив на цілу низку показників роботи гірничо-видобувного підприємства, включаючи інтенсивність відпрацювання родовища, термін будівництва кар'єру, обсяг гірничо-капітальних робіт, розподіл обсягів розкриття у часі.

Під високими у гірничій літературі розуміються уступи, що мають єдину площину укосу, відпрацювання якої ведеться шарами (підступами). Потужність шару визначається лінійними параметрами виймально-навантажувального обладнання [15, 29].

Довідкова література дає таке визначення [9]: «до високих уступів прийнято відносити ті з них, висота яких перевищує як висоту вертикального оголення порід, так і висоту черпання екскаваторного обладнання більш ніж в 1,5 рази». При цьому їх раціональна висота визначається за результатами комплексної оцінки впливу такого рішення на техніко-економічні показники роботи підприємства: якості корисної копалини, швидкості посування фронту і темпу поглиблення гірничих робіт, виробничої потужності кар'єру, протяжності внутрішньокар'єрних комунікацій, допустимих кутів укосу та безпечного виробництва.

Загальноприйнятим критерієм визначення висоти уступу є безпека гірничих робіт, забезпечення встановлених річних обсягів розкривних та добувних робіт, висока продуктивність гірничого устаткування, якомога менша кількість допоміжних робіт, мінімальні витрати на видобуток та розкрив. Не так давно у гірничотехнічній літературі [15, 17, 49] почали

звертати увагу на зв'язок між висотою уступів та якісними характеристиками сировини, що видобувається, а також на екологічну складову видобутку.

Існує також думка, яка підтверджується дослідженнями, що визначення висоти уступу має відповідати раціональному співвідношенню втрат, засмічення та розубоження руди. У своїх дослідженнях [15, 49] М.Д. Абдуллаєв обґрунтовує можливість визначення зон, де можлива зміна висоти уступу для забезпечення стабільної продуктивності видобутку.

У [15] зазначається, що висота уступу у тому чи іншому ступені впливає на такі показники: швидкість посування фронту та темп углубки кар'єру, об'єм гірничо-капітальних робіт, продуктивність кар'єру, протяжність транспортних комунікацій, кут укосу робочого та неробочого бортів кар'єру та ін. Висота уступу не встановлюється за одним показником, необхідно врахувати їх якомога більше, щоб отримати сукупний вплив.

Автори [17] зазначають, що висота уступу суттєво впливає на роботу кар'єру, і тому рішення приймається з урахуванням умов залягання та властивостей гірських порід; заданої інтенсивності гірничих робіт; календарного плану гірничих робіт; планової якості корисної копалини, що видається з кар'єру; параметрів буровибухових робіт; умов роботи екскаваторів та транспортування порід.

У наукових працях багатьох вчених-гірників [14, 15, 20-21, 26-28, 48] наголошується, що застосування на кар'єрах високих розкривних уступів сприяє зменшенню поточних обсягів розкриву, що дозволяє отримати значний економічний ефект. Разом з тим, відомо, що збільшення висоти уступу призводить до зниження темпів углубки та швидкості руху фронту гірничих робіт, що негативним чином відбивається на виробничій потужності кар'єру. Така ситуація може мати місце, наприклад, на рудних кар'єрах через характерні особливості форми та умов залягання рудного тіла. До того ж, залишається недостатньо висвітленим у науковій літературі питання щодо термінів переходу на високі уступи, тобто у який період експлуатації кар'єру це найдоцільніше зробити.

Все ж основним моментом у переході на високоуступну технологію є питання безпеки гірничих робіт. З наукової літератури та нормативних документів, що регламентують безпечне ведення відкритих гірничих робіт, відомо, що висота уступу визначається поєднанням як фізико-механічних властивостей гірських порід, так і параметрів обладнання, яке застосовується. Щодо параметрів обладнання – це змінна величина, існує багато технологічних та технічних рішень із застосуванням сучасного обладнання, яке дозволяє без проблем реалізовувати таку технологію. А от безпекові та геомеханічні питання даної технології потребують детального аналізу та вивчення.

Так, у [43] проведено дослідження, яке дозволяє оцінити дальність відльоту гребів гірської породи в залежності від висоти уступу та крутизни його нахилу (рис.1). Побудовані залежності дозволяють зробити висновок, що чим більша висота уступу та більший кут його закладання, тим більша відстань відльоту гребів. А це звичайно збільшує площу небезпечної зони.

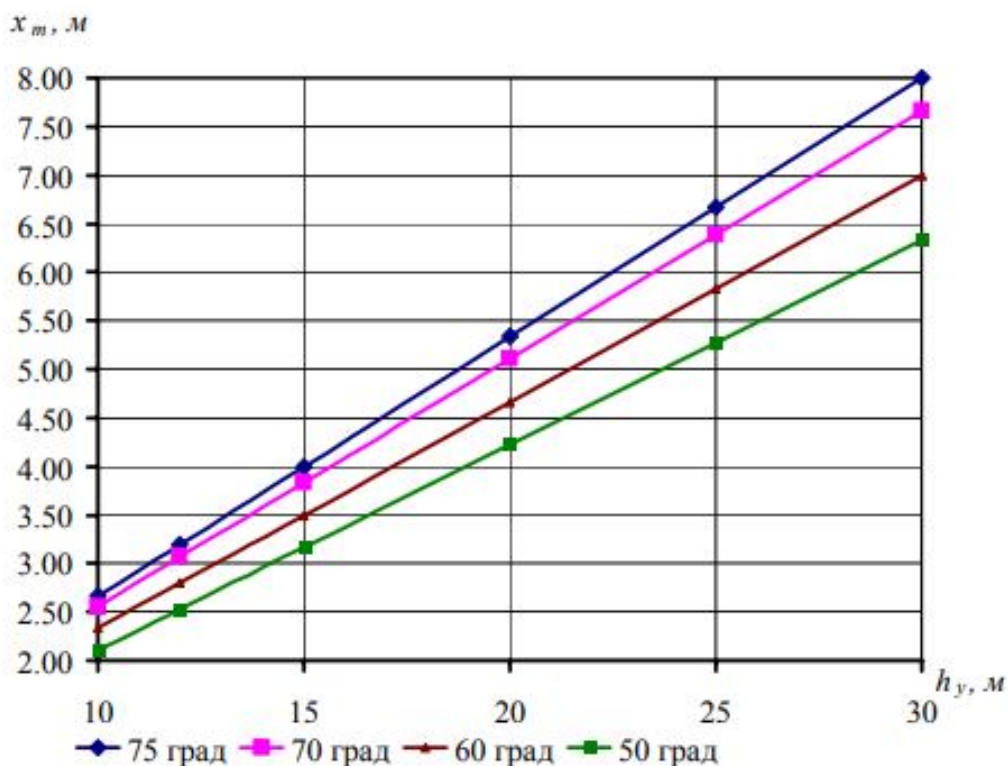


Рис.1- Графік залежності відльоту гребів від висоти уступу h_y при різному закладанні кута укосу уступу

Отже, для того, щоб дізнатись про особливості даної технології, передумови переходу на неї, а головне – довести її ефективність чи навпаки спростувати, маємо намір в цій роботі дослідити зв'язок висоти уступу з основними факторами, що визначають ефективність роботи гірничо-видобувних підприємств.

1.2. Дослідження зв'язку між висотою уступу та ефективністю використання гірничого обладнання

Висота уступу значною мірою визначає ефективність використання основного вантажо-транспортного обладнання. Свідченням цього є проведені наукові дослідження. Аналіз досвіду відкритої гірничих робіт показує, що близько 30% простоїв технологічного обладнання спричинені неповною реалізацією його паспортних можливостей. Коефіцієнт використання сучасних екскаваторів на кар'єрах становить 0,56-0,62, залізничного транспорту – близько 0,5, самоскидів – 0,51-0,72. Звичайно такий низький коефіцієнт використання обладнання пов'язаний не лише з вищеназваною причиною, проте неповна реалізація паспортних можливостей обладнання відіграє в цьому не останню роль. Наукові дослідження [6, 20, 21, 23, 27, 36, 45] та практика відкритих гірничих робіт показують, що зниження продуктивності роботи гірничотранспортного обладнання спостерігається із збільшенням глибини ведення гірничих робіт. Це пов'язано з цілою низкою причин, серед яких провідну роль відіграють організаційні. Збільшення ж висоти уступу дає змогу використовувати високопродуктивну техніку, зменшити кількість горизонтів кар'єру, що сприятиме удосконаленню організації та технології буропідричних, виймально-навантажувальних та транспортних робіт.

В 60-70-х роках ХХ століття відомий вчений проф. Новожилов М.Г. провів дослідження, які підтвердили зниження собівартості виймки порід при 30-45 метрових уступах на 12-14% в порівнянні з уступами висотою 15 м. Вчений класифікував схеми відпрацювання високих уступів за способами підривання, формування розвалу, технології виймальних робіт [20,21,36,45].

Є.В. Савицький [47] зазначає, що при застосуванні високоуступної технології спостерігається зростання коефіцієнта використання транспортного та вантажного обладнання. В зв'язку з цим він розглядає можливість збільшення висоти відпрацьованого уступу до 60 м. Він обґрунтовує технологію розробки залізрудних родовищ високими уступами із застосуванням драглайнів, що може підвищити продуктивність технологічного комплексу обладнання кар'єру, а також зменшити матеріальні, енергетичні та трудові витрати на його експлуатацію.

У доповіді [48] проаналізовано варіанти технології з уступами 15 м, 20 м та 30 м. Серед низки досліджуваних показників вивчалась продуктивність виймально-навантажувального обладнання. Цікаво, що збільшення продуктивності екскаваторів спостерігалось лише при висоті уступів у 20 м, при чому на 62%! Збільшення продуктивності екскаваторів при роботі на уступах у 30 м не спостерігалось.

В роботі [38] автор перераховує позитивні риси високоуступної технології, проте зазначає, що її недоліком є зниження рівня безпеки гірничих робіт, що потребує додаткових досліджень у цьому напрямку. При цьому збільшення висоти уступу ставить питання про використання відповідного обладнання, розробку та впровадження технологічних схем з його застосуванням.

Розробка високих уступів з вибуховою підготовкою порід до виймання і багаторядному підриванні ускладнюється отриманням розвалу підірваних порід великої висоти, що перевищує максимальну висоту черпання екскаватора. При цьому створюються небезпечні умови для екскаватора. Вирішити це питання вдалося декількома способами, наприклад застосуванням екскаваторів із збільшеною висотою черпання, такими як ЕКГ – 20, ЕШ 13/50, також пропонується розбити уступи на підуступи або змінити параметри буропідривних робіт. Також для створення безпечних умов роботи екскаваторів високі розвали можуть бути розроблені пошарово. Розробка верхнього шару може бути виконана з завантаженням у засоби транспорту

(при використанні автотранспорту) або зі скиданням породи верхнього шару в заходку екскаватора (рис.2).

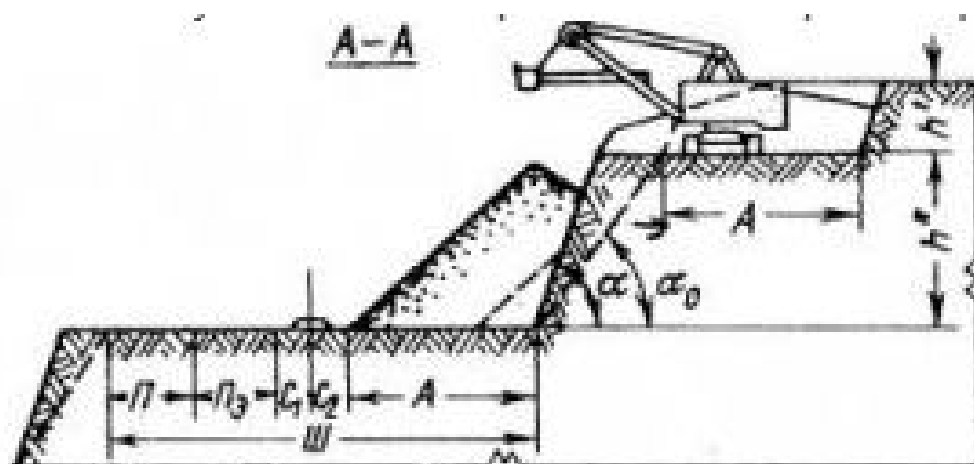


Рис.2- Схема відпрацювання високого уступу двома підступами зі скиданням породи верхнього підступу

В роботах [24, 38] зазначається, що останні десятиліття ведуться роботи щодо розробки нового та адаптації існуючого обладнання під відпрацювання високих уступів. Мова йде про кранлайни, гідравлічні екскаватори типу зворотна лопата з верхнім та нижнім черпанням, а також про еклайни [38]. Еклайн може бути застосований при досягненні кінцевої глибини кар'єру, коли в його контурі вже здійснюється внутрішнє відвалоутворення. Еклайни мають неповоротні забійний та відвальний модулі. Забійний модуль може працювати на уступі чи поверхні, відвальний – на внутрішньому відвалі. Ковш еклайну прикріплений до канатів обох модулів. Така конструкція дозволяє відпрацьовувати високі уступи до 60 м і більше, проводити прицільне навантаження в автосамоскид або на конвеєр.

Кранлайни (рис.3) виконані на базі крокуючого екскаватора (драглайна), але відрізняється від нього тим, що містить пристрій прицільного навантаження (ППН), який складається з лебідки та додаткових канатів. Також для кранлайнів передбачаються два типи ковшів: традиційний драглайновий (придатний для відпрацювання м'яких порід з розвантаженням у

великовантажні автосамоскиди) та коробчатої форми (придатний для відпрацювання м'яких і скельних порід з розвантаженням в автосамоскиди або думпкари, оскільки при розвантаженні відсутнє поздовжнє маятникове розгойдування, характерне ковшів традиційної конструкції) [38].

Технологічні схеми із застосуванням кранлайнів та еклайнів знаходяться ще в стадії опробування та не застосовуються повсюдно, оскільки потребують заміни існуючого обладнання, а от технологічні схеми із застосуванням екскаваторів ЕГО більш прийнятні. Схема, описана у [38] передбачає застосування двох екскаваторів ЕГО-14 для відпрацювання високого уступу висотою 30 м (рис.4).

Параметри екскаваторів ЕГО-14 дозволяють здійснювати верхнє та нижнє черпання.

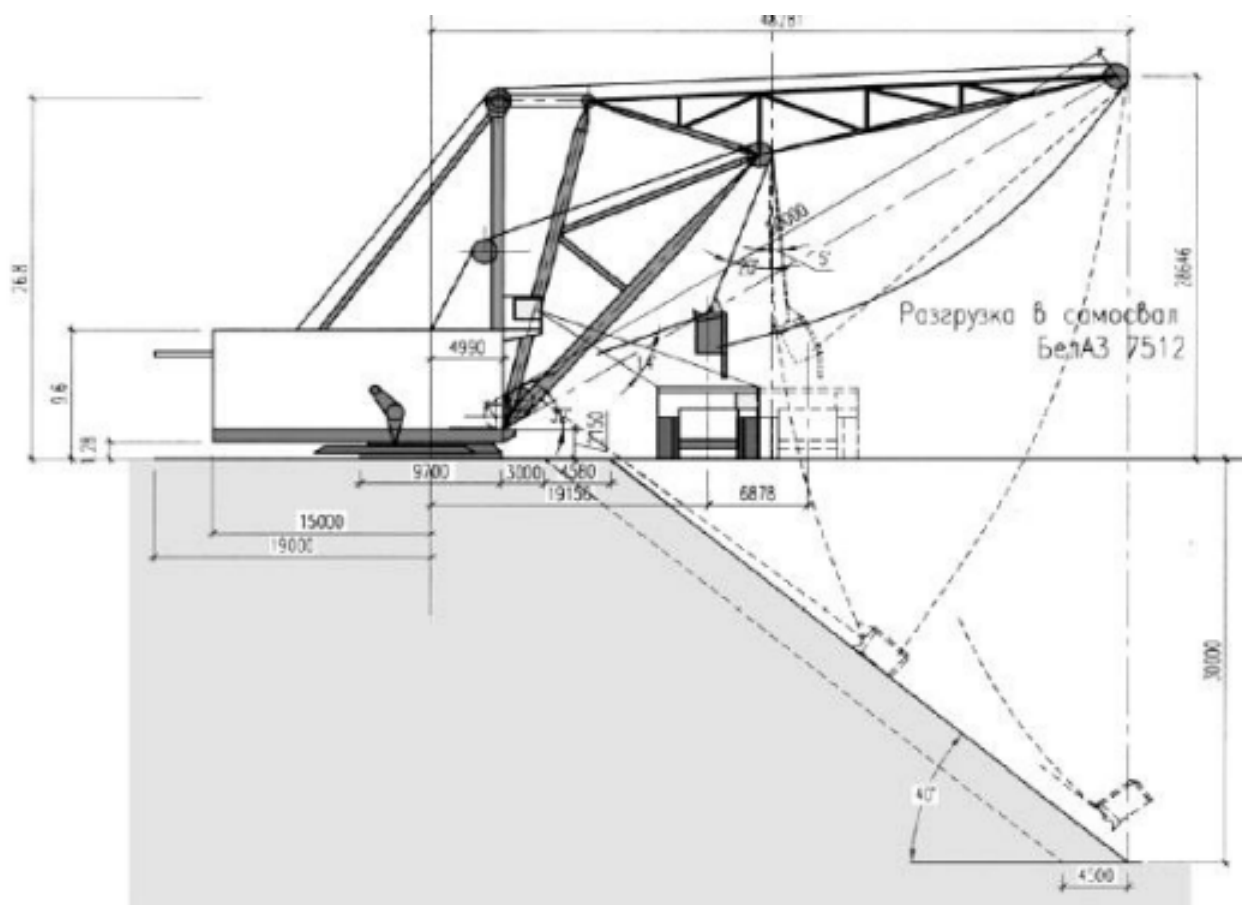


Рис.3- Схема відпрацювання 30-метрового уступу кранлайном

У запропонованій схемі передбачається розміщення двох екскаваторів на підступах, кожен з яких відпрацьовує на частину висоти верхній та нижній підступ (верхнім черпанням висотою до 18 м, нижнім черпанням глибиною до 14 м), а нижній відпрацьовує другу половину уступів. Навантаження гірничої маси відбувається в автосамоскиди.

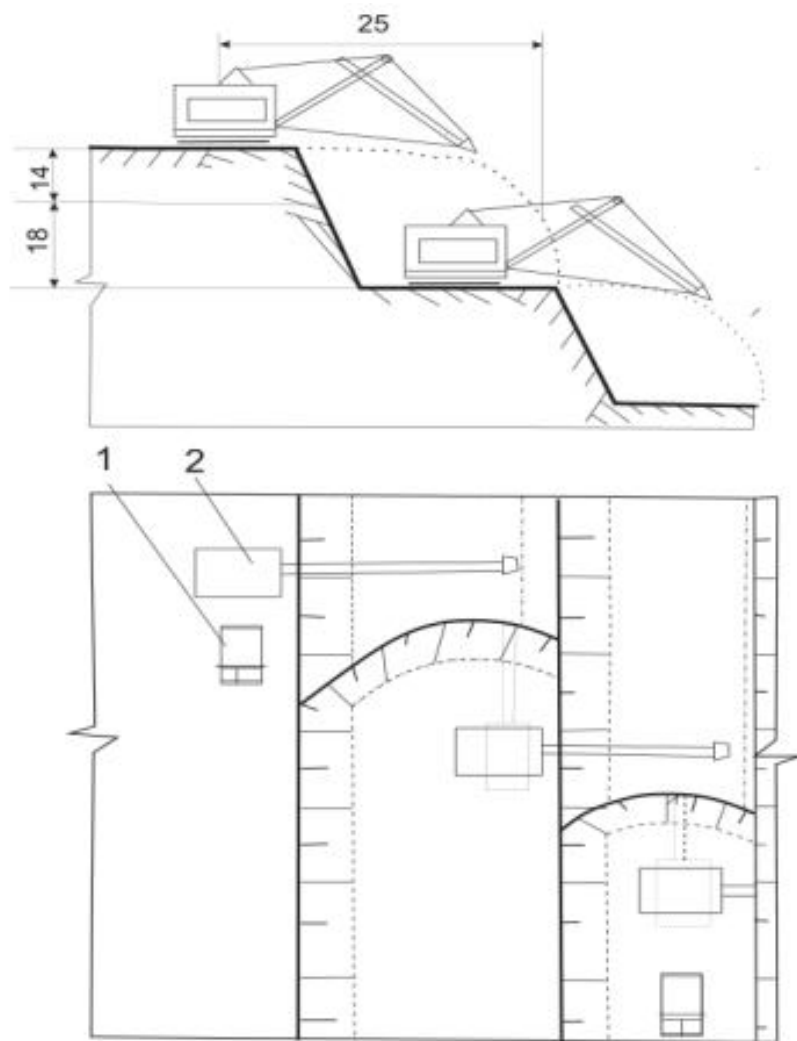


Рис.4 - Технологічна схема відпрацювання високого уступу екскаваторами ЕГО-14: 1 - самоскид, 2 - екскаватор.

Отже, можна підсумувати, що застосування високоуступної технології позитивним чином позначається на продуктивності гірничого обладнання, оскільки дозволяє у більшому ступені задіяти його потенціал, збільшується коефіцієнт використання обладнання. Крім того, якщо говорити про транспорт, то при застосуванні високих уступів зменшується кількість горизонтів, і як – наслідок – протяжність транспортних комунікацій. Проте є певна низка труднощів у цьому питанні, пов'язаних в першу чергу з безпекою складовою гірничих робіт.

1.3.Зв'язок між висотою уступу та техніко-економічними показниками роботи підприємства

Однією з переваг технології відпрацювання розкриву високими уступами є можливість управління кутом укосу робочого борту кар'єру, що призводить до зниження величини поточного коефіцієнта розкриву, скорочення кількості транспортних горизонтів, а також задіяних в роботі транспортних засобів. Дана теза підтверджується у науковій літературі численними дослідженнями [13, 15, 16, 17, 47, 48].

Наприклад, у роботі [13] зазначається, що протяжність транспортних шляхів та комунікацій при застосуванні високоуступної технології зменшується до 15%, що дозволяє зменшити кількість транспортної техніки та час на перегін машин та обладнання.

Ще у 60- 70-х роках ХХ століття проф.Новожиловим М.Г. були проведені дослідження, які підтвердили зниження собівартості виїмки порід при 30-45 метрових уступах на 12-14% порівняно з уступами, які мають висоту 15 м [20, 21].

Так, автори [13] пропонують досягати збільшення кута укосу робочої зони кар'єру завдяки двоїдуступній схемі відпрацювання високих уступів (по 30 м) із залишенням між підступами запобіжних берм (5 м), а між уступами тільки транспортних берм для поточного обслуговування екскаваторів (до 15 м) технологічним автотранспортом. Кожен високий уступ робочої зони поділяється на два підступи (рис. 5).

Спочатку одночасно відпрацьовуються всі верхні підступи, а потім – нижні. Це дозволяє тимчасово призупиняти гірничі роботи між суміжними підступами та досягати їх безпечного відпрацювання широкими панелями зі збільшенням висоти уступів у 2–3 рази. Автори вважають, що при застосуванні потужних екскаваторно-автомобільних комплексів достатньо вести гірничі роботи високоуступною технологією за даною схемою із застосуванням лише одного екскаватора. Доведено, що застосування методу збільшує розкриті запаси корисних копалин до 20–50%, при цьому поточні

обсяги розкриву зменшуються на 10–15% та гірничо-капітальні роботи - у 2-4 рази.

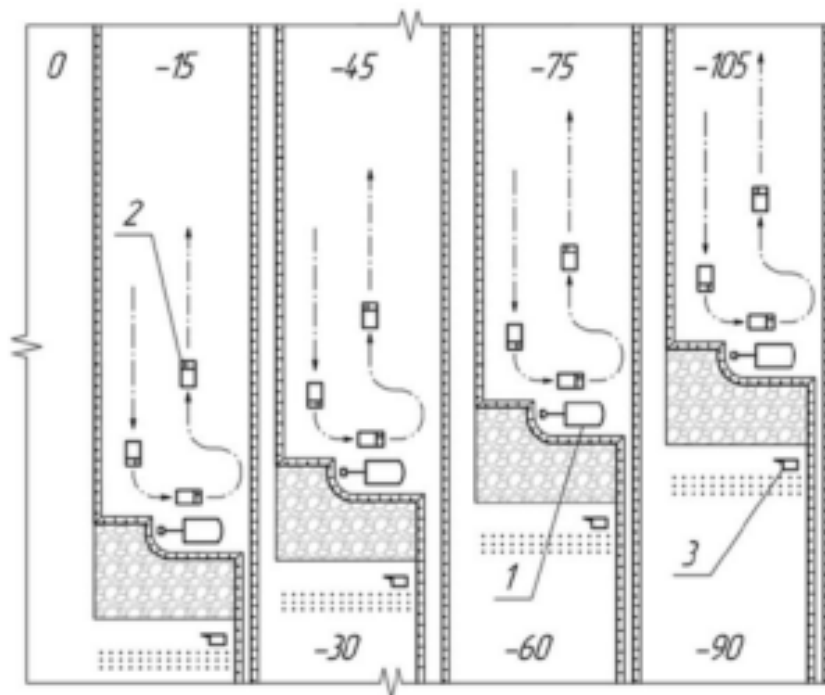


Рис. 5 – Двохпідступна технологічна схема відпрацювання уступів поперечними панелями (блоками панелей) із змінними рівнями робочих майданчиків: 1 – екскаватор-мехлопата; 2 – автосамоскид; 3 – буровий верстат

В [17] зазначається, що зі збільшенням висоти уступу зменшується швидкість посування фронту гірничих робіт. З гірничої наукової літератури відомо, що об'єм робіт з розкриття та підготовки горизонту пропорційний кубу та квадрату висоти уступу, відповідно. Таким чином, при збільшенні висоти уступу значно збільшується обсяг траншейних робіт і, отже, збільшується термін підготовки нових горизонтів. При збільшенні висоти уступів з 10 до 20 м, швидкість поглиблення кар'єру зменшується в півтора рази. Зі збільшенням висоти уступів зменшується коефіцієнт розкриття.

Схожих висновків доходять автори [15], які на основі розрахунків встановили, що при збільшенні висоти уступів швидкість проходження траншей зменшується обернено пропорційно. Ними визначено, що чим більший час підготовки горизонту до експлуатації, а це відповідає більшій висоті уступу, тим менше швидкість зниження гірничих і, відповідно,

видобувних робіт. А отже, і продуктивність кар'єрів по руді безпосередньо залежить від висоти уступів, і в цьому випадку залежність обернено пропорційна. Іншими словами, чим більша висота уступу, тим менше можлива продуктивність кар'єру по руді. Автори статті рекомендують при проектуванні, особливо при визначенні розміру продуктивності кар'єра за корисною копалиною, ретельно аналізувати гірничо-геологічні та гірничо-технічні умови розробки по всій передбачуваній глибині кар'єра з метою виявлення зон, де потребується зміна висоти уступу для забезпечення стабільності обсягу видобувних робіт [15].

В роботі [25] описано перехід до роботи кар'єру високими уступами, протягом його реконструкції, що завершується до моменту досягнення рівності поточного та граничного коефіцієнтів розкриття. Таке рішення дозволило перерозподілити обсяги розкривних робіт у часі, переносячи їх частину на більш пізній період, знизити поточні об'єми розкриття величину експлуатаційних витрат. При цьому загальний об'єм видобутої корисної копалини, а також термін експлуатації родовища не змінились.

Привертає увагу той факт, що момент досягнення максимального значення поточного коефіцієнта розкриття зсувається у часі на пізніший термін, при цьому він залишається меншим за граничний протягом всього терміну експлуатації (рис. 6а).

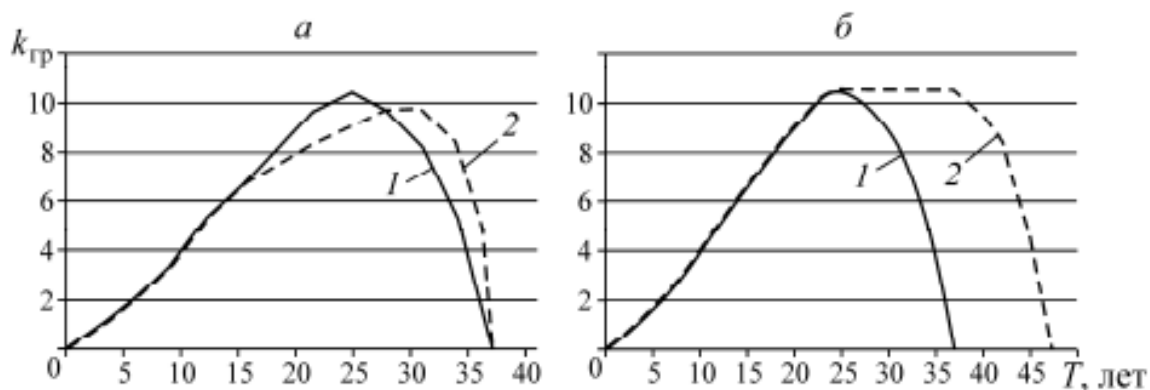


Рис. 6 – Зміна поточного коефіцієнта розкриття при переході до ведення гірничих робіт високими уступами (1) і без переходу (2): а — до досягнення рівності поточного і граничного коефіцієнтів розкриття; б - у момент досягнення цієї рівності

При цьому автор дисертаційного дослідження [25] зазначає, що такий перерозподіл обсягів розкривних робіт значною мірою применшує значення граничного коефіцієнт розкриву, він перестає бути важливим орієнтиром при проектуванні та плануванні гірничих робіт і не виступає і якості критерію для визначення кінцевої глибини гірничих робіт. Автор припускає, що перехід до відпрацювання родовища високими уступами може розглядатись як технічне рішення, спрямоване на збільшення кінцевої глибини гірничих робіт [25, 44].

На основі аналізу гірничо-геологічних умов ряду родовищ розглянуто варіанти переходу до роботи високими уступами та встановлено, що для забезпечення найбільшого приросту кінцевої глибини кар'єру перехід до відпрацювання розкриву високими уступами має здійснюватися у момент максимального розвитку гірничих робіт (рис. 6б). Під максимальним розвитком гірничих робіт розуміється момент рівності поточного та граничного коефіцієнтів розкриву.

У доповіді [48] наводяться результати дослідження впливу висоти уступів на низку техніко-економічних показників роботи кар'єру. У якості базових варіантів взято уступи висотою 15 м, а два альтернативних варіанти передбачали відпрацювання розкриву уступами висотою 20 та 30 м. Результати досліджень наведені у таблиці 1 .

Проаналізувавши дану таблицю можна зробити наступний висновок: при високо уступній технології відбувається збільшення кута укусу робочого борту кар'єру, при цьому зростає ширина робочих площадок. Відбувається зниження об'єму розкриву на 1 погонний метр довжини робочого борту – у випадку із застосуванням 30 метрових уступів зниження удвічі більше, ніж при застосуванні 20 метрових уступів. Спостерігається значне зниження поточного коефіцієнту розкриву, при чому при застосуванні 20 метрових уступів та 30 метрових уступів отримані однакові результати. Продуктивність екскаваторів зростає при роботі на 20 метрових уступах у порівнянні з 15 метровими, ефекту збільшення продуктивності екскаваторів на 30 метрових уступах не спостерігається.

Показники розкривних робіт при збільшенні висоти уступу

Показник	Базовий 1 Ну=15 м	Новий 1, Ну =20 м	Базовий 2, Ну=15 м	Новий 2, Ну=30 м.
Ширина робочої площадки, м	49	54	49	60
Кут укосу робочого борту, град	15,8	18,6	15,8	23,7
Зниження об'єму розкриву на 1 пог.м довжини робочого борту, тис.м.куб	-	19,4	-	49,4
Поточний коефіцієнт розкриву, м.куб/т	10,7	5,2	11,1	5,2
Річна продуктивність екскаватора, млн.м.куб/рік	3,5	5,6	3,5	3,5

У дисертаційному дослідженні [19] автор доводить, що висота уступу як позитивно, так і негативно позначається на техніко-економічних показниках роботи підприємств. Наприклад, зі збільшенням висоти уступів та відповідно довжини дна кар'єру зростають його основні параметри, зокрема об'єм розкривних порід, що призводить до додаткових витрат, пов'язаних з необхідністю переміщення обсягів розкриву у зовнішні відвали. В той же час, скорочується кількість робочих майданчиків, транспортних берм та берм безпеки, відбувається формування більш крутих укосів робочих і неробочих бортів кар'єра.

На рис.7 показані залежності об'єму кар'єру першої черги від висоти уступу. Аналіз отриманих залежностей дає змогу зробити висновок, що в міру збільшення висоти уступу об'єм гірничої маси, що відпрацьовується, зменшується, при чому ця залежність нелінійна, а градієнт зміни параметра зменшується із збільшенням висоти уступу. Тому, можна зробити висновок, що надалі (30-60 м) зменшення об'єму кар'єру буде відбуватися не суттєво.

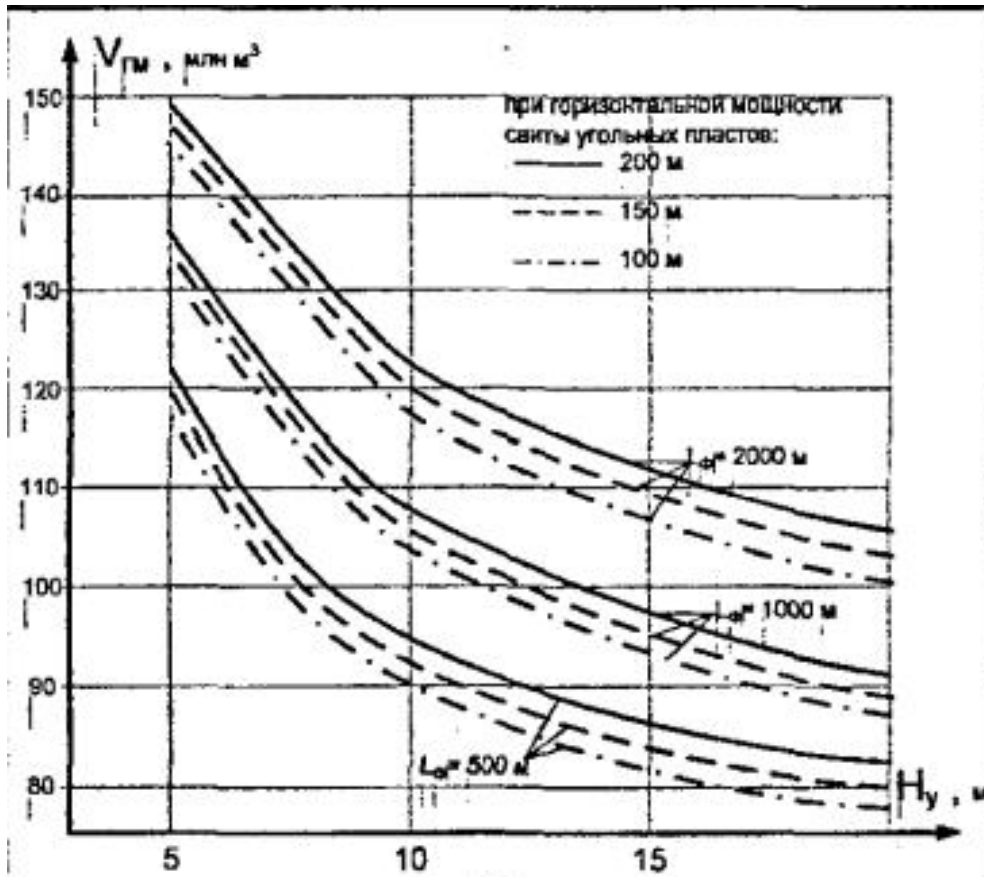


Рис. 7 – Графік залежності об'єму кар'єру першої черги від висоти уступів при різній протяжності формованого фронту гірничих робіт (L_f)

Крім цього на підставі проведених досліджень [19] були встановлені залежності середнього коефіцієнта розкриття від висоти уступів (рис.8). Залежність також нелінійна, як і у випадку з об'ємом кар'єру: зі збільшенням висоти уступів спостерігається зниження середнього коефіцієнта розкриття різної інтенсивності. Проте, у нашому дослідженні нас цікавлять високі уступи від 25 м і вище. А характер залежності, представленої на цьому рисунку дає можливість зробити висновок, що після позначки висоти уступу у 15 м, подальше збільшення цього параметра не призводить до зниження середнього коефіцієнта розкриття.

Техніко-економічний аналіз показує [6, 20], що найменші витрати на буропідривні роботи відповідають висоті уступів 15-45 метрів залежно від способу підривання та типу вибухової речовини.

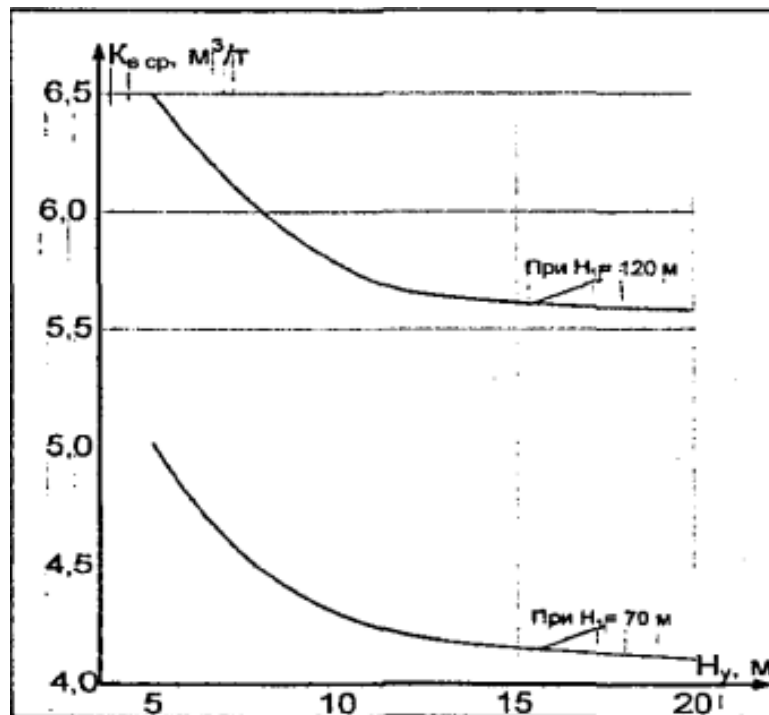


Рис. 8 – Графік залежності значень середнього коефіцієнта розкриття від висоти уступу

Так, при використанні суцільної конструкції колонкового заряду та дорогих типів вибухових речовин (алюмотол, гранулотол) відповідає зменшенню висоти уступів, а економічніших (типу ігданітів, гранемітів) – висоті уступів 40-45 метрів (рис.9).

Збільшення глибини розробки дещо знижує ефективність застосування уступів 24-27 метрів, при цьому найбільш доцільним є відпрацювання уступів висотою 30-45 метрів (рис.10). Собівартість виїмки порід при таких уступах на 12-14% нижче порівняно з 15-метровими уступами. Основною проблемою при застосуванні способу розробки родовища високими уступами була складність навантаження екскаваторами через розвали гірничої маси після 19 проведення буропідривних робіт, що перевищують висоту черпання екскаватора, що призводить до порушення техніки безпеки.

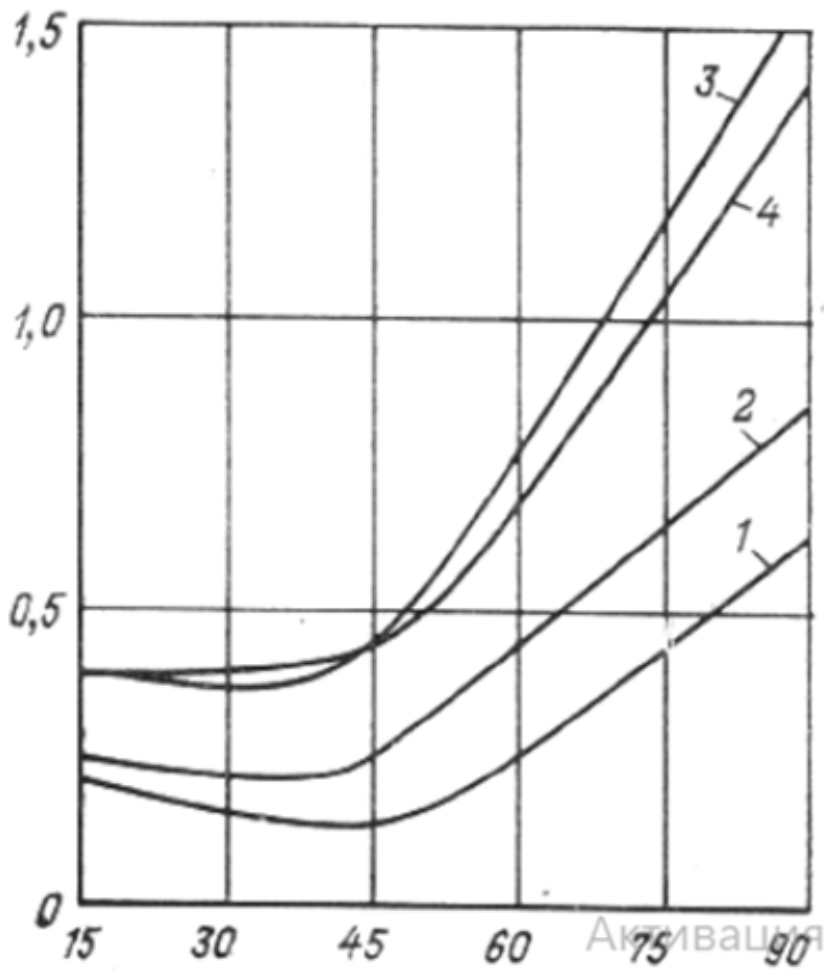


Рис.9 – Вплив висоти уступів на техніко-економічні показники буропідричних робіт при підриванні на підібраний забій (використані ВР: 1- ігданіт; 2- грамоніт 79/21; 3 – гранулотол; 4 – алюмотол)

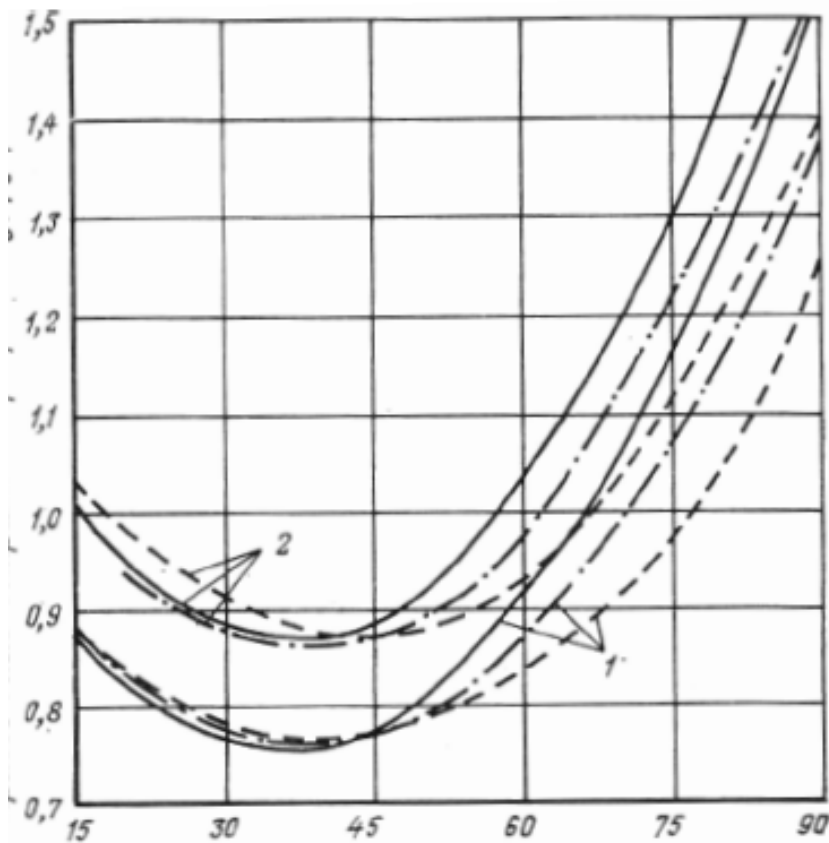


Рис.10 – Вплив висоти уступів на ефективність виконання розкривних робіт екскаваторами типу ЕКГ

1.4.Оцінка впливу висоти уступів на якісні показники вибухової підготовки гірської маси

В роботі [6] дослідники вивчали зв'язок між висотою уступів та енергією вибуху під час підривання породи. На основі численних експериментальних даних вони встановили залежність між висотою уступів та дією вибухового імпульсу (рис.11). З рисунку видно, що при збільшенні висоти уступу з 15 до 75 м дія вибухового імпульсу на породу збільшується в 5-6 разів.

Автори роблять висновок, що збільшення тривалості знаходження гірського масиву в напруженому стані при незмінних параметрах сітки свердловин за рахунок зростання висоти уступу є одним з найважливіших факторів збільшення інтенсивності та підвищення рівномірності дроблення гірських порід.

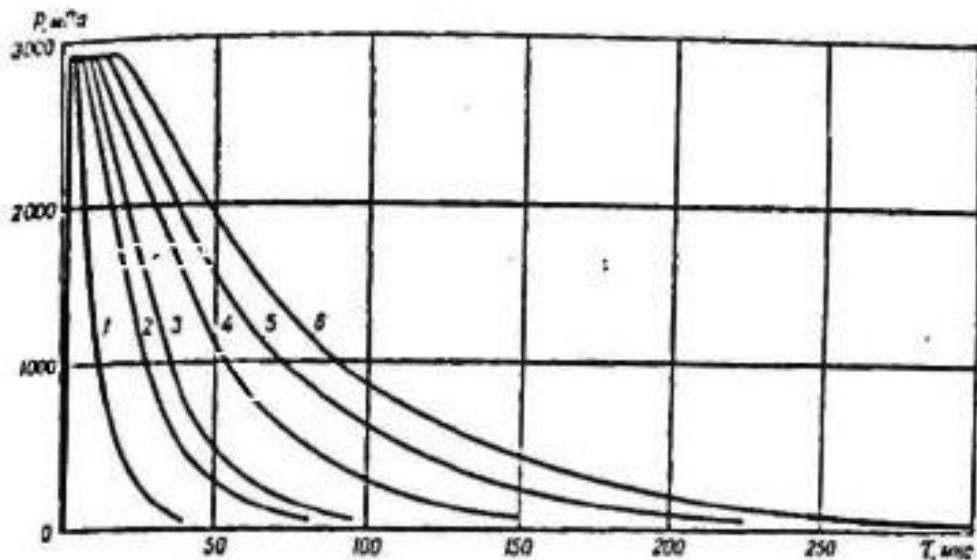


Рис.11 – Зміна тиску в свердловині у часі в залежності від висоти уступу: 1 – уступ 15 м; 2 – 25 м; 3 – 30 м; 4 – 45 м; 5 – 60 м; 6 – 75 м.

Було проведено низку лабораторних досліджень на моделях, аналіз яких показав, що збільшення висоти уступу за інших рівних умов сприяє значному поліпшенню ступеня дроблення моделі, підтверджуючи основну фізичну

передумову: якість дроблення крихких середовищ визначається не тільки величиною напруги, але й часом дії енергії вибуху на середовище.

У роботі [41] зазначається, що останнє десятиліття активно здійснюється технічне переозброєння кар'єрів із залученням до розробки виймально-навантажувального обладнання великої одиничної потужності, а це потребує переходу на ведення гірничих робіт з висотою уступу у 30 м. При цьому в даний час відсутня науково-методична база та практика визначення оптимальних параметрів буровибухових робіт для ефективної реалізації високопоступної технології. Застосування старих регламентів, які ефективно себе проявили на уступах 10-15 м, призводить до негативних результатів, серед яких основним є недопрацювання підшви уступу та нерівномірний гранулометричний склад при високому виході негабариту (рис. 12).

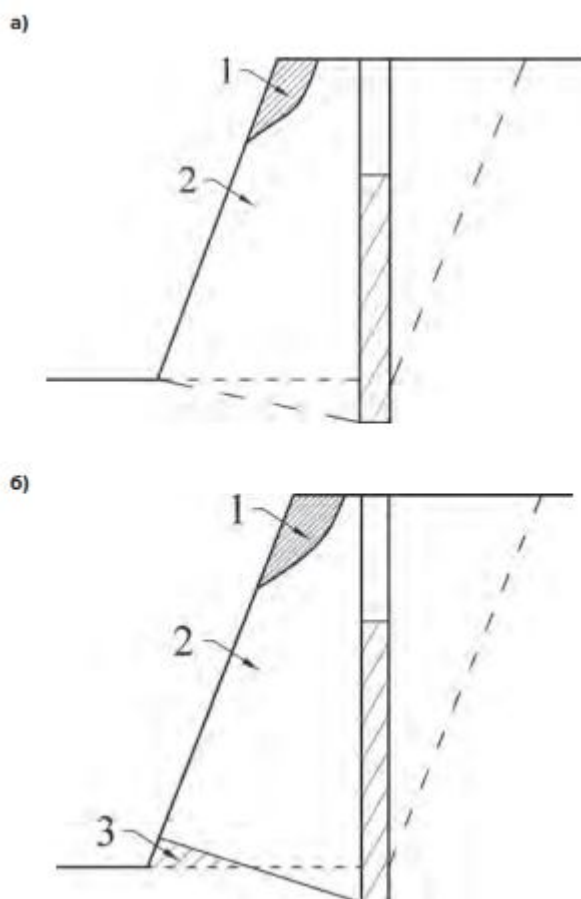


Рис.12 – Зони регульованого та нерегульованого дроблення при підриванні свердловинних зарядів при висоті уступу до 15 м (а) та більше 15 м (б): 1 – зона нерегульованого дроблення (вихід негабариту); 2 – зона регульованого дроблення (рівномірне та нерівномірне дроблення); 3 – зона регульованого дроблення (непророблення підшви уступу – утворення порогів)

З рисунку можна зробити висновок, що зона нерегульованого дроблення при застосуванні високих уступів збільшується, хоча у дослідженні

не наведені цифри виходу негабариту, щоб кількісно оцінити цей параметр. При цьому утворюються пороги (рис.12), які утворюють складнощі при підготовці робочих площадок та роботі гірничотранспортного обладнання.

Аналіз виробничих вибухів на кар'єрах Криворізького басейну, підривання дрібно тріщинуватих порід високої міцності високими уступами призводило до поганого опрацювання підшви за першими рядами свердловин (перевищення 2-3 м, інколи і 4 м). Досвід буропідривних робіт Південного ГЗК по дуже міцних породах показав, що не завжди відбувається достатня руйнація вибухового масиву саме в нижній частині уступу, де лінія найменшого опору досягає свого максимального значення [45].

Для того, щоб усунути недоліки буро-вибухових робіт при реалізації високоуступної технології, автори [41] пропонують вжити таких заходів (рис. 13):

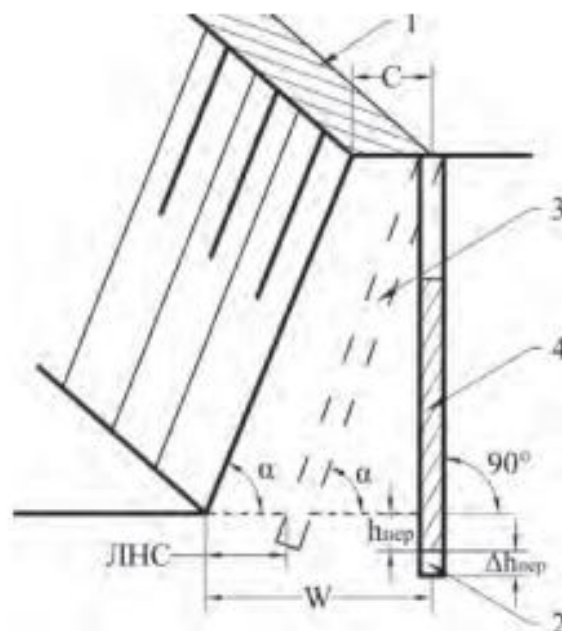


Рис.13 – Схема реалізації технічних заходів для підвищення якості вибухової підготовки для високих уступів

1. Наближення першої свердловини до верхньої бровки уступу на мінімально можливу відстань, виходячи з технічних характеристик бурового верстата.
2. Збільшення величини перебуру.
3. Зміна кута нахилу свердловин.

4. Регулювання вибухового імпульсу.

Однак, автори зазначають, що слід констатувати, що, незважаючи на значну варіацію технічних заходів, спрямованих на підвищення якості дроблення при високоуступній технології, досягти необхідних показників якості буропідривних робіт найчастіше не є можливим або є економічно неефективно. Виходом з даної ситуації автори вважають використання можливості регулювання густини емульсійних вибухових речовин у процесі заряджання свердловин. Таким чином автори сподіваються досягти підвищення таких показників якості вибухового дроблення, а саме пропрацювання підосви уступу та рівномірне дроблення гірських порід за його висотою без зміни параметрів буропідривних робіт. Проведені дослідно-промислові випробування регулювання щільності заряду емульсійної вибухової речовини підтвердили покращення показників якості дроблення – вихід негабариту скоротився в середньому по блоках на 1,5% і було досягнуто повної проробки підосви уступу, проте час на заряджання блоку збільшився в 2,5 рази.

Проте не тільки ці заходи, на думку деяких вчених можуть усунути недоліки високоуступної технології, пов'язані з підготовкою гірських порід до виймання. В якості технологічних рішень при буро-вибухових роботах пропонують наступне:

1. Руйнування гірських порід методом парно-зближених та похилих свердловинних зарядів.
2. Вибух на неприбрану гірську масу.
3. Застосування методу котлових зарядів.
4. Застосування комбінованих свердловинних зарядів вибухових речовин.

Наприклад, з метою виявлення впливу висоти уступу на ступень дроблення порід під час підривання уступів на неприбрану гірську масу (рис.14) висотою 25-30 м на кар'єрах ЦГЗК та ІнГЗК були проведені вимірювання гранулометричного складу підірваної гірничої маси (докладніше про практику підривання високих уступів у розділі 2).

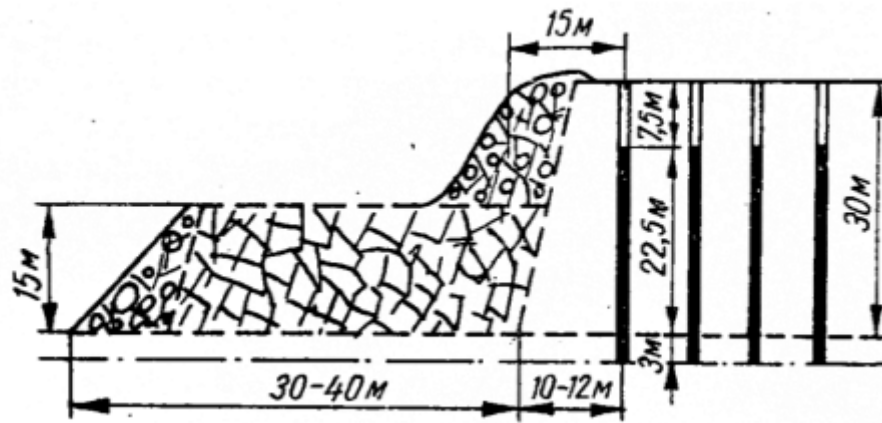


Рис.14 – Принципова схема підривання високих уступів на неприбрану гірську масу

В умовах кар'єру ЦГЗК [45,46] досліджувались вибої з породами різної міцності та структури (табл.2). Було обміряно 150 м³ гірської маси руд міцністю $f = 10 - 12$. З'ясувалось, що лише 4% гірської маси припадає на фракції більше 400 мм, а негабариту виявилось тільки 0,3%. Підривання окисленої руди об'ємом 280 м³ дало такі результати: фракції вище 400 мм - 1%. На кар'єрі ІнГЗК значна кількість вимірювань гранулометричного складу не виявила фракції понад 500 мм. Дослідження тривали рік, практика підривання високих уступів у затиснутому середовищі на кар'єрі [46] показала значне поліпшення ступеня дроблення у порівнянні з вибухами уступів висотою 12—15 м.

Таблиця 2

Гранулометричний склад підірваної гірської маси за різної висоти уступу на кар'єрі ЦГЗК, %

Висота уступу, м	Фракції, мм						
	Менше 200	300-201	400-301	500-401	600-501	700-601	701-1000
10-15	81,3	4,4	4,32	3,05	1,93	1,04	3,7
35	85,7	1,68	4,82	1,65	1,65	0,82	3,68
12-15	79,4	2,66	2,65	3,03	2,83	4,64	4,82
24	85,3	2,2	2,8	2,6	1,6	1,9	3,6
30	86,1	2,3	2,1	2,6	1,7	1,8	3,5

З таблиці можна зробити висновок, що при підриванні високих уступів (24-35 м) вихід негабаритної фракції менше, ніж при підриванні уступів

висотою 10-15 м, а вихід фракції менше 200 м – більший. Звичайно, можна сказати, що ці дані в межах статистичної похибки, проте ці результати дають можливість зробити висновок, що принаймні високоуступна технологія не сприяє збільшенню виходу негабариту та забезпечує необхідний ступінь дроблення гірських порід, хоча для цього і доводиться застосовувати різні технологічні прийоми.

1.5. Вплив висоти уступу на якість гірської маси та екологічні показники відпрацювання родовища

В деяких джерелах наукової літератури зазначається, що збільшення висоти розкривного уступу дозволяє збільшити обсяги запасів корисних копалин, що додатково можуть бути вилучені, а також подовжує термін експлуатації кар'єру на 18-23% [13].

Крім того, Є.В. Савицький [47] стверджує, що при застосуванні високоуступної технології значною мірою знижуються викиди в атмосферу пилу та газів.

Автор [10] вважає, що для економічно доцільного та екологічно безпечного відпрацювання родовищ залізистих кварцитів Кривбасу необхідно розробляти прогресивну технологію ведення гірничих робіт, параметри системи розробки якої передбачають уступи збільшеної висоти. На його думку, це дозволить суттєво зменшити обсяги розкривних порід.

Елементом ресурсозберігаючої геотехнології є використання виробленого простору для розміщення в ньому розкривних порід. Існують дослідження, які дозволяють оцінити вплив висоти уступу на приймальну здатність виробленого простору. Так, у роботі [10] встановлено залежності зміни прийомної спроможності виробленого простору кар'єру від висоти уступів. Залежності носять нелінійний характер та отримані емпіричним шляхом, отже про закономірність в даному випадку говорити не доводиться. Дані, наведені в цій роботі, говорять про те, що приймальна здатність

знижується зі збільшенням висоти уступів (рис.15). Якщо проаналізувати характер залежності, то ми бачимо, що після висоти уступу у 15 м, зниження приймальної здатності виробленого простору майже не відбувається. На основі чого можна зробити висновок, що високоуступна технологія не впливає на ефективність застосування технологій із використанням виробленого простору.

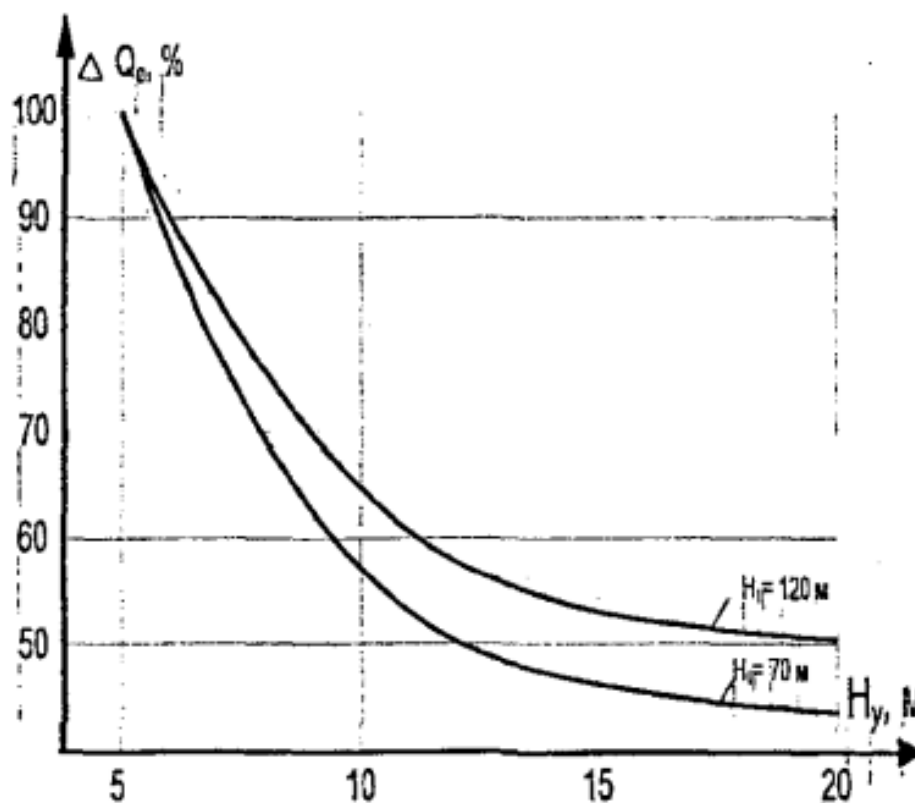


Рис. 15 – Графік залежності зміни приймальної здатності виробленого простору від висоти уступу

Останніми роками значно зросли вимоги щодо екологічності технологій, які застосовуються на виробництві, в тому числі і при видобутку корисних копалин. Одним з серйозних джерел забруднення при розробці родовищ відкритим способом є вибухова підготовка гірських порід до виймання. Доведено, що промислові вибухи в кар'єрах є джерелом потужного викиду в атмосферу токсичних газів та пилу [8, 32, 33]. Великі гірничо-збагачувальні комбінати України, зокрема п'ять ГЗК Кривбасу, щорічно здійснюють від 24 до 48 масових вибухів. При середній продуктивності

кожного з вибухів у 300 – 800 тис. м³ гірської маси, об'єм пилогазової хмари, яка викидається в атмосферу, сягає 10–15 тис. м³, концентрація пилу при цьому становить 700 – 4150 кг/м³ [8]. Вміст чадного газу (CO) та діоксину азоту (NO₂) в декілька сотень разів перевищує гранично допустимі концентрації. Збільшення глибини кар'єрів призводить до зростання питомих витрат вибухової речовини, які в багатьох випадках досягають 1,0–1,3 кг/м³.

Окреслена картина невтішна, але на даний момент немає ефективної заміни вибухової технології, тому екологи, інженери-технологи вишуковують способи зниження негативного її впливу на довкілля. Одним з рішень у цьому напрямку є впровадження у технологію відкритих гірничих робіт подвоєних і високих уступів (висотою до 30 м), що дозволяє знизити концентрацію пилу у викидах з 3700 до 1700 кг/м³, а висоту підняття пилогазової хмари зменшити в 1,25 рази. Інше технологічне рішення – підривання на неприбрану гірську масу – тісно пов'язане з попереднім, оскільки підпірна стінка з раніше зруйнованої гірської породи висотою у 20–30 м різко знижує пиловиділення [8, 32, 34].

За даними [33, 34] з екологічної точки зору підривання високих уступів у затиснутому середовищі є одним з найбільш ефективних методів зниження викидів пилу та газу. Дослідження впливу висоти уступу на пилогазові викиди на прикладі сланців, проведені в промислових умовах [6], показали, що концентрація пилу в пилогазовій хмарі за висоти уступу 10 м склала 3300 мг/м³, в той час як концентрація пилу в хмарі знизилася вдвічі при висоті уступу у 24 м. Також, дослідженнями встановлено, що висота пилогазової хмари при підриванні високих уступів зменшилася в 1,25-1,5 рази, порівняно із уступами звичайної висоти.

Підривання високих уступів на кар'єрах Центрального Казахстану також дозволяє зробити висновок про зниження негативного впливу вибуху на довкілля при застосуванні цієї технології [34]. А підривання на неприбрану гірську масу, тобто на підпірну стінку із раніше зруйнованої гірської маси, яка складала високі уступи, різко скорочує чи взагалі дозволяє не утворювати

вторинну пилогазова хмара (відсутність пилогазовиділення з боку розвалу) і сприяє скороченню на 2-3 год часу зниження концентрації СО до гранично допустимого рівня після вибуху.

У дослідженні [35] проведений ґрунтовний аналіз впливу параметрів відкритих гірничих робіт на компоненти довкілля. В рамках дослідження також вивчався зв'язок між висотою уступів та величиною негативного впливу на навколишнє середовище. Було визначено, що при збільшенні висоти уступу витрата вибухової речовини на відбійку та вибухове переміщення породи зростає в арифметичній прогресії, а обсяг відбійки збільшується в степеневій залежності. Тому питома витрата вибухової речовини зі збільшенням висоти уступу зменшується. Оскільки кількість газів та пилу при підриванні 1 одиниці вибухової речовини постійна, то збільшення параметрів ділянки, що відбивається, зменшує забруднення навколишнього середовища. В ході досліджень були сформульовані закономірності:

- Кількість пилогазової суміші визначається параметрами уступу, витратою ВР, швидкістю детонації ВР, повнотою використання енергії вибуху та властивостями з пріоритетом параметрів уступу.
- Маса пилу при підриванні уступу збільшеної висоти зменшується лінійно з кореляцією від $r = -0,88$ до $d = 0,17$ м. При підриванні уступів висотою понад 15 м доцільно збільшувати об'єм зарядів, що дозволить знизити пиловиділення для порід з коефіцієнтом міцності 10 за шкалою Протодяконова на 8-10% при однаковій висоті уступу і на 15-17% при одночасному збільшенні величини заряду та висоти уступу.

У дослідженні [41] інституту проблем природокористування та екології НАН України розглядалось питання щодо впливу кута укосу борту кар'єру на екологію. Зазначається, що чим більший кут укосу борту, тим менше розкривних порід буде вийнято з контурів кар'єру та укладено у відвал. Окрім економічного ефекту буде досягнуто ще й екологічний. Але практикою ведення гірничих робіт встановлюються менші кути укосів бортів кар'єрів, що пояснюється та обґрунтовується нормами безпеки. Більшого кута укосу борту

кар'єру можна досягти з використанням високо уступної технології. В даному дослідженні наводиться приклад практичного застосування надвисоких неробочих уступів висотою до 180 м! Їх формування відбувається вертикальними підступами висотою 30 м між якими розташовують берми безпеки шириною 10 м. Застосування такої технології дозволило зменшити обсяги розкриву на 46 млн.м.куб. Проте безпекова складова даної технології спряла тому, що висоту уступів було знижено до 45 м та проведено низку заходів щодо укріплення масиву.

В науковій літературі представлені дослідження щодо впливу висоти уступу на втрати та засмічення руди при видобутку. Обидва ці показники дуже важливі при оцінці економічної ефективності видобутку. На рис.16 наведено залежність втрат та засмічення руди при різних кутах нахилу покладу та уступу для уступів висотою 10, 15 та 20 м.

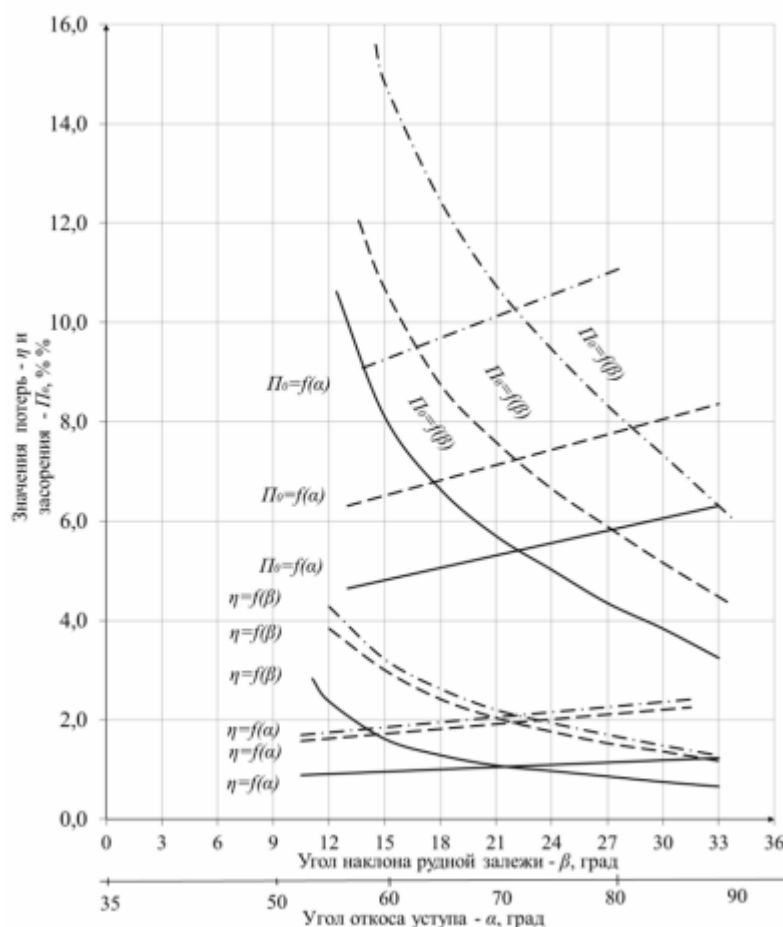


Рис.16 – Графік залежності втрат та засмічення руди від кута падіння покладу та кута нахилу уступу при його висоті 10, 15 та 20 м

Проведені дослідження [49] свідчать про те, що втрати та засмічення руди знаходяться у прямій залежності від висоти уступу. При відпрацюванні уступів більше 20 м спостерігається збільшення коефіцієнту втрат та засмічення у 1,8-2,9 рази. При цьому слід зазначити, що на показник втрат та засмічення впливає не лише висота уступу, а й кут його нахилу, а також кут падіння покладу.

2.ВИВЧЕННЯ ПРАКТИКИ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОУСТУПНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ НА ВІДКРИТИХ РОЗРОБКАХ

Розробка високих уступів із керованим обваленням розпочалася у СРСР у 50-х роках ХХ століття. Піонерами цієї справи були кар'єри ВО «Сірка», «Олександріявугілля», «Укрвогнеупорнеруд».

Тенденція до збільшення висоти уступів рудників Кривбасу відзначалася акад. Л.Д. Шевяковим ще у 20 роках ХХ століття і пояснювалася гострою потребою у руді. Най той час було відсутнє обґрунтування методу застосування високих уступів, що не дозволило методи прижитись на кар'єрах Криворіжжя.

З 60 років ХХ століття розпочалося впровадження високоуступної технології з наступним поділом розвалу підірваної маси на уступ звичайної висоти на кар'єрах Кривбасу [8, 37]. Перші великомасштабні вибухи високих уступів у затиснутому середовищі в умовах кар'єрів ЦГЗК та ПівдГЗК були здійснені в 1960 р. Ефективність підривання високих (або суміщених) уступів забезпечувалася за рахунок:

- ✓ можливості забезпечення великих запасів підірваної гірничої маси;
- ✓ скорочення обсягів буріння за рахунок зменшення перебудів, адже при суміщенні n -ї кількості уступів число перебудів скорочується на $n-1$;

- ✓ скорочення витрат детонуючого шнура на з'єднання зарядів на поверхні;
- ✓ зменшення кількості переїздів верстата від свердловини до свердловини, що збільшує продуктивність верстатів;
- ✓ підвищення продуктивності обладнання.

Під час перших вибухів високих уступів питому витрату вибухової речовини дещо завищили через те, що не мали досвіду у проведенні буровибухових робіт на високих уступах. Пізніше на основі досвіду було встановлено, що при підриванні високих уступів у затиснутому середовищі за рахунок більш повного використання енергії вибуху можна знизити питому витрату вибухової речовини, забезпечивши при цьому інтенсивне дроблення порід. Вже перші вибухи високих уступів показали значне покращення ступеня подрібнення порід середньої і нижчої середнього рівня твердості. На кар'єрі ЦГЗК при висоті уступу 21–31 м вихід фракції дроблення +400 мм у загальному об'ємі підірваної гірничої маси залежно від міцності породи становив від 5,5 до 11,5% [8].

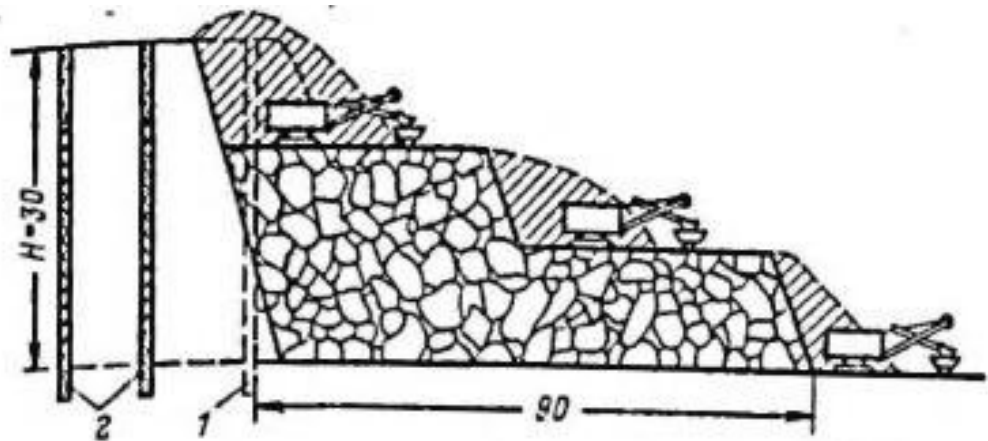


Рис.17 – Схема підривання та технологія відпрацювання гірської маси при високих уступах: 1 – останній ряд свердловин раніш підірваного блоку; 2- свердловини чергового вибуху

Досліди було продовжено на кар'єрі ІнГЗК та отримано ще більш високі показники ступеня дроблення гірських порід під час підривання високих уступів 24—27 м. У породах з коефіцієнтом міцності за шкалою

М.М.Протодьяконова 8-14 вихід фракції дроблення +400 мм становив лише 4-6 %.

В той же час на кар'єрі ПівдГЗК здійснили підривання уступів висотою 30 м у породах з коефіцієнтом міцності за шкалою М.М.Протодьяконова 8—18 якість дроблення у порівнянні з уступами висотою 15 м покращилася майже вдвічі (фракції дроблення +400 мм склали лише 9—10 %).

В подальшому досліди та доволі широке промислове використання методу підривання високих уступів було продовжено. Наприклад, було здійснено підривання уступів висотою у 45 м. Дослідним шляхом вдалося уточнити параметри розташування сітки свердловин, визначити раціональне число рядів свердловин, схему підривання та конструкцію свердловинних зарядів (рис. 18).

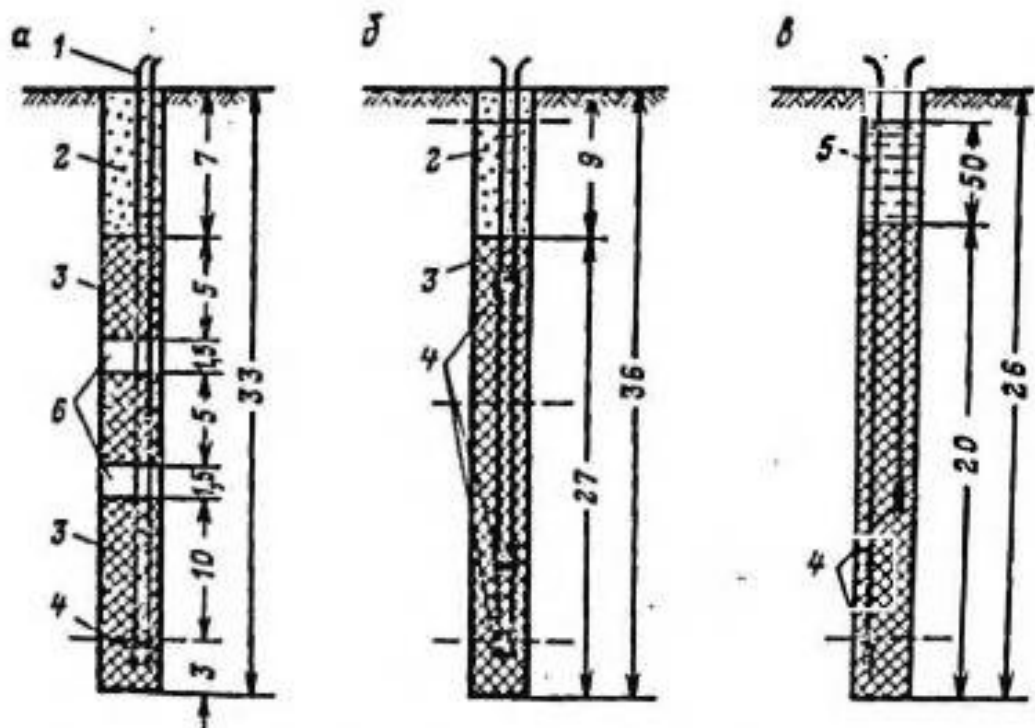


Рис.18 – Характерні конструкції зарядів на залізрудних кар'єрах Кривбасу при підриванні високих уступів: а – з повітряними проміжками; б – суцільний заряд; в – з водяною забійкою; 1 – ДШ; 2 – забійка; 3 – заряд ВР; 4 – бойовик; 5 – вода; 6 – повітряні проміжки.

В результаті поступового удосконалення методу підривання значно розширилася сфера його застосування та підвищилися техніко-економічні показники.

Таким чином за період із 1960 по 1971 р. загальний обсяг гірничої маси, отриманої під час підривання високих уступів на залізорудних кар'єрах Кривбасу склав 60 млн. м³. Проте, через деякий час застосування даного методу було обмежено, а згодом і зовсім зійшло нанівець. Причиною цього є збільшення обсягу міцних гірських порід, а також відсутність ефективних засобів буріння на глибину до 45 м.

В процесі проведення дослідів по підриванню високих уступів в Кривбасі даний метод показав найкращі результати при руйнуванні тріщинуватих порід середньої та нижче середньої міцності. А от при підриванні міцних і дуже міцних порід цей метод виявився не достатньо ефективним. Можливо, неефективність підривання високих уступів, які складені міцними породами, пов'язаний з відсутністю корегування технології з урахуванням характерних особливостей таких порід, а був застосований підхід, який вживався при підриванні високих уступів, складених тріщинуватими породами середньої та нижче середньої міцності.

Далі, для удосконалення практики застосування та підривання високих уступів на кар'єрах ПівдГЗК, НКГЗК та ІнГЗК було проведено низку дослідних вибухів в найміцніших породах. Частина вибухів виявилася вдалою, а в деяких випадках нижня частина високих уступів була слабо зруйнована, містила багато негабариту, що заважало нормальній екскавації (вихід фракції дроблення +400 мм склав більше 20 %, тобто збільшився в 2 рази). Стало очевидним, що в технологію необхідно вносити корегування. Було розроблено та випробувано різні конструкції зарядів (рис.19) та отримані такі результати (табл.3) на кар'єрах Південного ГЗК та Центрального ГЗК.

Майже за 10 років проведених дослідів на Криворізьких кар'єрах були отримані суперечливі результати, і застосування високоуступної технології зупинилось. Хоча досвід роботи кар'єрів гірничозбагачувальних комбінатів

Кривбасу показав ефективність застосування високих уступів при підриванні порід середньої та нижче середньої міцності. За даними [8] на 10-13% збільшився вихід гірничої маси з погонного метру свердловини, знизилась питома витрата буріння, на 15-25% скоротилась витрата детонуючого шнура, а також, що є визначальним, покращився ступінь дроблення гірської маси.

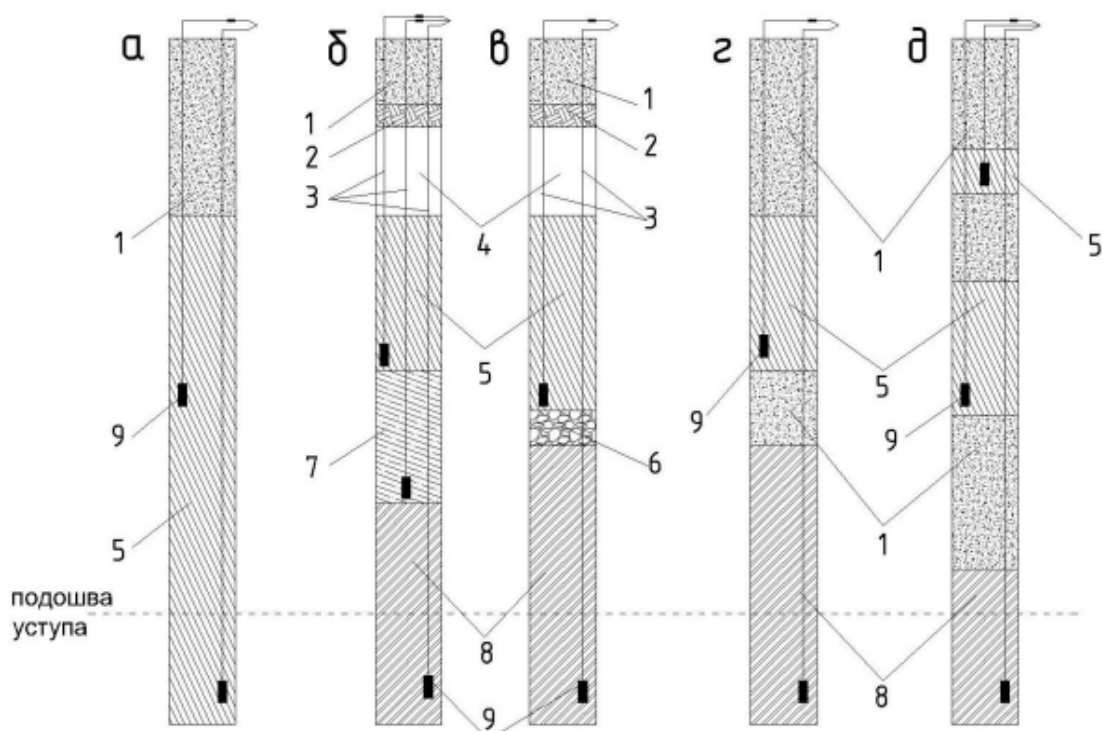


Рис.19 – Конструкції зарядів, які застосовувались на кар'єрах ПівдГЗК та ЦГЗК при підриванні високих уступів (а – суцільні заряди; б – комбіновані з повітряним проміжком перед забійкою; в - комбіновані з повітряним проміжком перед забійкою та інертним між частинами заряду; г - комбіновані з одного типу ВР розосереджені забійкою на дві частини; д - комбіновані заряди розосереджені забійкою на три частини; 1 - забійка; 2 - паперовий затор; 3 – нитка ДШ; 4 – повітряний проміжок; 5 – заряд ігданіту або зерногрануліту; 6 – породний затор; 7 – заряд тротилу; 8 - заряд алюмотолу; 9 - проміжний детонатор)

Таблиця 3

Показники дослідних вибухів високих уступів розосередженими зарядами

Кар'єр	Середня висота уступу, м	Кількість свердловин досліді	Опір по підшві, м	Перебур, м	Конструкція	Вихід негабариту, %	Перевищення підшви, м
--------	--------------------------	------------------------------	-------------------	------------	-------------	---------------------	-----------------------

ЦГЗК	20,1	74	8,0	3,0	а	11,2	+3
	25,5	232	8,0	4,0	б	9,5	+1,1
	25,4	56	8,0	3,0	в	9,1	+0,2
	27	134	7,5	3,0	г	8,5	-0,3
ПівдГЗК	21,5	125	7,4	3,0	а	13,1	+3,2
	32,5	23	9,5	3,5	д	8,9	+0,5
	25,5	53	8,5	3,0	г	7,8	-0,2

Аналіз таблиці дає змогу зробити такі висновки: вихід негабариту при уступах більшої висоти зменшується, перевищення підошви уступів зменшується при збільшенні висоти уступів.

Таким чином, практика виробництва буровибухових робіт високими уступами на підприємствах Кривбасу дозволяє зробити висновок про збільшення виходу гірничої маси з 1 метра свердловини, поліпшення якості дроблення досягається під час вибуху на неприбраній забій. Проте на той час, коли відбувались дослідження, бурова та виймально-навантажувальна техніка не була пристосована для особливостей даної технології.

Сучасна бурова та виймально-навантажувальна дозволяє застосовувати дану технологію. Наразі у великих кар'єрах існує тенденція до заміни старого обладнання на нове, більшої одиничної потужності. Бурові верстати мають глибину буріння понад 45 – 50 м та потужні екскаватори - місткість ковша до 54 м³. Невикористання можливостей технологічного обладнання «на повну» негативно позначається на продуктивності бурової та екскаваційної, на ефективності роботи гірничотранспортного комплексу загалом.

На кар'єрах Кузнецього басейну було практично досліджено шість варіантів комплектів обладнання, що включають буровий верстат DML-1200, екскаватори-драглайни (ЕШ) з місткістю ковша 10 – 15 м³ та довжиною стріли 50 – 70 м, екскаватори-мелопати (прямі механічні ЕКГ, зворотні гідравлічні) з ємністю ковша 10 – 33 м³ та автосамоскиди вантажопідйомністю 120 – 220 т (рис.20).

В процесі дослідження висота високого уступу варіювалася, і для всіх типів екскаваторів та бурових верстатів отримана закономірність - зі зменшенням висоти відпрацьованого уступу відбувається зростання експлуатаційних витрат. Причинами цього явища є скорочення часу використання їх на основній роботі та зниженням продуктивності в зв'язку з цим. Крім цього спостерігалось зменшення виходу гірничої маси з 1 пог. м свердловини при зменшенні висоти уступу [24].

Підривання високого уступу відбувається на всю висоту, а виїмка породи з розвалу - в два шари.

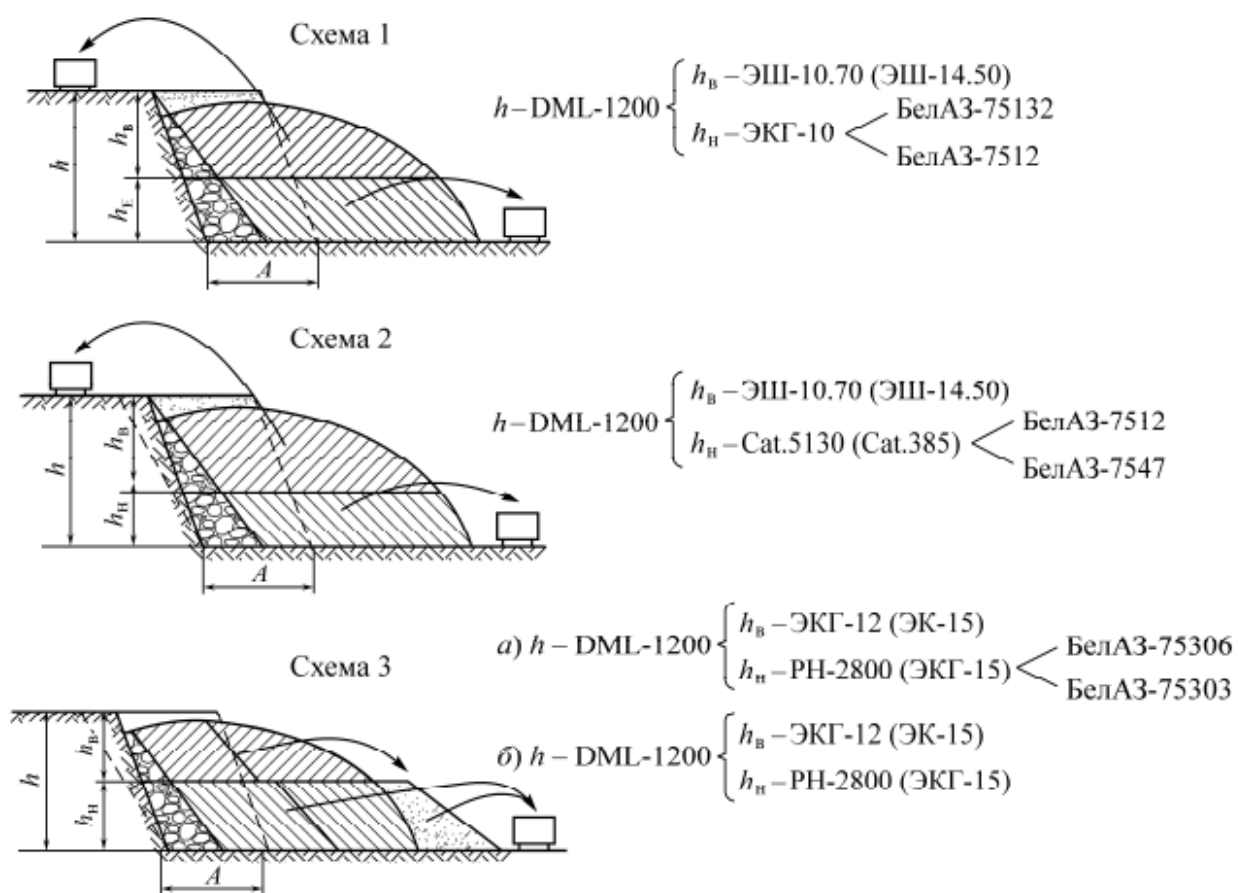


Рис. 20. – Варіанти схем розробки високого уступу у два шари з використанням різних комплексів гірничотранспортного обладнання: h_v та h_n – висота верхнього та нижнього шару відповідно, м; A – висота буро-вибухової заходки, м

В результаті оцінки ефективності аналізованих варіантів розробки високого уступу встановлено, що найбільш доцільним є відпрацювання за варіантом з використанням комплексу виймально-навантажувального

обладнання у складі екскаватора типу драглайн, що встановлюється на верхньому майданчику уступу і здійснює відпрацювання верхнього шару з навантаженням на рівні установки, і прямої механічної лопати, що веде відпрацювання нижнього шару з навантаженням гірничої маси на нижній транспортний горизонт (схема 1 рис. 19). У випадку високої інтенсивності гірничих робіт можливе застосування комплексу обладнання у складі високопродуктивних екскаваторів типу пряма механічна лопата (схема 3). Однак при цьому дещо збільшуються витрати на видобування, а також ця схема більш ефективна на кар'єрах, що відпрацьовують родовища з гористим рельєфом поверхні, коли розкриті горизонти розташовуються вище відвальних ярусів породи (схема 3б).

Відомі дослідно-промислові вибухи уступів висотою 30 метрів на родовищі у Навої, результатом яких стало зниження виходу негабариту та великих фракцій (500-1000 мм) майже в 2 рази.

В практиці застосування високих уступів відомі випадки, коли висота уступу досягає 60 м. Наприклад, на кар'єрі Сілвердейл у США при видобутку вапняку висота уступу становила біля 50 м. Якість подрібнення вапняку на високому рівні. Гарне дроблення гірської породи досягається як за рахунок енергії вибуху, так і за рахунок додаткового дроблення порід при падінні з висоти. Також При розробці діабазу на кар'єрі Нью Джерсі застосовують свердловини 57-59 м діаметром 160 мм при сітці свердловин 5×6,5м. Якість дроблення порід при цьому висока.

У зарубіжній практиці відомі такі напрямки буропідривних робіт при високих уступах: оббурення та підривання уступів на всю висоту (уступи до 60 метрів); роздільне оббурення окремих частин уступів заввишки до 90 метрів та підривання високих уступів камерними зарядами [39].

В даний час метод підривання високих уступів у затиснутому середовищі займає особливе місце серед сучасних методів вибухового дроблення гірських порід, що пояснюється двома основними причинами. Перша причина - даний метод поєднує комплекс високоефективних методів

дроблення порід (багаторядне короткосповільнене підривання, розосереджений свердловинний заряд, підривання в затиснутому середовищі тощо). Такий підхід дає змогу забезпечити за рахунок цього високий ступінь дроблення порід та зниження витрат на буропідривні роботи. Друга причина - поєднання кількох уступів і подальше поступове відпрацювання підірваної гірської маси з розташуванням на ній гірничотранспортного обладнання дозволяє вирішити проблему ефективної роботи техніки безперервної дії при розробці міцних скельних порід.

Аналіз практики відкритої розробки, у тому числі із застосуванням уступів збільшеної висоти свідчить, що основним завданням розробки будь-якого родовища є видобуток максимальної кількості корисних копалин при мінімальних обсягах розкривних робіт [13].

3.УЗАГАЛЬНЕННЯ НАУКОВОЇ ДУМКИ ТА ПРАКТИКИ З ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ

Для того, щоб результати узагальнення наукової думки та практики з питання ефективності та своєчасності застосування геотехнології з високими уступами були більш наочними, спробуємо систематизувати їх (табл.4, 5)

Таблиця 4

Узагальнення наукової думки у досліджуваному питанні

Показник, на який здійснюється вплив	Характер та оцінка впливу	Автор
Собівартість видобутку сировини	При застосуванні 30-45 метрових уступів зменшується на 12-14% в порівнянні з уступами висотою 15 м.	Новожилов М.Г.
Якість вибухової підготовки гірських порід	При застосуванні високоуступної технології скорочується вихід негабариту (1,5%), збільшується дія вибухового імпульсу у 5-6 разів.	Друкований М.Ф. Єфремов Е.І. Новожилов М.Г.
Екологічні показники ведення гірничих робіт	Збільшуються обсяги запасів корисних копалин,	Ісаєв С.Д. Рибалко Л.П

	що додатково можуть бути вилучені, а також подовжується термін експлуатації кар'єру на 18-23% , зменшується висота підняття пилогазової хмари в 1,25-1,5 рази.	Савицький Є.В.
Характеристики виймально-навантажувального обладнання	При застосуванні сучасної роботизованої техніки, кранлайнів, еклайнів можливе збільшення висоти уступів у 1,5 рази, кута укосу робочого борту на 4-6°, скорочення ширини транспортної берми у 1,3 рази.	Ікол О.О. Трубецької К.Н.
Якісні характеристики сировини	При відпрацюванні уступів більше 20 м спостерігається збільшення коефіцієнту втрат та засмічення у 1,8-2,9 рази.	Холодняков Г.А, Абдуллаєв М.Д.
Техніко-економічні показники видобутку	Протяжність транспортних шляхів та комунікацій при застосуванні високоуступної технології зменшується до 15%, що дозволяє зменшити кількість транспортної техніки та час на перегін машин та обладнання. Поточні обсяги розкриву зменшуються на 10–15% та гірничо-капітальні роботи - у 2-4 рази. Собівартість виїмки порід при уступах 30,-45 м на 12-14% нижче порівняно з 15-метровими уступами.	Арсентьев А.І. Ракішев Б.Р. Шамаєв М.К Ташкулов А.А. Штейнцаг М.Р.

Таблиця 5

Порівняльна характеристика традиційної та високоуступної технології

Показник	Традиційна технологія (висота уступу 15-20 м)	Високоуступна технологія (висота уступу більше 20 м)
-----------------	--	---

<i>Підготовка гірських порід до виймання</i>		
Питома витрата ВР	Більша	Менша
Об'єм бурових робіт	Більший	Менший
Вихід негабариту	Менший	Більший
Проробка поверхні уступу	Краща	Гірша
Вихід гірської маси з 1 пог.м. свердловини	Менший	Більший
Продуктивність бурових верстатів (сучасних)	Менша	Більша
Необхідність переозброєння парку обладнання	Немає необхідності	Існує необхідність (частково та залежить від висоти уступів)
<i>Виймально-навантажувальні роботи</i>		
Технічна продуктивність екскаваторів	Менша	Більша
Необхідність переозброєння парку обладнання	Немає необхідності	Існує необхідність (частково)
<i>Транспортування кар'єрних вантажів</i>		
Протяжність транспортних комунікацій	Більша	Менша
Кількість транспортних горизонтів	Більша	Менша
Необхідність переозброєння парку обладнання	Немає необхідності	Існує необхідність (частково)
<i>Техніко-економічні показники</i>		
Кут укосу борту кар'єру	Менший	Більший
Поточний коефіцієнт розкриву	Більший	Менший
Ширина робочої площадки	Менша	Більша
Довжина фронту гірничих робіт	Більша	Менша
Інтенсивність углубки кар'єру	Більша	Менша
<i>Якісні показники гірської маси</i>		
Втрати та засмічення руди	Менші	Більші

<i>Екологічна складова видобутку</i>		
Кут укосу борту кар'єру	Менший	Більший
Запиленність при підготовці гірських порід до виймання	Більша	Менша
<i>Безпека гірничих робіт</i>		
Рівень безпеки гірничих робіт	Більш високий	Нижче у порівнянні з традиційною технологією

Проаналізувавши таблицю 5 можна зробити наступні висновки:

1. При підготовці гірських порід до виймання вибуховим способом спостерігаються менші витрати на цей процес, оскільки об'єм бурових робіт, питома витрата вибухових речовин менші у порівнянні з традиційною технологією. Однак окремі дослідження свідчать про те, що застосування традиційних рішень для високоуступної технології призводить до підвищеного виходу негабариту та поганої проробки уступу, утворення порогів. Навіть впровадження деяких технологічних заходів не завжди дозволяють виправити ситуацію, або ж призводять до здорожчання собівартості буровибухових робіт та часу на реалізацію технологічного процесу. В той же час є дослідження, які свідчать навпаки про покращення вибухової підготовки при застосуванні високо уступної технології, менший вихід негабариту та фракцій понад 400 мм. Для переходу на високоуступну технологію необхідно застосовувати сучасні верстати, які зможуть її реалізувати.
2. Виймально-навантажувальні роботи при високоуступній технології потребують кардинальних змін. Виникає необхідність або застосовувати нове обладнання (кранлайни, еклайни, роботизовано техніку), або ж реалізовувати відпрацювання високих уступів підступами. При цьому технічна продуктивність екскаваторів при високоуступній технології зростає.
3. Транспортування кар'єрних вантажів спрощується, оскільки зменшується кількість горизонтів і, як наслідок, протяжність транспортних

комунікацій. При цьому виникає необхідність застосування великовантажних самоскидів, тобто переозброєння автопарку.

4. Техніко-економічні показники при високоуступній технології змінюються таким чином: збільшується кут укосу борту кар'єру, зменшуються поточний коефіцієнт розкриву, довжина фронту гірничих робіт та інтенсивність відпрацювання кар'єру. Існують дослідження про збільшення терміну існування кар'єру при високоуступній технології, але вони поодинокі і потребують підтвердження.

5. Щодо якісних показників гірської маси, то високоуступна технологія негативним чином позначається на втратах та засміченню гірської маси. Проте ці дослідження також поодинокі та під питанням.

6. З екологічної точки зору високоуступну технологію характеризують з позитивного боку: відбувається зменшення висоти пилогазової хмари, зменшується площа відчужених земель за рахунок збільшення кута укосу бортів кар'єру та більших можливостей застосування виробленого простору кар'єру.

7. Безпекова складова високоуступної технології у менш вигідному становищі, ніж вище розглянуті складові. Чим більша висота уступу, тим менша безпека робіт. Крім того, необхідно зважати на геомеханічні аспекти високоуступної технології.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО НАПРЯМКІВ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Протягом 30-40 років висота уступу, як основний елемент системи розробки, залишається в межах 10-15 м, не зважаючи на збільшення глибини кар'єрів у декілька разів, застосування виймально-навантажувального обладнання більшою ємністю ковша, а обсягів гірської маси, що розробляється в 4-5 разів. В практиці гірничих робіт превалює технологічна аксіома: «висота уступу не має бути більшою за висоту черпання». Проте, як виявилось, багато науковців вважають одним із шляхів суттєвого покращення техніко-економічних показників сучасних кар'єрів вбачають перехід на відпрацювання розкриву високими (до 30-35 м) уступами із застосуванням нового виймально-навантажувального та транспортного обладнання.

Інтерес до високоуступної технології відпрацювання родовищ відкритим способом з використанням сучасного виймально-навантажувального обладнання, здатного забезпечити ефективний розвиток гірничого виробництва, є дуже своєчасним.

Аналіз літературних джерел по темі роботи показав безліч позитивних сторін високоуступної технології: збільшення кута укосу борту кар'єру, зменшення поточного коефіцієнту розкриву, покращення екологічних показників вибухової підготовки тощо.

В той же час, така технологія має ряд негативних або ж спірних моментів: зниження якості сировини, без пекові питання, необхідність оновлення парку гірничого обладнання тощо.

Незважаючи на негативні моменти, вважаємо, що розгляд високоуступної технології з використанням сучасного виймально-навантажувального обладнання, яке має набагато більше можливостей, ніж раніше, яке здатне на високому рівні забезпечити ефективний розвиток

гірничого виробництва, є на часі. Оскільки процеси підготовки, екскавації та транспортування гірничої маси при відпрацюванні родовищ високими уступами мають свої технологічні особливості, то їх необхідно детально та глибоко вивчати. Тенденція до розширення сфери застосування високих уступів зберігатиметься у зв'язку з необхідністю зниження метало- та енергоємності розробки.

Цікаво, що в ході вивчення та аналізу літературних джерел було знайдено дослідження ефективності високо уступної технології на кар'єрах Кривбасу. Наявний досвід підривання уступів міцних і найміцніших порід на кар'єрах Криворізького басейну, по-перше, вкрай недостатній, а по-друге, суперечивши за своїми показниками, що говорить про необхідність подальших досліджень у цій галузі.

Аналіз наукових джерел з теми дослідження магістерської роботи дозволяє нам зробити **наступні висновки**:

1. **Ефективність** високоуступної геотехнології суперечлива. На основі проведеного нами аналізу не можливо сформулювати чіткий висновок про ефективність чи неефективність даної технології. Бачимо багато позитивних моментів технології, але й недоліки суттєві.

2. **Особливості** застосування технології відпрацювання кар'єрів з високими уступами полягають у застосуванні нових схем відпрацювання уступів, залучення нової високопродуктивної техніки, підвищеної уваги до питань безпеки ведення гірничих робіт та геомеханіки відкритих гірничих робіт.

3. На даний момент в Україні така технологія **не знайшла поширення** на відкритих розробках. Дослідження ефективності високоуступної технології на кар'єрах Кривбасу проводилось ще у 60-ті роки ХХ століття, але з певних причин було призупинено. У сучасній науковій літературі є багато підтверджень ефективності та перспектив її застосування за кордоном.

4. **Перспективи** високоуступної технології полягають у застосуванні новітньої виймально-навантажувальної техніки, в тому числі роботизованої.

Виходячи з проведеного аналізу стану питання високоуступної технології, можемо окреслити наступні пріоритетні **напрямки подальших досліджень**:

1. Необхідно **адаптувати** процеси підготовки, екскавації та транспортування гірничої маси до високоуступної технології, оскільки вона має свої технологічні особливості, які потребують ретельного вивчення.
2. **Накопичувати досвід** застосування високих уступів при відпрацюванні родовищ відкритим способом в різних гірничо-геологічних умовах та здійснювати порівняльний аналіз із традиційною технологією.
3. Особливу увагу слід звернути на **геомеханічну складову** даної технології. Укріплення укосів високих уступів – складна практична задача, від якісного вирішення якої залежить безпека ведення гірничих робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. НПАОП 0.00-1.24-10. Правила охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом / Затв. Держкомітетом України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 18.03.2010 № 61. К., 2010. - 50 с.
2. СОУ-Н МПП 73.020-078-1:2007. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Ч. 1. – К. : Міністерство промислової політики України, 2007. – 288 с.
3. Блізнюков В.Г., Луценко С.О., Пижик А.М. Гірнична справа: Навчальний посібник. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О. 2014, 412 с. ISBN 978-617-7250-14-1.
4. Дриженко А.Ю. Відкриті гірничі роботи: підручник / А.Ю. Дриженко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т – Д.: НГУ, 2014. – 590 с.
5. Полтаращенко Д.С. Определение параметров буровзрывных работ, обеспечивающих качественное разрушение уступов увеличенной высоты. / Весник КДПУ им. М. Остроградского. – Выпуск 2. –2008 (49). С. 106-108
6. Друкованый М.Ф., Ефремов Э.И., Новожилов М.Г., Терещенко А.А. Взрывание высоких уступов // – М.: Недра. – 1964. - 108 с.
7. Гуменик И. Л., Шпортко В. П., Пономорев А. В. Изыскание эффективной технологии отработки высоких уступов на карьерах Докучаевского флюсодоломитного комбината // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2003. – №1.
8. Ісаєв С. Д., Пашков А. П. Засіб зниження ймовірності небезпечного навантаження на довкілля та людину від великомасштабних масових вибухів на кар'єрах України // Наукові записки. Том 93. Біологія та екологія. – 2009. – С.85-88.

9. Гірничий енциклопедичний словник: В 3т. – Донецьк.: Східний видавничий дім, 2001.
- 10.Рибалко Л.П. Економічні та екологічні аспекти комплексного використання залізорудних родовищ // Науковий вісник Ужгородського університету. – 2011. – №33. – С.237-240.
- 11.Устойчивость бортов карьеров в сложноструктурном массиве мягких пород: моногр. / А.С. Ковров. – Д.: Национальный горный университет, 2013. – 131 с.
- 12.Open pit mine planning & design volume 1 – Fundamentals /William Hustrulid, Mark Kuchta, R. Martin. – 995 p.
- 13.Эффективность отработки вскрыши высокими уступами на месторождениях полезных ископаемых при открытой разработке / М.К.Шамаев, А.А.Ташкулов // Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. - 2021. - Вып. 1/5. - С. 94-102.
- 14.Ржевский В.В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ // М.: Недра. – 1980. - 624 с.
- 15.Холодняков Г.А. Основные горнотехнические факторы, определяющие рациональную высоту уступа в карьере / Г.А.Холодняков, М.Д.Абдуллаев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014.– С. 147-149.
- 16.Технологические аспекты перехода разрезов на ведение вскрышных работ высокими уступами / В.А.Ковалёв, В.С.Федотенко // Проблемы надропользования. - 2015. - Вып. 5. - С. 5-14.
- 17.Фомин С.И. Анализ параметров систем открытой разработки угольных месторождений Вьетнама / С.И. Фомин, До Нгок Хоан // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017.– №11 - С. 138-143.
- 18.Ракишев Б.Р. Влияние высоты и числа уступов на параметры рабочей зоны карьера Б.Р.Ракишев, Г.К.Саменов, А.Е.Куттыбаев, Ж.Н.Хамметова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007.– С. 147-149.

19. Штейнцайг М.Р. Обоснование высоты уступа при углубочно-сплошных системах разработки свит угольных пластов: Автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.21. — 2010. — 23 с.
20. Новожилов М.Г., Друкованный М.Ф., Тартаковский Б.Н., Ефремов Э.И., Гаврилюк И.И. К вопросу о целесообразности применения высоких уступов на флюсовых карьерах // Труды УкрНИИПроекта. — Киев. — 1963.
21. Новожилов М.Г., Куценко В.И., Дриженко А.Ю. Оптимизация параметров высоких уступов при разработке глубоких горизонтов карьеров // Горный журнал. — №2. — 1983. — С.14-18.
22. Kovalev V.A., Fedotenko V.S. Technological aspects of transition to high bench stripping in Kuzbass // Journal of Mining Science. — 2015. — Т. 51. — № 5. С. 865-872.
23. Друкованный М.Ф., Ефремов Э.И., Терещенко А.А. и др. Дробление горных пород при взрывании спаренных уступов на Центральном и Ингулецком ГОКах в Криворожском бассейне // Сб. «Взрывное дело». — №53/10. — 1963.
24. Трубецкой К.Н., Сидоренко И.А., Сеинов Н.П., Самородов Ю.П. Технология отработки вскрыши высокими уступами с применением экскаваторов-кранлайнов // Горный журнал. — 2000. — № 3. — С. 31—34.
25. Опанасенко П.И. Обоснование технологических схем высокоуступной технологии вскрышных работ с применением выемочно-погрузочных драглайнов при транспортной системе разработки// П.И. Опанасенко/ Автореферат дисс. на соиск степени к.т.н. — М., 2010. — 19 с.
26. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Ч.2/В.В. Ржевский. — М.: Недра, 1985.-550 с.
27. Арсентьев А.И. Вскрытие и система разработки карьерных полей/ А.И. Арсентьев. — М.: Недра, 1981.-280 с.
28. Юматов Б.П. Использование нового метода определения экономической эффективности капитальных вложений для обоснования границ карьеров и

- их производительности// Б.П. Юматов/ Труды межвуз. научн. конфер. – М., 1962.
- 29.Обоснование периода перехода к разработке вскрышных пород высокими уступами при транспортной технологии/ Макшеев В.П., Ненашев А.С., Федотенко В.С. // Вестник ГТУ, 2012 - № 3. С. 55-58.
- 30.Перспективи розвитку гірничої справи та підземного будівництва. Зб. наук. праць. Вип. 7. – Київ: Підприємство УВОІ «Допомога» УСІ», 2016. – 200 с.
- 31.Управление разрушением горных пород взрывом на карьерах. Моногр. — К.: Основа, 2015. — 262 с.
- 32.Кривцов М. В. Боротьба з пилом і шкідливими газами під час підготовки та проведенні масових вибухів у кар'єрах / М. В. Кривцов, А. П. Пашков, Н. С. Мирошниченко // Проблеми охорони праці в Україні. Зб. наук. праць. – К.: ННДІОП, 2002. – Вип. 6. – С. 28–34.
- 33.Способи і засоби підвищення екологічної безпеки масових вибухів в залізорудних кар'єрах за пиловим чинником / В.Е. Колесник, А.А. Юрченко, А.А. Литвиненко, А.В. Павличенко – Дніпропетровськ: Літограф, 2014. – 112 с.
- 34.Малашкина В.А. Способы снижения пылевыведения при буровзрывных работах на карьерах в зимних климатических условиях Центрального Казахстана/ В.А. Малашкина, Е.А. Кравцова //Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2017. - № 5. С. 318–322.
- 35.Исмаилов Б. Эколого-экономическое моделирование параметров ведения горных и взрывных работ с учетом их воздействия на компоненты окружающей среды / Б.Исмаилов //Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2012. -. С. 33-45.
- 36.Друкованный М.Ф. Взрывание спаренных уступов на ГОКах Кривбасса / М.Ф. Друкованный, М.Г. Новожилов, Э.И. Ефремов и др // Металлургическая и горнодобывающая промышленность. – 1963. - №2. – С.10-33.

37. Исследование эффективности взрывания высоких уступов на карьерах НКГОКа / В.Д. Петренко, В.Ф. Джос, В.Д. Сиротенко, А.И. Капитоненко, Б.И. Дубсон // Акад. наук УССР, ин-т геотехнической механики. – Днепропетровск, 1987. – 18 с.
38. Ікол О.О. Обґрунтування технологічних схем з устаткуванням нового технічного рівня для доробки глибоких кар'єрів / О.О.Ікол //Геотехнічна механіка. - 2017. - №132. – С.113-120.
39. Rosskamp, M. Steinruchverhältnisse in den USA. / M. Rosskamp, W. Oerter // Naturstein ind. - 1973. - No1-2. - Pp.29-34.
40. Buki, P. Tightening the best on production cost / P. Buki, B. Nischk // II Pit and Quarry. – 1986.–No 3. – Pp. 38–44.
41. Domozhrov D.V., Pytalev I.A., Nosov I.I., Nosov V.I., Gaponova I.V. Substantiation of choice of method of manufacturing and delivery of emulsion explosives in modern conditions of functioning of mining enterprises. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2019; 272(2)
42. Просандеев Н.И. Проблемы повышения углов откосов бортов глибоких карьеров / Н.И. Просандеев // Екологія і природокористування, 2012, вип.15 - С.107-117.
43. Анисимов О.А. Обоснование параметров противообвальных улавливающих валов для предотвращения процессов обрушения откосов уступов в карьерах / О.А. Анисимов //Збірник наукових праць Національного гірничого університету. - №34. – 21010. – 53-59.
44. Арсентьев А. И., Полищук А. К. Развитие методов определения границ карьеров. — Л.: Наука, 1967.
45. Новожилов, М.Г. Взрывание в «зажатой» среде на карьерах // М.Г. Новожилов, М.Ф. Друкованный, В.И. Ильин – Киев: Наук. думка, 1966. – 122с.
46. Алексеев, Ф.К. Опыт работы ИнГОКа по взрыванию в зажатой среде высоких уступов / Ф.К. Алексеев // Сб. «Взрывное дело». – М.: Недра, 1967. – № 62/19. – С. 244-248.

47. Савицкий Е.В. Обоснование технологических параметров разработки глубоких железорудных карьеров высокими уступами // Автореферат канд. дисс. – М. – 1996. - 20 с.
48. Взаимосвязь показателей вскрышных работ с высотой отрабатываемых уступов при применении новых выемочно-погрузочных машин / Н.П. Сеинов, Ю.П. Самородов // Доклад на симпозиуме «Неделя горняка» 25.01.1999.
49. Холодняков Г.А. Зависимость потерь и засорения руды от высоты уступа / Г.А. Холодняков, М.Д. Абдуллаев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015.– С. 14-19.