

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

На правах рукопису

ЖУКОВА НАТАЛІЯ ІВАНІВНА

УДК 622.235.5

ОБГРУНТУВАННЯ СЕЙСМОБЕЗПЕЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БУРОПІДРИВНИХ
РОБІТ НА КАР'ЄРАХ В УМОВАХ ЗАКАРСТОВАНИХ ПОРОДНИХ
МАСИВІВ

05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин

Дисертація
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
Бойко Віктор Вікторович,
доктор технічних наук, професор

Київ – 2017

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДОСЯГНЕНЬ НАУКИ І ПРАКТИКИ ЩОДО РУЙНІВНОЇ ТА СЕЙСМІЧНОЇ ДІЙ ПРОМИСЛОВИХ ВИБУХІВ У ЗАКАРСТОВАНИХ ПОРОДНИХ МАСИВАХ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	12
1.1 Стан досліджень з установлення сейсмобезпечних параметрів буропідричних робіт в різних умовах розробки родовищ корисних копалин.....	12
1.2 Аналіз існуючих методів визначення сейсмобезпечних параметрів вибухових робіт і способів відбивки породних масивів із застосуванням свердловинних зарядів вибухової речовини у кар'єрах.....	25
1.3 Оцінка сучасного стану щодо методів керування руйнівною та сейсмічною діями масових вибухів у кар'єрах і постановка задач досліджень.....	30
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР КОЛОНОК СВЕРДЛОВИН ЗА ЕНЕРГОЄМНІСТЮ ПРОЦЕСУ ЇХ БУРІННЯ У ЗАКАРСТОВАНИХ ПОРОДНИХ МАСИВАХ.....	33
2.1 Оцінка ступеня закарстованості гіпсових породних масивів на видобувних уступах кар'єру.....	33
2.2 Обґрунтування математичної моделі процесу руйнування гірської породи при бурінні свердловин для визначення геологічних структур їх колонок	37
2.3 Аналітична оцінка параметрів міцності гірських порід на основі кінетичної теорії руйнування.....	46
2.4 Оцінка витрат енергоспоживання бурового інструменту при бурінні свердловин для визначення геологічних структур їх колонок щодо розробки конструкцій подовжених зарядів вибухової речовини на	

	3
закарстованому породному блоці.....	49
Висновки до розділу 2.....	61
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА СПОСОБУ ВІДБИВКИ ЗАКАРСТОВАНИХ ПОРОДНИХ МАСИВІВ І ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ У КАР'ЄРАХ.....	63
3.1 Концепція зустрічного формування детонаційних хвиль ініціюванням свердловинного заряду вибухової речовини, розділеного карстовою порожниною.....	63
3.2 Обґрунтування і розрахунок інтервалів уповільнення між подовженими зарядами вибухової речовини, розділеними карстовою порожниною, для створення умов змикання її стелини та підшови.....	65
3.3 Розробка способу вибухового руйнування закарстованих породних масивів свердловинними зарядами вибухової речовини, розділених карстовою порожниною та приклад його використання.....	72
3.4 Аналітичне обґрунтування і розрахунки параметрів сітки і маси свердловинних зарядів вибухової речовини, розділених карстовою порожниною, при проведенні вибухових робіт у гіпсових кар'єрах	81
Висновки до розділу 3.....	87
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕЙСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ МАСОВИХ ВИБУХІВ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ЕМПІРИЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ У РІЗНИХ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ ГІПСОВИХ КАР'ЄРІВ.....	89
4.1 Методика вимірювання параметрів сейсмовибухових хвиль при проведенні сейсмічного моніторингу масових вибухів у кар'єрах.....	90
4.2 Експериментальні дослідження з визначення емпіричних залежностей швидкості сейсмічних коливань від приведеної до заряду відстані в гірничо-геологічних умов гіпсових кар'єрів ВАТ «Миколаївцемент», ВАТ «Івано-Франківськцемент» та ПП «Скала-Інтер»..	95
Висновки до розділу 4.....	111

РОЗДІЛ 5 АНАЛІТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДІЇ СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА КАРСТОВУ ПОРОЖНИНУ ВІД ТИСКУ ПОВЕРХНЕВИХ БУДІВЕЛЬ ТА СЕЙСМІЧНИХ ВПЛИВІВ ПІД ЧАС ВИБУХІВ У ГІПСОВИХ КАР'ЄРАХ. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	113
5.1 Загальні відомості.....	113
5.2 Дослідження дії статичних навантажень від тиску власної ваги поверхневої будівлі на деформування карстової порожнини з урахуванням місця розташування її по відношенню до нижньої границі статичного тиску.....	114
5.3 Розробка методу визначення спільної дії статичних і динамічних навантажень на карстові порожнини від тиску маси поверхневих будівель і дії сейсмовибухових хвиль, що виникають під час підривних робіт у гіпсових кар'єрах.....	121
5.4 Розроблення рекомендацій щодо сейсмобезпечних параметрів буропідривних робіт в умовах гіпсових кар'єрів з використанням емпіричних залежностей та у відповідності з ДСТУ 4704:2008.....	124
5.5 Методика розрахунку техніко-економічного ефекту від впровадження розроблених рекомендацій при виконанні буровибухових робіт на гіпсових кар'єрах	137
Висновки до розділу 5.....	
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	140
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	145
ДОДАТОК А.....	163
ДОДАТОК Б.....	171
ДОДАТОК В.....	172
ДОДАТОК Д.....	177

ВСТУП

Актуальність теми. Одним з основних напрямків у галузі підричних робіт на кар'єрах в умовах закарстованих масивів порід є дотримання безпеки й ефективності вибухових робіт. З огляду на сучасну тенденцію до освоєння та розробки нових гіпсових родовищ вимоги до ефективності й безпеки підричних робіт значно підвищуються. Аналогічні вимоги ставляться й до проектної документації (паспортів масових вибухів), що забезпечать можливість вибірково реалізувати потенційну енергію заряду вибухової речовини (ВР) в місцях наявності корінної породи і не допускати заряджання в зонах їх перетину з порожнинами. На практиці, у зв'язку з відсутністю детальних геологічних даних щодо структур колонок свердловин, які на підривному блоці підлягають заряджанню ВР, конструкцію свердловинного заряду формують без урахування зон перетину корінних порід з карстовими порожнинами, що призводить до непрогнозованих і небезпечних проявів вибуху. Щодо сейсмобезпеки, то позитивне вирішення цього завдання значно ускладнюється умовами поширення сейсмовибухових хвиль в закарстованих породних масивах за межами кар'єру, особливо для будівель, які розташовані над порожниною. На стійкість останньої впливає як додаткове статичне навантаження від їх маси, так і від місця розташування лінії нижньої границі статичного тиску (НГСТ), що знаходиться між порожниною і фундаментом будівлі, а також сейсмічної дії вибухових хвиль. Все вищенаведене пов'язано з неякісним виходом гірської маси (викиди негабаритних блоків) та сейсмонезбезпечною дією вибуху на навколишні наземні й підземні об'єкти, що охороняються.

Тому обґрунтування сейсмонезбезпечних параметрів буропідричних робіт на кар'єрах в умовах гірського масиву з карстовими порожнинами та розроблення і впровадження науково обґрунтованих способів відбивки цих порід з конструкціями подовжених зарядів ВР, які б відповідали геологічній

структурі колонок свердловин, і забезпечували б якісне подрібнення масиву з одночасним збереженням сейсмостійкості прилеглих до кар'єру наземних будівель та карстових порожнин під ними, є **актуальним науково-практичним завданням.**

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась відповідно до «Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року», а також плану наукових досліджень кафедри інженерної екології КПІ ім. Ігоря Сікорського і є складовою частиною НДР за темами: «Наукове обґрунтування енергозберігаючих геотехнологічних систем на основі принципу дуальності маси в просторі та загальної теорії деформації і руйнування гірських порід» (№ ДР 0102U002381); «Аналіз і синтез трансляційно-ротаційних електромагнітних та деформаційних полів при низькоенергоємному руйнуванні гірських порід» (№ ДР 0105U001288); «Забезпечення збалансованого природокористування, зниження енергоємності виробництва та підвищення рівня екологічної безпеки підприємств на базі аналізу та синтезу оптимальних геотехнологічних процесів» (№ ДР 0111U010300), в яких автор була виконавцем робіт.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є обґрунтування сейсмобезпечних параметрів буропідливних робіт для сейсмостійкості навколишніх наземних будівель і карстових порожнин під ними та підвищення ефективності відбивки закарстованих масивів порід при розробці гіпсових родовищ відкритим способом на основі нових конструкцій подовжених зарядів вибухової речовини, розділених повітряними проміжками в карстових частинах свердловин.

Для досягнення мети поставлені наступні **завдання:**

– провести аналіз ступеня закарстованості гірського масиву на видобувних уступах гіпсових кар'єрів та розробити математичну модель для визначення енергоємності процесу буріння свердловин з метою побудови геологічних структур їх колонок;

– розробити спосіб відбивки закарстованих породних масивів подовженими зарядами вибухових речовин, розділених повітряними проміжками в карстовій частині свердловини і методу визначення внутрішньосвердловинних інтервалів уповільнення між подовженими зарядами ВР для створення умов змикання стінок карстової порожнини, а також методу визначення параметрів буропідричних робіт розробленого способу на гіпсових кар'єрах;

– визначити емпіричні залежності швидкості сейсмічних коливань від приведеної до заряду відстані для гірничо-геологічних умов ведення вибухових робіт на гіпсових кар'єрах за результатами їх сейсмічного моніторингу вздовж профілей з наземними будівлями і карстовими порожнинами під ними;

– удосконалити аналітичний метод урахування статичних впливів на стійкість стелини порожнини від маси розміщеної над нею наземної будівлі, з урахуванням НГСТ та сейсмічних впливів від проведення масових вибухів на гіпсових кар'єрах.

Об'єкт дослідження – сейсмічні та технологічні процеси уступної відбивки закарстованих породних масивів на гіпсових кар'єрах.

Предмет дослідження – сейсмобезпечні параметри буропідричних робіт в умовах закарстованих породних масивів, що визначають якість їх відбивки на кар'єрах та сейсмостійкість навколишніх наземних будівель і карстових порожнин під ними.

Методи дослідження. Вирішення поставлених у роботі завдань здійснено шляхом аналізу й узагальнення досягнень теорії і практики підричних робіт, сучасних положень про критерії ефективності різних конструкцій свердловинних зарядів, аналітичних і експериментальних досліджень фізичних процесів при взаємодії бурового інструмента з шарами гірських порід для визначення витрат потужності, яка споживається обертачем бурового станка, в залежності від шаруватого середовища по колонці свердловини, з використанням теорії подібності й розмірностей, а також застосування методів

математичної статистики для обробки аналітичних та експериментальних даних і техніко-економічного аналізу отриманих результатів.

Мету дослідження автором досягнуто шляхом використання комплексного підходу, включаючи аналіз та оцінювання досвіду і наукових досягнень у галузі геотехнологій, теорії і практики вибухового руйнування твердих середовищ, математичної статистики, а також методів дослідження хвильових процесів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що уперше:

- створено математичну модель процесу буріння гірської породи та встановлено залежності витрат потужності, яка споживається обертачем бурового станка, від структурно-геологічних умов і міцності всіх типів гірських порід, через які проходить буровий інструмент, і за якою виготовляється паспорт свердловини, з подальшим формуванням конструкції свердловинного заряду;

- визначено послідовність короткоуповільненого підривання нижньої та верхньої частин розосередженого свердловинного заряду, розділеного карстовою порожниною, що забезпечує одночасний прихід детонаційних хвиль до стелини та підосви карстової порожнини, створюючи умови її змикання;

- встановлено закономірності зміни сейсмобезпечної маси заряду ВР в групі в залежності від відстані від місця вибуху до будівель, розташованих як над карстовими порожнинами, так і без них, при цьому в умовах, якщо карстова порожнина знаходиться вище лінії НГСТ, при однакових відстанях 1200 і 1400 м від місця вибуху до будівлі над карстовою порожниною допустима маса заряду ВР в групі зменшується з 1630 до 1520 кг і з 2580 до 2400 кг відповідно, по відношенню до будівель, розташованих без карстових порожнин.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- для складання паспорта свердловинних зарядів запропоновано спосіб побудови геологічної структури колонки кожної свердловини, пробуреної на блоці, що містить карстові порожнини, за моніторингом потужності, витраченої обертачем у процесі її буріння;

– запропоновано конструкцію свердловинних зарядів ВР, в т.ч. частин подовжених зарядів, розділених карстовою порожниною, маси нижнього й верхнього зарядів та інтервалів уповільнення їх детонаторів і метод розрахунку параметрів сітки свердловинних зарядів;

– розроблено спосіб прогнозування сейсмобезпеки наземних споруд та стійкості карстових порожнин з урахуванням сейсмічних навантажень від дії поверхневих (Релеївських) та об’ємних хвиль, спричинених кар’єрними вибухами, як за допустимою швидкістю коливань ґрунтової основи поверхневої будівлі, так і статичних сил за вертикальним гірським тиском від власної її ваги;

– розроблено спосіб вибухового руйнування закарстованих масивів порід з конструкціями подовжених зарядів ВР, розділених повітряним проміжком в частині свердловини з карстовою порожниною (патент України на корисну модель №93235), який відповідає геологічній структурі колонки кожної свердловини.

Результати дисертаційних досліджень апробовано при проектуванні сейсмобезпечних масових вибухів у гіпсових кар’єрах ВАТ «Івано-Франківськцемент», ПП «Скала-Інтер» та Щирецький кар’єр ВАТ «Миколаївцемент» (Додаток А). Від впровадження результатів дисертаційної роботи очікуваний річний економічний ефект по 3-х кар’єрах складає 1165560,6 грн.

Особистий внесок здобувача у роботах, опублікованих у співавторстві: [105] – аналіз експериментальних даних для визначення потужності, яка споживається обертачем бурового станка; [104] – виконання розрахунків кількості моль в кілограмі гіпсу; [127] – дослідження закономірностей розподілу зруйнованого масиву за розмірами окремих часток; [130] – вибір та аналіз критерію оцінки спільної дії статичних і динамічних навантажень на порожнину; [100] – обґрунтування основних положень та розроблення аналітичних залежностей моделі процесу буріння свердловин; [120] – опис закономірностей впливу динамічних навантажень від сейсмовибухових хвиль

на закарстований масив гірських порід; [134] – складання алгоритму визначення параметрів взаємодії сейсмовибухових хвиль з порожниною; [135] – аналіз математичних моделей поширення сейсмічних хвиль у гірському масиві; [121] – встановлення аналітичних залежностей щодо зміни швидкості сейсмовибухових хвиль; [129] – аналіз взаємодії сейсмічної хвилі з порожнинами та підземними виробками різних параметрів; [132] – розроблення методики розрахунку двошарової ґрунтової основи поверхневих охоронних об’єктів, що знаходяться під дією сейсмовибухових хвиль; [133] – обґрунтовано сейсмобезпечну масу вибухової речовини при вибухах у скельних породах, покритих м’якими ґрунтами; [128] – розрахунок сейсмобезпечної маси заряду ВР з урахуванням показника сезонності проведення робіт; [126] – оцінка взаємодії різних типів хвиль в умовах поширення їх у закарстованих породах, для визначення домінуючої щодо сейсмостійкості прилеглих до кар’єру наземних споруд та карстових порожнин під ними, встановлені гранично-допустимі значення та розроблено метод розрахунку їх параметрів з урахуванням статичних і динамічних дій; [138] – експериментальне дослідження впливу сейсмічних хвиль на охоронні об’єкти та визначення сейсмобезпечних параметрів вибухових робіт для умов Кошіївського кар’єру; [119] – створено формулу на патент «спосіб вибухового руйнування складноструктурних масивів гірських порід»; [140] – запропоновано короткоуповільнені схеми комутації зарядів ВР в тріщинуватих гірських породах; [131] – оцінка сумісного впливу сейсмічної дії та тисків власної ваги поверхневої будівлі на деформування ґрунтового масиву над карстовою порожниною, розташованою вище та нижче лінії НГСТ; [141] – встановлено аналітичний вираз для визначення коефіцієнта перекривання зон дроблення в залежності від їх геометрії.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення та практичні рекомендації доповідались та обговорювались на міжнародних та національних науково-практичних конференціях: V Міжнародній науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина» (Київ, 2013); VI

Міжнародній науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина», конференція молодих учених, аспірантів і магістрантів, секція «Перспективи розвитку гірничої справи і підземного будівництва» (Київ, 2014); Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів» (Житомир, 2014); Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів» (Житомир, 2015); VII Міжнародній науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина», конференція молодих учених, аспірантів і магістрантів, секція «Перспективи розвитку гірничої справи і підземного будівництва» (Київ, 2015); VII Міжнародній науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина», секція 6 «Ресурсозбереження і екологічна безпека технологічних процесів промислового і цивільного будівництва» (Київ, 2015); Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів» (Житомир, 2015); VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина», секція 6 «Ресурсозбереження і екологічна безпека технологічних процесів промислового і цивільного будівництва» (Київ, 2016).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані в 24 друкованих працях, в тому числі 17 статей у фахових виданнях України, з них: 1 стаття включена до міжнародних наукометричних баз; отримано патентів – 2; тез доповідей за матеріалами конференцій – 5.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації 144 сторінки. Робота містить 28 рисунків, 18 таблиць, 4 додатки. Список використаних літературних джерел включає 142 найменування (на 18 сторінках).

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДОСЯГНЕНЬ НАУКИ І ПРАКТИКИ ЩОДО РУЙНІВНОЇ ТА СЕЙСМІЧНОЇ ДІЙ ПРОМИСЛОВИХ ВИБУХІВ У ЗАКАРСТОВАНИХ ПОРОДНИХ МАСИВАХ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Стан досліджень з установлення сейсмобезпечних параметрів буропідричних робіт в різних умовах розробки родовищ корисних копалин

Розвиток науково-технічного прогресу в галузі гірничої сейсміки нерозривно пов'язаний з розробленням і впровадженням нових технологій вибухових робіт на гірничовидобувних підприємствах, що базуються на сучасних науково-обґрунтованих методах керування енергією вибуху. Вирішення цієї проблеми повинно одночасно гарантувати досягнення потрібної якості гірської маси, максимальної продуктивності гірничого обладнання, зниження вартості продукції, ресурсозбереження, підвищення технологічної та екологічної безпеки і в цілому – техніко-економічних показників роботи підприємства. Це окремий напрям у загальному комплексі гірничих технологій розробки родовищ корисних копалин є складовою частиною важливої науково-прикладної державної проблеми, обов'язкове виконання якої визначає «Гірничий закон України» (затверджений Президентом України 6.10.1999 р., № 1127-XIV) [1]. На актуальність основних аспектів розвитку досліджень у галузі промислової безпеки та розробки нових засобів і технологій вибухового руйнування скельних порід також звернено увагу в роботах [2–10].

При розробці родовищ корисних копалин відкритим способом, особливо в густонаселених районах, промислові вибухи можуть спричиняти на довкілля, різного призначення об'єкти, що охороняються та людей певні небезпечні впливи [11, 12]. Промисловий вибух є нормальним технологічним процесом, однак один з його проявів – струс гірського масиву може розглядатись як

надзвичайна ситуація, що порушує нормальні умови життя і діяльності людей, спричиняє збитки майну населення, народному господарству та навколишньому природному середовищу [13, 14].

Сейсмобезпеці вибухових робіт в гірських породах присвячено значну кількість робіт [15–21 та ін.]. У роботі [22] викладені дослідження впливу природних і технологічних факторів на сейсмоефект вибухових робіт, що здійснюються за допомогою короткоуповільненого підривання (КУП), наведені теоретичні основи сейсмічної дії вибуху та результати експериментальних досліджень, методи прогнозування та шляхи зниження шкідливого впливу масових вибухів на об'єкти різного призначення.

Початок досліджень про вибух як джерело сейсмічних коливань було вперше закладено відомим сейсмологом, акад. Б.Б.Голіциним, а в подальшому було продовжено стосовно сейсміки промислових вибухів акад. М.А.Садовським [23]. Значний вклад у дослідження щодо розробки фундаментальних положень про виникнення та поширення сейсмічних хвиль від впливу вибухів на середовище, що руйнується, внесли Г.А. Гамбурцев, С.В. Медведєв, Б.Г. Рулев, В.М. Мосинець, П.С. Міронов та ін. [18].

Останнім часом дослідження в галузі гірничої сейсміки інтенсивно розвивалися у зв'язку з необхідністю забезпечення сейсмобезпеки вибухових робіт при постійному збільшенні їх масштабів. Крім цього, вибухові роботи часто проводяться поблизу об'єктів промислового та цивільного призначення (житлові будинки в селищах, промплощадки заводів і фабрик, газопроводи тощо), що зумовлює проведення досліджень і розроблення рекомендацій щодо збереження їх стійкості.

У розвиток сейсмобезпечних засобів і методів проведення вибухових робіт в умовах розробки родовищ відкритим способом вагомий вклад внесли вчені різних наукових шкіл: Київської (ВГВ ІГФ НАНУ, яку очолює проф. О.О. Вовк (Ю.Л. Благодаренко, В.В. Бойко, В.Д. Воробйов, В.Г. Кравець, А.О. Кузьменко, М.У. Турута, Н.С. Ремез та ін.) [5], Дніпропетровської (ДГІ, ІГТМ НАНУ), яку очолює проф. Ф.І. Кучерявий (М.Ф. Друкований, Е.І. Єфремов,

І.Л. Кратковський, Ю.Ф. Кучерявий, Г.В. Мельник, Є.А. Прищепа, В.Ю. Швець та ін.), Криворізької (КГРІ – Г.А. Воротеляк, Л.П. Грибанова, В.В. Кудинов, Ю.С. Мец та ін.), а також видатні вчені В.А. Падуков, Ю.П. Паршаков, В.Г. Агеев, В.Ф. Богацький, Б.Н. Кутузов, В.М. Мосинець та ін. До вирішення ними основних задач слід віднести розробки теорії та інженерних методів управління сейсмічною дією масових вибухів на відкритих гірничих роботах, обґрунтування закономірностей поширення сейсмовибухових хвиль у різноманітних умовах гірничого виробництва.

У сучасних соціально-економічних умовах дослідження з гірничої сейсміки продовжують розвиватися. Прикладом цього є робота [10], у якій наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень з вивчення впливу різноманітних природних і технологічних факторів на поширення сейсмічних коливань від впливу вибухових навантажень на гірський масив і споруди, що охороняються. При цьому дослідження виконані із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій.

В результаті проведення масових вибухів і їх аналізу на кар'єрах України виникли теоретичні та практичні задачі, що обумовлює необхідність подальших досліджень. До числа цих задач відносяться дослідження впливу різноманітних порожнин в гірському масиві (карсти, відпрацьовані підземні гірничі виробки) на їх стійкість і споруди, розташовані на земній поверхні, в процесі проведення вибухових робіт. При втомі стану таких порожнин можуть спостерігатися руйнування поверхневого шару порід з утворенням мульди просідання [24]. У ряді випадків утворюються провали поверхневих споруд, розташованих над порожнинами [25, 26].

Початок досліджень сейсмічної дії масових вибухів при розробці закарстованих родовищ гіпсу викладено в роботі [26], в якій із застосуванням променевого методу визначено сумісний вплив статичного та динамічного навантаження на стійкість порожнини (карсту). Для цих умов обґрунтовані рекомендації щодо сейсмобезпечних параметрів масових вибухів у залежності від сезонності року їх виконання.

Наявність гіпсокарбонатних карстів у гірському масиві порід небезпечною появою провалів, які являють собою швидку деформацію ділянок земної поверхні (основ споруд) в результаті обвалення порід у карстові порожнини, що залягають під ними. В зв'язку з цим виконання вибухових робіт в таких гірничо-геологічних умовах залягання порід є складною задачею. Тому необхідно проведення досліджень щодо встановлення параметрів карстів і місць їх розташування (районування кар'єрного поля), що потребує подальшого обґрунтування параметрів вибухових робіт, безпечних за сейсмічною дією на об'єкти, що охороняються.

Важливим науково-практичним напрямком в цьому випадку слід вважати використання показника енергоємності буріння свердловин в закарстованих породах для подальшого формування джерела збудження сейсмічних коливань в гірському масиві порід. Розробка варіантів конструкцій такого джерела (особливо при перетині ним карстової порожнини) у взаємозв'язку з типами вибухової речовини (ВР) і способами ініціювання та з урахуванням удосконалення решти параметрів вибуху повинні забезпечувати гарантоване зниження сейсмоефекту вибуху в конкретних умовах відкритої розробки закарстованих родовищ.

Загальновідомо, що в сучасних умовах розробки родовищ корисних копалин, представлених скельними породами, широко використовується багаторядне короткоуповільнене підривання (КУП). Щодо ефективності застосування цього методу накопичений значний експериментальний та теоретичний матеріал, на основі якого розроблено практичні рекомендації стосовно оцінки параметрів сейсмічних хвиль та їх вплив на навколишні об'єкти різноманітного призначення.

У роботі [27] наведені результати теоретичних досліджень щодо оцінки інтерференції сейсмічних хвиль при КУП групи зарядів вибухової речовини (ВР). Показано умову, за якої досягається максимальна швидкість зміщення при вибуху одного заряду з усієї групи. Так, якщо співвідношення часу приходу або затримки хвилі та періоду коливань не сильно відрізняється від одиниці, при

вибуху зарядів у групі більше 10 будуть збуджуватись тривалі коливання для всієї групи з періодом, близьким до величини часу уповільнення. Отримані результати рекомендовані для розв'язання задач про взаємодію вибухів при випроміненні сейсмічних хвиль.

Найбільш результативним методом регулювання сейсмічних коливань, як відмічається в роботах [28,29], є КУП зарядів ВР. Показано, що найбільш небезпечними частотами у хвильовому спектрі є низькочастотні в діапазоні 0,2 – 7 Гц. Запропоновано для розрахунку спектру сейсмоколивань при різних інтервалах уповільнень між зарядами загальновідомий вираз для спектрального аналізу [30] стосовно суми двох імпульсів, зміщених у часі один відносно одного. Отримані результати можуть бути використані при регулюванні сейсмоефекту у практиці вибухових робіт.

У роботі [31] встановлено, що модулі нормованих амплітуд швидкості сейсмоколивань, які відповідають хвилі Релея, підкоряються гама- та бета-розподілам і параметр форми гамма-розподілу є сталою характеристикою та незначно залежить від умов та способів підривання, а параметри бета-розподілу є параметрами в рівному ступені форми та масштабу. Отримані результати рекомендовано використовувати при розв'язанні різноманітних прикладних задач, пов'язаних з визначенням сейсмонавантажень на об'єкти.

У роботі [32] запропоновано за критерій безпеки сейсмічної дії вибуху для об'єктів, що охороняються, приймати питому енергію, яка протікає за певний час через одиницю площі поверхні на границі об'єкта, що охороняється. Запропонована формула (тільки для пружних деформацій) для визначення максимальної енергії, в якій час впливу на об'єкт залежить від його конструкції. Наведені розрахунки для різних варіантів об'єктів і умов підривання, а також формули щодо визначення щільності енергії, що переноситься різними типами хвиль при вибуху зосередженого заряду ВР.

Отримані результати не враховують закономірності поширення сейсмічних хвиль при вибуху подовженого циліндричного заряду як основної конструкції, що застосовується в практиці відкритих гірничих робіт. До того ж

використання розосереджених зарядів різними проміжками (водними, повітряними, інертними) значно змінює механізм вибухового впливу як на процес дроблення породи, так і на характер поширення сейсмічних хвиль і вплив їх на об'єкти, що охороняються. Наявність в масиві, що руйнується, гірських порід різних неоднорідних включень і порожнин (карстів, гірничих виробок) додатково змінює енергетику сейсмічних хвиль і тому обумовлює проведення окремого наукового обґрунтування.

В результаті аналізу експериментальних вибухів на кар'єрах і виконаних аналітичних розрахунків [33] показано ефективність сейсмічного випромінювача у вигляді кола з радіусом в 2 – 3 розміри області, що займає система блоків порід, які підриваються. Отримані дані використовують для прогнозування сейсмоефекту в різних точках простору і, насамперед, – в місцях розташування об'єктів, що охороняються. Даний висновок базується на розробленій розрахунковій моделі сейсмічного ефекту, яка дозволяє визначити просторово-часові характеристики сейсмічного сигналу з урахуванням маси ВР, числа груп зарядів, часу уповільнення, лінійних розмірів і конфігурації блоків порід, які підриваються, на уступах кар'єра.

Відомо, що основним критерієм сейсмонебезпеки є швидкість зміщення часток ґрунту. Важливу роль при цьому відіграє період коливань в сейсмічній хвилі, особливо в резонансній області. У цьому випадку значення періоду коливального процесу порід, які підриваються, наближається до власних періодів коливань будівель та споруд, що охороняються [21]. В роботі [34] встановлено вплив на величину періоду коливань в сейсмopідpивній хвилі радіусу заряду, наведені формули розрахунку часових параметрів сейсмічних хвиль від впливу вибуху циліндричного заряду різної конструкції, що дозволяє прогнозувати сейсmobезпечні параметри вибухових робіт на гірничo-видобувних підприємствах.

При вивченні параметрів сейсмічних хвиль зазвичай використовують данні спектрального аналізу [10,28-30,35-38] для розрахунку об'єктів на

сейсмостійкість, а також прогнозування сейсмічного впливу вибухових робіт у різних гірничо-технологічних умовах їх проведення.

Дослідженнями [35] показано вплив амплітудно-частотної характеристики коливальної системи “грунт-споруда” на величину динамічного навантаження на об’єкт при здійсненні промислових вибухів в кар’єрах. З цією метою розроблена методика розрахунку допустимих зусиль на конструкцію споруди з урахуванням частотних характеристик коливального процесу породи, що руйнується, та об’єкту, який охороняється.

У роботах [36-38] із застосуванням теорії спектрів отримана аналітична формула для розрахунку амплітудно-частотних спектрів в гірських породах у залежності від їх фізико-механічних властивостей і параметрів подовжених циліндричних зарядів ВР. Показано, що зі збільшенням кількості зарядів у групі відбувається зсув резонансної частоти максимуму енергії, що може бути використано для збільшення імпульсу вибуху на масив гірських порід, який руйнується.

Використання закономірностей зміни частотного спектру при розв’язанні прикладних задач геодинаміки вибуху наведено в роботах [39-41]. Рекомендується використовувати заходи для вдосконалення технології проектування вибухових робіт за допомогою часової діаграми, яка дозволяє знизити рівень сейсмоколивань в середньому на 1-2 бали за Міжнародною сейсмічною шкалою MSK-64 [39].

При вибуху заряду ВР у зарядній порожнині утворюється значний об’єм газоподібних продуктів детонації під високим тиском [42]. Ступінь їх впливу на стінки зарядної порожнини залежить від конструкції джерела (заряду ВР), будови і властивостей гірського масиву за його глибиною, які визначають механізм трансформації енергії вибуху і характер поширення хвильового пакету в процесі руйнування.

У роботі [43] розглянуто вплив симетрії при підриванні окремих і групових зарядів на ступінь інтенсивності об’ємних і поверхневих хвиль.

Встановлено, що симетрія джерела збурень, його параметри впливають на спектральну характеристику вибуху і показники поширення сейсмохвиль.

У роботі [44] в якості розміру сейсмічного джерела при підриванні зарядів ВР вибирається розмір області непружних деформацій, під якою розуміють зону руйнування. Тоді вплив сейсмічних хвиль характеризується радіусом джерела, амплітудою хвильового руху і тривалістю даного процесу на поверхні твердого середовища, що руйнується.

У роботі [45] відмічено, що зона, прилегла до джерела збудження сейсмічних коливань, є маловивченою областю. На ділянці поблизу межі випромінювача відбувається зміна коливального процесу і, як наслідок, – зміна спектрального складу сейсмічних хвиль.

У роботі [46] розглянуто механізм утворення джерел сейсмоколивань при КУП двох зарядів за трьома стадіями взаємодії хвильових полів. Наведено висновки та енергетичні залежності, які визначають витрату загальної потенціальної енергії заряду ВР на корисну і некорисну роботи вибуху.

Розвиток відкритого способу розробки родовищ корисних копалин стимулював прискорення темпів наукового обґрунтування для вирішення ряду прикладних задач в галузі гірничої сейсміки. Наукові основи, закладені М.А. Садовським, з кожним роком отримували розвиток у одержанні нових закономірностей з обґрунтування сейсмобезпечних параметрів вибухових робіт.

Значний вклад за даним напрямком внесли українські вчені, а саме – вчені Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна, а також Інституту гідромеханіки НАН України [2,5,47]. На основі встановлених закономірностей поширення сейсмовибухових хвиль розроблено методики і практичні рекомендації щодо регулювання сейсмічної дії вибуху в різних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умовах роботи промислових підприємств і особливо у густонаселеній місцевості з промисловими і цивільними об'єктами різного призначення.

За результатами виконаних аналітичних і експериментальних досліджень [48] встановлено, що порушення будівель від впливу вибухів корелює з максимальними амплітудами швидкостей коливань ґрунту в їх основах у діапазоні частот близьких до резонансних. Критерієм оцінки безпеки об'єкту на сейсмостійкість слід вважати швидкість коливань ґрунту з урахуванням ослаблення міцності капітальних стін будівлі наявністю тріщин.

У роботі [49], виходячи з аналізу статистичних і графічних результатів щодо сейсмічної дії вибуху зарядів ВР показано, що як за ступенем дотримання закону подібності, так і за точністю обрахунку параметрів сейсмовибухових хвиль найкращі результати дає формула М.А. Садовського [50]. Параметри хвиль розраховані за формулами інших авторів, у тому числі за формулою Гірничого бюро США, в 1,5–2 рази відрізняються від фактичних даних [51, 52].

Доведено, що сейсмічна обстановка залежить від місця проведення масового вибуху в кар'єрі, яке впливає на формування сейсмічної хвилі певної інтенсивності [53].

В роботі [54] наведено оцінку частотно-часових характеристик поверхневих хвиль при вибухах в гірських породах. Для коригування критичних нормативних показників сейсмобезпечності поверхневих об'єктів, що охороняються, рекомендовано враховувати коефіцієнт, який визначається через відношення періоду коливань в R-хвилі до періоду власних коливань об'єкту.

У роботі [55] наведено аналітичну залежність для визначення періоду коливань в R-хвилі при масових вибухах без урахування величини радіусу випромінювання. При цьому у розрахунках слід приймати загальну масу зарядів, але відкориговану рядом коефіцієнтів, що враховують умови ведення вибухових робіт.

Як критерії сейсмічної небезпеки в роботі [56] запропоновано використовувати для об'єктів, що охороняються, амплітуду масової швидкості коливань і її частоту, які дозволяють оцінити допустимі норми сейсмічних коливань для об'єктів різної конструкції.

Управління сейсмічною дією промислових вибухів теоретично вивчено недостатньо. Багато явищ, що супроводжують процес вибуху, вирішуються на основі накопиченого досвіду або результатів експериментів, що проводяться як в лабораторних, так і в промислових умовах [57].

Незважаючи на досягнені певні успіхи в гірничій сейсміці, останнім часом в цій галузі виникли серйозні й актуальні теоретичні задачі [22], розв'язання яких є вельми важливим для практики. Встановлені закономірності при поширенні сейсмовибухових хвиль, що використовуються в ряді випадків, у практичних рекомендаціях для підвищення сейсмобезпечності вибухових робіт, найчастіше базуються на емпіричних залежностях, галузь застосування яких не завжди очевидна. Це пов'язано зі складністю урахування всіх особливостей і умов проведення вибухових робіт і, тим самим, визначає тенденцію подальшого дослідження в пошуку та обґрунтуванні більш оптимальних результатів при КУП зарядів ВР [27].

При розв'язанні прикладних задач з гірничої сейсміки для умов проведення масових вибухів в кар'єрах почали використовувати для обчислення сейсмічних навантажень методи математичного моделювання і статистичного моделювання на персональному комп'ютері (ПК) [58 – 62].

У роботі [58] здійснено оцінку сейсмобезпечності при КУП за даними моделювання взаємодії хвиль від вибуху циліндричних зарядів. Встановлено границі переходу хвиль руйнування в пружно-сейсмічну хвилю та механізм суперпозиції хвиль напруги за наявності або відсутності взаємодії між зарядами.

У роботі [59] розроблено методику розрахунку сейсмоколивань, яка дозволяє розрахувати хвильові параметри в залежності від розподілу мас зарядів ВР у групі з урахуванням часу уповільнення між ними.

В роботі [60] наведено методику чисельного моделювання взаємодії сейсмовибухової хвилі з прямокутним фундаментом будівлі.

У дослідженні сумарної дії системи зарядів при КУП для розв'язання задач за допомогою моделювання використано принцип суперпозиції [61,62].

Для випадку взаємодії хвиль при миттєвому та короткоуповільненому вибухах групи зарядів розроблені модель опису процесу, алгоритм і програма для ПК [62]. За результатами досліджень встановлено, що у випадку взаємодії хвильових полів між зарядами виникають умови суперпозиції хвиль напруг з відсутністю «тіньових» зон (відбувається руйнування породи між зарядами), при цьому масова швидкість пружної хвилі зменшується. За відсутності взаємодії спостерігається суперпозиція сейсмічних хвиль (масова швидкість пружної хвилі збільшується), а між зарядами, при утворенні «тіньових» зон, руйнування породи не спостерігається.

Отримані висновки покладені в основу рекомендацій, якими визначена максимальна маса ВР, що підривається за одиницю часу і не викликає перевищення допустимої швидкості сейсмоколивачів в основі об'єктів, що охороняються.

Методом спектрального аналізу здійснено оцінку частотних коливань часток породи [63]. Встановлені залежності швидкості зміщення часток ґрунту від відносної відстані.

У роботі [64] на основі математичних моделей і алгоритмів розроблено методику розрахунку коливального процесу ґрунтового масиву в основі наземного об'єкту та реалізовано пакет прикладних програм мовою DELPHI.

Накопичено значний теоретичний матеріал щодо встановлення залежностей і закономірностей в характері поширення сейсмічних хвиль при вибухах у різних гірничо-геологічних умовах. Однією з перспективних та актуальних задач є наукове обґрунтування параметрів та елементів джерела збудження сейсмічних хвиль при підривній розробці закарстованих гірських масивів, а також встановлення взаємозв'язку джерела з параметрами КУП, властивостями та будовою гірських порід.

Встановлення закономірностей формування сейсмічних хвиль, прогнозування їх показників і шляхи зниження сейсмічної дії промислових вибухів є результатом цього дослідження.

В роботах [17, 65] показано наявність кореляційного зв'язку між енергією дроблення та сейсмічної дії вибуху. З цього випливає, що з підвищенням енергії вибуху на дроблення порід сейсмічний ефект зменшується.

Уявлення про вплив властивостей масиву на сейсмоефект вибуху засновані на аналізі закономірностей, що пов'язують пружні та міцнісні властивості порід з їх геологічними особливостями [66-69].

Останнім часом активізувалися дослідження щодо вивчення анізотропії масивів гірських порід і способів урахування цього фактора для обґрунтування сейсмобезпечних параметрів вибухових робіт в кар'єрах [10, 70, 71-74].

Вперше на вплив цього фактора при вимірюванні швидкостей зміщення при вибухах в кар'єрах вказано в роботі [71]. У подальшому для обґрунтування сейсмобезпечних зон еліптичної форми було внесено корективи у формулу М.А.Садовського у вигляді коефіцієнтів (поправок) на відмінність швидкостей поширення сейсмовибухових хвиль уздовж і впоперек напрямку тріщинуватості. Однак, такий підхід не дозволяв визначити параметри сейсмічних хвиль в інших азимутальних напрямках на відміну від взаємно перпендикулярних відносно тріщин гірського масиву.

У роботах [10,70, 72-74], з використанням рівнянь в канонічному вигляді та в полярних координатах [70], визначено сейсмобезпечну відстань у будь-якому азимутальному напрямку стосовно еліпсовидної зони. Розміри (радіуси еліпсу) цієї зони дозволяють розраховувати сейсмобезпечну масу заряду ВР.

Окремо слід відмітити одну з важливих задач у забезпеченні сейсмостійкості об'єктів, що охороняються, при вибухах у скельному масиві з різного виду порожнинами (гірничі виробки, карсти) [26, 75].

Дослідженнями [26] за допомогою променевої теорії встановлено залежності спільної дії мас стелини порожнини та об'єкта, розташованого над нею. Для підвищення стійкості об'єктів запропоновано критерій оцінювання спільної дії статичних і динамічних навантажень на порожнину в залежності від маси стелини (гірський масив між порожниною та основою об'єкту), об'єкту і параметрів сейсмовибухових хвиль. Встановлено закономірності руйнування

порожнини у критичних точках за її периметром, у залежності від координати на поверхні порожнини, глибини її залягання, маси об'єкту, щільності породи, коефіцієнту Пуассона та кута падіння фронту сейсмічної хвилі.

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень на гіпсовому кар'єрі розроблено практичні рекомендації щодо визначення сейсмобезпечних параметрів масових вибухів з урахуванням сезонності робіт.

У роботах [75-76] виконані дослідження щодо вдосконалення методики прогнозування стійкості горизонтальних гірничих виробок та тунелів різної геометричної форми в поперечному перерізі при гравітаційних та динамічних навантаженнях. Запропоновано статичний критерій стійкості гірської виробки за допомогою методу кінцевих елементів. У роботі [76] наведено дані щодо впливу фізико-механічних властивостей порід, маси заряду ВР та лінії найменшого опору на величину енергії, що трансформується в сейсмічну хвилю.

За результатами експериментальних досліджень сейсмічної дії вибуху в гірських породах, визначено вплив кількості груп і зарядів при КУП, маси і місцерозташування зарядів, типу ВР, системи неелектричного ініціювання, напряму детонації при вибухах серії зарядів ВР [77].

Дослідженнями [78-80] встановлено вплив глибини оброблюваних уступів порід в кар'єрі на параметри поширення сейсмовибухових хвиль. В роботі [79] встановлено кореляційне поле зміни коефіцієнту пропорційності від глибини проведення вибуху в кар'єрі, наведені числові значення цього показника для вибухів на глибоких і верхніх горизонтах. В роботі [80] розглянуто вплив глибини виконання масового вибуху на інтенсивність поширення сейсмічних хвиль на прикладі кар'єра ВАТ «Полтавський ГЗК». Розроблено формули для визначення сейсмобезпечної маси заряду ВР з урахуванням глибини проведення вибухових робіт.

1.2 Аналіз існуючих методів визначення сейсмобезпечних параметрів вибухових робіт і способів відбивки породних масивів із застосуванням свердловинних зарядів вибухової речовини у кар'єрах

В умовах закарстованих родовищ регулювання сейсмоефекту промислових вибухів обумовлює необхідність проведення подальших досліджень щодо встановлення ряду функціональних залежностей та обґрунтування технологічних параметрів. Наприклад, відсутні дані про вплив карстових порожнин на формування конструкцій зарядів у випадку свердловин, які перетинають порожнину; способи ініціювання зарядів, що виключають негативний вплив порожнин; закономірності поширення сейсмічних хвиль в шаруватому масиві порід, який знаходиться між карстом та основою споруди і таким, що впливає на стійкість об'єкту і порожнини тощо.

Породний масив, особливо закарстований, не є однорідним. Крім тріщинуватості, гірські породи, навіть у межах одного блоку, що підриваються, мають включення карстових порожнин на різних глибинах. У цьому випадку необхідно здійснити правильний вибір способу відбивки таких масивів із застосуванням конструкцій подовжених зарядів ВР у відповідності зі структурою колонок свердловин у закарстованих масивах.

Одним із методів управління сейсмоефектом промислових вибухів на відкритих гірничих роботах є розробка та практична реалізація конструкцій свердловинних зарядів ВР та схем їх розташування на блоці порід, що підривається [81-85]. Особливостями конструкцій зарядів є застосування зменшеного діаметру, емульсійних ВР, розосереджених проміжків, схем розташування та підривання зарядів з подовжнім проміжком, різноманітні варіанти ініціювання зарядів. Так, наприклад, при використанні зарядів з подовжнім проміжком [81] швидкість сейсмічних коливань при вибухах в кар'єрі знижена на 8,3–10,8% (при діаметрі заряду 180 мм).

За результатами досліджень [82, 83] для зменшення швидкості коливань при вибухах слід застосовувати діаметр свердловин 110 і 150 мм, діагональну

схему підривання з уповільненням не більше 25 мс, повітряні проміжки по довжині заряду. В роботі [83] рекомендовано перерозподіляти енергію вибуху за рахунок зміни спрямованості розташування та ініціювання рядів свердловинних зарядів різної конструкції.

Для регулювання параметрів сейсмовибухових хвиль запропоновано аналітичні залежності для визначення прогнозних значень швидкостей зміщення для ближньої зони вибуху при варіації наведеної ЛНО та зміни діаметру заряду ВР [84]. При цьому відмічено, що швидкість зміщення в детонаційній хвилі обернено пропорційна діаметру заряду.

У роботі [85] наведено висновок про підвищення рівня сейсмічного впливу зі зменшенням діаметру шпурових зарядів. Правомірність цього висновку повинна бути зроблена порівняльною оцінкою різних діаметрів свердловинних зарядів, а не лише шпурових.

Під час вибуху заряду ВР в напрямку від нього до вільної поверхні гірського масиву формується первинне поле напруг як наслідок прямих хвиль стиснення. Одним із способів керування полем напруг є спосіб керування фронтом детонаційних хвиль, які залежать від параметрів ініціатора (тип ВР, геометрія, маса, кількість і місце розташування) [86].

Ранніми дослідженнями (Петряшин, Л.Ф., 1967) для досягнення якісного подрібнення гірських порід визначені інтервали часу уповільнення при підриванні верхнього та нижнього ініціаторів (бойовиків) у заряді. Запропоновано розрахункові формули для цих варіантів. Указано границі зміни часу уповільнення при підриванні верхнього заряду по відношенню до нижнього. Аналогічна границя обґрунтована також для розосереджених зарядів ВР з рекомендацією використовувати у практиці нижнє ініціювання.

У роботі [87] вказані елементи раціонального розміщення у конструкції свердловинного заряду. При цьому за довжиною колонки заряду бойовик може розташовуватись у будь-якій частині заряду, але не менше 0,5 м від верхнього його торця і не нижче рівня підосви уступу. У разі забійки більше 0,75W рекомендується розосередження заряду різними проміжками. Верхня частина

забійки повинна бути не меншою $0,5W$, а довжина нижньої частини заряду – не менш $1,2W$. Сумарна довжина повітряних проміжків повинна відповідати $0,15-0,2$ довжини заряду. Маса ВР у верхній частині заряду приймається в межах $0,25-0,35$ від загальної маси заряду в свердловині. Кожна частина заряду ініціюється окремим бойовиком.

Експериментальними дослідженнями в кар'єрах [88, 89] встановлено вплив місця розташування бойовика в заряді на сейсмоефект вибуху. Показано, що при нижньому ініціюванні швидкість сейсмічних коливань в $1,2-2,0$ рази нижче порівняно з верхнім ініціюванням. Рекомендовано одночасно застосовувати систему «Імпульс».

Застосування КУП свердловинних зарядів дозволяє впровадити у практику різні схеми ініціювання: діагональні, порядні, клинові, хвильові та ін.[90]. Останнім часом значне поширення на відкритих гірничих роботах отримують неелектричні системи ініціювання типу Nonel (СІНВ, Еделін, «Примадет» та ін.). Такі системи ініціювання є альтернативою ДШ [91]. За ефективністю їх застосування за впливом на якість подрібнення порід і сейсмічну дію вибуху наявні суперечливі результати дослідження [92 – 95]. В цих роботах відмічається збільшення сейсмічної дії масового вибуху при використанні СІНВ. Рекомендовано фірмама-виробникам цієї системи при постачанні їх споживачу вказувати розкид у часі спрацьовування свердловинних уповільнювачів [92]. За даними робіт [93, 94] при використанні СІНВ спостерігались одночасні вибухи більшої кількості зарядів у порівнянні з розрахунком.

У роботі [95] відмічено, що ні за технічними, ні економічними параметрами неелектричні СІНВ з хвилеводом не перевершують електричні. Тому в найближчому майбутньому вони не зможуть витіснити останні.

Таким чином, ефективність використання систем неелектричного ініціювання зарядів повинна перевірятися в конкретних умовах за основними параметрами.

Виконаний аналіз теоретичних та експериментальних робіт щодо впливу природних і технологічних факторів на сейсмічну дію промислових вибухів в умовах відкритих гірничих робіт свідчить про розвиток даного напрямку. Отримано позитивні результати при впровадженні сейсмобезпечних методів на кар'єрах. До таких методів керування сейсмоефектом масових вибухів відносяться: ВР місцевого приготування, конструкції зарядів на їх основі, схеми підривання, способи ініціювання, у тому числі – системи неелектричного ініціювання і т.ін.

За результатами досліджень розроблена методика розрахунків сейсмобезпечних параметрів вибухових робіт, що забезпечують сейсмостійкість об'єктів, які охороняються.

Особливо слід відмітити, що до теперішнього часу опублікована значна кількість робіт щодо теорії та практики застосування подовжених зарядів, розосереджених різноманітними проміжками. Однак, такі роботи не відображають особливостей руйнування закарстованих масивів вибухами зарядів такої конструкції, як джерела формування в свердловинах для збудження сейсмічних коливань. У зв'язку з цим розроблені рекомендації щодо застосування розосереджених зарядів для зниження сейсмоефекту вибуху в обмежених умовах гірничовидобувних підприємств в більшості випадків мають частковий характер та не є достатньо універсальними [96].

Успішному використанню сейсмобезпечних заходів, особливо в обмежених умовах вибухових робіт, сприяли наступні науково обґрунтовані параметри та методи регулювання сейсмічної дії промислових вибухів:

- розроблені сучасні найпростіші ВР місцевого приготування для різних гірничотехнологічних умов;
- свердловинні заряди ВР різних конструкцій, що забезпечують зниження сейсмоефекту вибуху без погіршення, а іноді з підвищенням якості подрібнення гірських порід;
- варіанти способів ініціювання зарядів за допомогою ДШ і систем неелектричного ініціювання (хвилеводів) типу Nonel та електронного;

- раціональні схеми розташування і КУП зарядів зі спрямованою орієнтацією початку ініціювання врубової частини в серії підриваємих зарядів відносно об'єктів, що охороняються;
- методики розрахунку сейсмобезпечних параметрів масових вибухів для умов відкритих гірничих робіт, що враховують вплив природних і технологічних факторів на процес вибуху;
- покладено початок дослідженню впливу порожнин у гірничому масиві на закономірності поширення сейсмічних хвиль та стійкість об'єктів, що охороняються, в зоні дії промислового вибуху, що стало методичною основою для проведення подальших досліджень у даному напрямку.

На сучасному етапі розвитку вибухових технологій на кар'єрах зі складною структурою масивів гірських порід важливим завданням є розробка способів відбивки гірських порід, які б відповідали геологічній структурі колонок свердловин і які б при їх використанні одночасно були ефективно руйнуючими для корінних порід та сейсмобезпечними за межами кар'єрного поля, в зонах розташування наземних і підземних об'єктів, що охороняються. У зв'язку з цим способи відбивки гірських порід в т.ч. з використанням різних конструкцій свердловинних зарядів ВР в Україні та інших країнах постійно удосконалюються та поповнюються новими. При цьому технологія їх заряджання забезпечується сучасними зарядними машинами, в яких ВР виготовляються безпосередньо на місці проведення вибухових робіт і контролюються ЕОМ. Це гарантує успішне розміщення зарядів у кожній окремо взятій свердловині на блоці у відповідності до її конструкції. Для розробки нових способів відбивки гірських порід результати досліджень доцільніше базувати на вивченні взаємодії детонаційних хвиль при поширенні їх у подовжених зарядах ВР з геологічною структурою колонки свердловин, яка перетинає карстові порожнини.

1.3 Оцінка сучасного стану щодо методів керування руйнівною та сейсмічною діями масових вибухів у кар'єрах і постановка задач досліджень

Виконаний аналіз теоретичних та експериментальних досліджень вітчизняних та зарубіжних авторів щодо методів керування руйнівною та сейсмічною діями промислових вибухів у різних гірничотехнічних умовах відкритих гірничих робіт, а також розроблених рекомендацій на основі результатів цих досліджень, дозволяє стверджувати про достатню їх ефективність при реалізації в практиці вибухових робіт на гірничовидобувних підприємствах.

Основними способами ефективної відбивки гірських порід та методами зниження негативних наслідків дії сейсмічних хвиль є використання подовжених зарядів ВР різних конструкцій, схем короткоуповільненого підривання з новітніми системами неелектричного й електронного ініціювання та ін.

В результаті аналізу досліджень і досвіду роботи підприємств у вказаному напрямку встановлено:

- відсутні закономірності процесу буріння свердловин за їх глибиною у місцях перетину карстової порожнини з визначенням швидкості і енергоємності процесу, необхідні для встановлення структури порід і формування джерела збудження сейсмічних хвиль;
- не розроблені раціональні способи відбивки закарстованих породних масивів з конструкціями подовжених зарядів, які б враховували частини свердловин де розташовані карстові порожнини;
- відсутнє наукове обґрунтування щодо вибору раціональних способів ініціювання свердловинних зарядів, що перетинають карстову порожнину, у тому числі, методика визначення кількості і місця розташування ініціаторів по довжині заряду, що забезпечують зіткнення ударних хвиль в заданій точці заряду ВР;

– теоретично та експериментально не обґрунтовані співвідношення швидкостей поширення детонаційних хвиль від верхнього і нижнього бойовиків (ініціаторів) для визначення інтервалів внутрішньосвердловинного уповільнення, яке забезпечує умови формування посиленого поля напруг (зустрічне ініціювання) в зонах суцільних корінних порід і з порожнинами;

– не встановлені аналітичні залежності для визначення порушення стійкості глибоких карстових порожнин при взаємодії вибухових хвиль, що поширюються в активній зоні наземних споруд;

– відсутня оцінка сумісного впливу сейсмічної дії та тиску власної маси поверхневої споруди на напружено-деформований стан масиву порід над карстовою порожниною, розташованою нормально по обидва боки до нижньої границі товщі порід та місця розташування карстової порожнини по відношенню до лінії НГСТ;

– не обґрунтовані закономірності взаємодії різних типів сейсмічних хвиль при їх поширенні в закарстованих масивах з метою визначення домінуючої хвилі, яка впливає на стійкість карстової порожнини та об'єкта, що охороняється;

– відсутня методика розрахунку окремих елементів конструкції свердловинних зарядів при їх комбінованому ініціюванні для умов руйнування закарстованих порід;

– недостатня вивченість процесу детонації комбінованих свердловинних зарядів ВР, що ініціюються за допомогою ДШ і системи неелектричного ініціювання, методів регулювання параметрів імпульсу вибуху у взаємозв'язку з енергетичною характеристикою сейсмічних хвиль;

– використання традиційних розрахункових формул для визначення сейсмобезпечних параметрів вибухових робіт, які у ряді випадків не враховують взаємозв'язок структурно-текстурних особливостей гірського масиву з особливостями параметрів КУП у ближній та дальній зонах вибуху;

– типові проекти, що використовуються в практиці на проведенні вибухових робіт свердловинними зарядами, які містять розділ з розрахунку

сейсмобезпечних параметрів вибуху, як основа реалізації методів регулювання інтенсивності дроблення порід і сейсмобезпечних параметрів, за структурою і змістом не завжди в достатній мірі відображають повноту сучасних знань в даній галузі.

Узагальнюючи вищенаведене з аналізу сучасного стану досліджень, видно:

1. Ефективного руйнування гірських масивів зі складною структурою можливо досягти за умови розроблення конструкцій свердловинних зарядів ВР у відповідності з геологічною структурою їх колонок.

2. Структури масиву порід у межах блоку, що підривається, можливо в повній мірі отримати від моніторингу потужності буріння кожної свердловини, з подальшим визначенням енергоємності цього процесу.

3. Існуючі дослідження закономірностей взаємодії сейсмовибухових хвиль у гірському масиві з порожнинами та розташованими над ними об'єктами потребують удосконалення з урахуванням місця їх розташування відносно лінії НГСТ та типу домінуючої хвилі для запобігання їх передчасному руйнуванню або провалів у порожнину.

Однак, незважаючи на досягнуті на сьогодні позитивні результати в гірничій сейсміці, керування сейсмічною дією масових вибухів у закарстованих масивах скельних порід є актуальною задачею та обумовлює проведення подальших досліджень фізичних основ дії вибуху зарядів ВР у цих умовах, з урахуванням комплексу факторів, що впливають на даний процес.

Виходячи з аналізу сучасних досягнень науки і практики щодо руйнівної та сейсмічної дій промислових вибухів у закарстованих породних масивах, сформульовані наведені вище мета та задачі досліджень.

Матеріали даного розділу опубліковані в наукових роботах [105, 109, 120, 121, 126, 129, 137].

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР КОЛОНОК СВЕРДЛОВИН ЗА ЕНЕРГОЄМНІСТЮ ПРОЦЕСУ ЇХ БУРІННЯ У ЗАКАРСТОВАНИХ ПОРОДНИХ МАСИВАХ

2.1 Оцінка ступеня закарстованості гіпсових породних масивів на видобувних уступах кар'єру

Відомо, що забезпечення сейсмобезпечного проведення вибухових робіт, особливо поблизу густонаселених районів, базується на врахуванні науково-обґрунтованих факторів при проектуванні параметрів вибухових технологій. У розділі 1, за даними аналізу досліджень багатьох авторів, показано вплив природних і технологічних факторів на руйнівну та сейсмічну дії промислових вибухів. При цьому відмічено недостатню вивченість впливу порожнин (карстів, гірничих виробок), розташованих у гірському масиві, на ефективність відбивки породних масивів, результати вибухових робіт і в тому числі – на сейсмоефект вибуху.

Для успішного розв'язання цієї задачі необхідні відомості про ступінь закарстованості гірського масиву зі встановленням кількості й розміру карстів, місць і глибини їх залягання. Виявлення цих даних у сучасних ринкових умовах являє собою трудомістку та вартісну задачу, яка пов'язана з використанням сучасного дорогого обладнання та залученням професійних наукових фахівців. Тому для прогнозування закарстованості був прийнятий найпростіший спосіб. На родовищі гіпсу, що розробляється Щирецьким кар'єром (м. Миколаїв, Львівської області), вивчення карстів проводилося за відкосом видобувного уступу після вибуху серії свердловинних зарядів ВР. Дані замірів отримано після проведення трьох експериментальних і одного промислового вибухів. Розміри карстів визначено за слідами («відбитками») в місцях їх розташування на відкосі уступу висотою 12–13,5 м (рис.2.1). Всього на площі відкосу уступу

загальною довжиною за чотирма серіями підриваємих блоків порід, що дорівнює 153 м, виявлено 18 карстових порожнин закритого (внутрішнього) типу. Розміри карстових порожнин варіюють: за висотою від 0,4 до 2 м (середня – 1м); за довжиною – від 0,9 до 3,4 м (середня – 2,1м). Середня глибина залягання карстів від поверхні уступу дорівнює 9,9 м.

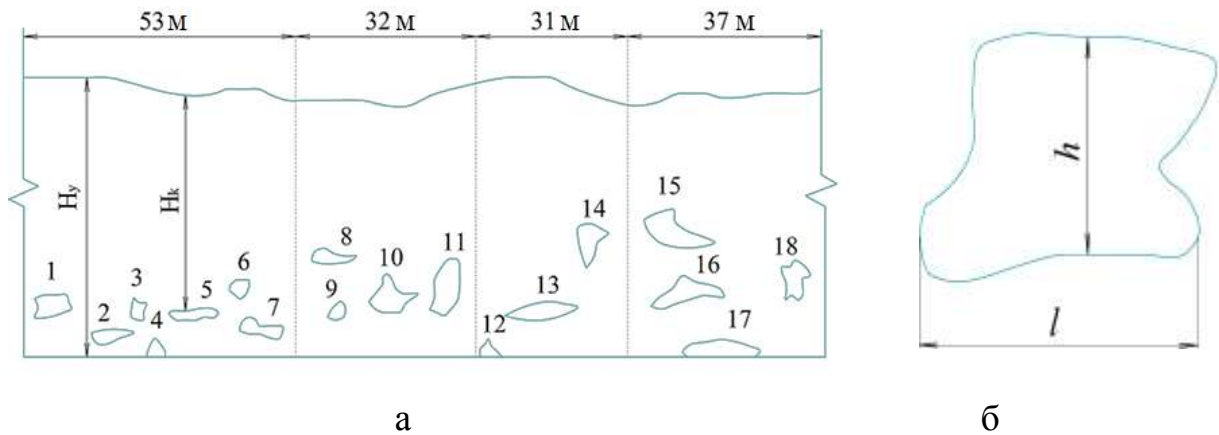


Рис. 2.1. Схеми розташування карстів (а) та їх розміри (б) по відкосу уступу в кар'єрі після вибухів (І–ІV): H_y – висота уступу, м; H_k – потужність порід над карстом, м; 1, 2, 3, ..., 18 – порядкові номери карстів; h – висота (потужність) карсту, м; l – довжина карсту, м

Для оцінки ступеня закарстованості гіпсів на видобувному уступі кар'єру використано коефіцієнт внутрішньої закарстованості, який визначається за формулою [97]:

$$K_3 = \left(\frac{\sum_{k=1}^n h_k}{\sum_{k=1}^n H_k} \right) \cdot 100, \%, \quad (2.1)$$

де $\sum_{k=1}^n h_k$ – сумарна потужність карстів, м; $\sum_{k=1}^n H_k$ – сумарна глибина залягання карстів, м; n – кількість карстів.

При розрахунках величини K_3 по видобувному уступу (горизонту)

виходила середня внутрішня закарстованість, яка дорівнює 11 %. Потрібно мати на увазі, що ця величина відноситься тільки до даного горизонту і не може бути поширена на все родовище гіпсу через відсутність відповідної інформації. Але в випадку встановлення таких даних, тобто кількості карстів, їх потужності та глибини залягання можна прогнозувати ступінь внутрішньої закарстованості на подальші періоди розробки родовища.

Таблиця 2.1

**Результати визначення розташування карстів по відкосу уступу на
Щирецькому гіпсовому кар'єрі**

№ вибуху	№ карста	h , м	l , м	H_k , м
I	1	0,7	0,9	12
	2	0,5	1,3	13,1
	3	0,6	0,5	11,8
	4	0,7	0,7	12,9
	5	0,4	2,3	11,0
	6	0,8	1,0	9,5
	7	1,0	2,9	11,0
II	8	0,6	3,4	9,0
	9	0,8	1,1	10,9
	10	1,5	3,0	9,6
	11	2,1	0,9	8,0
III	12	0,8	0,8	12,0
	13	0,8	3,4	8,0
	14	2,0	1,4	6,5
IV	15	1,9	3,3	6,0
	16	0,9	4,6	7,5
	17	0,9	3,2	12,0
	18	2,0	3,0	6,5

Як приклад на рис. 2.2 наведено прогнозні графічні залежності

$K_3 = f\left(\sum_{k=1}^n h_k, \sum_{k=1}^n H_k\right)$, які пояснюють характер зміни K_3 від сумарної

потужності карстів $\sum_{k=1}^n h_k$ і сумарної глибини їх залягання $\sum_{k=1}^n H_k$.

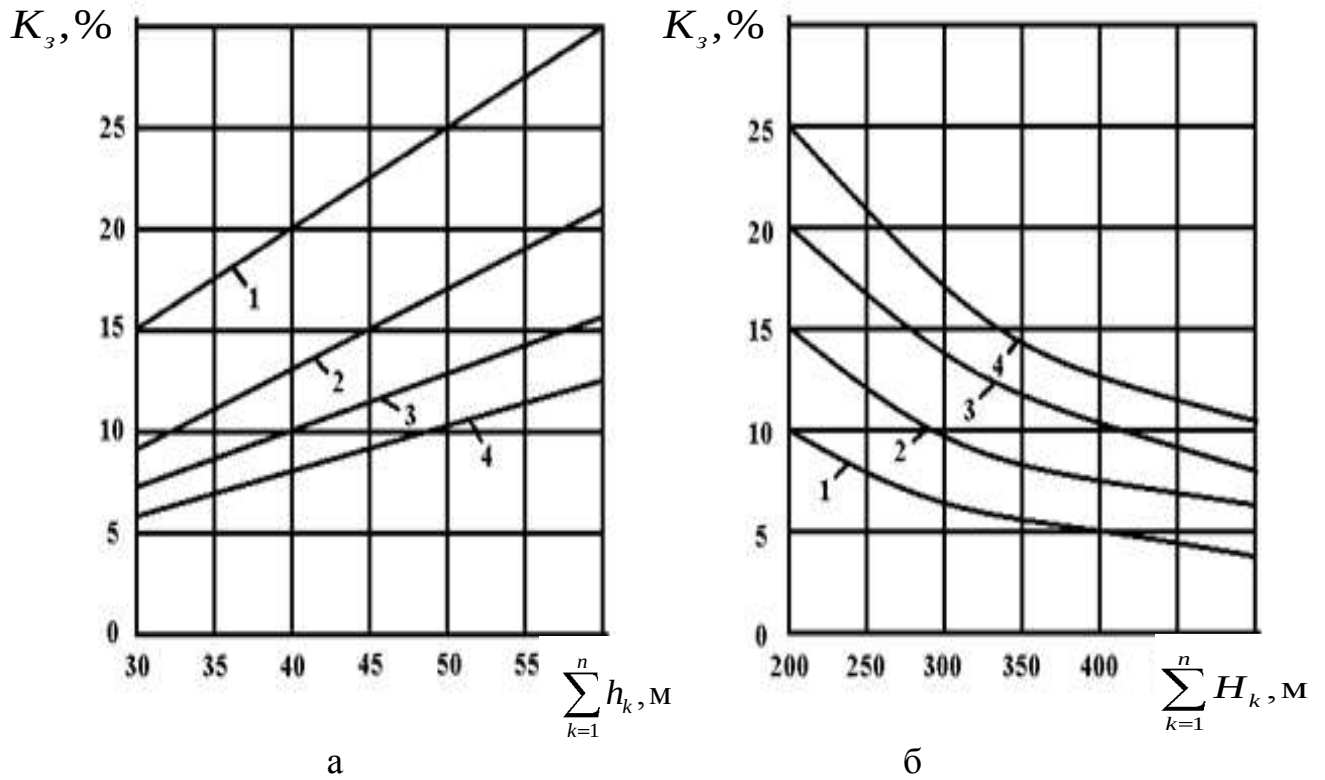


Рис. 2.2. Графічні залежності зміни K_3 від $\sum_{k=1}^n h_k$ – а: 1 – $\sum_{k=1}^n H_k = 200$ м; 2 – 300 м; 3 – 400 м; 4 – $\sum_{k=1}^n H_k = 500$ м; від $\sum_{k=1}^n H_k$ – б: 1 – $\sum_{k=1}^n h_k = 20$ м; 2 – 30 м; 3 – 40 м; 4 – $\sum_{k=1}^n h_k = 50$ м

З аналізу рис. 2.2 видно, що зі збільшенням $\sum_{k=1}^n h_k$ закарстованість порід зростає. Залежність $K_3 = f(\sum_{k=1}^n h_k)$ має лінійний характер зміни (рис. 2.2 а). Зі збільшенням глибини залягання карстів величина K_3 зменшується. Залежність $K_3 = f(\sum_{k=1}^n H_k)$ змінюється за обернено-пропорційним законом (рис. 2.2 б). Зі збільшенням сумарної потужності карстів закарстованість порід збільшується, а з глибиною знижується приблизно в 1,7–2,5 рази. Наведенні результати розрахунків мають прогнозний характер. Однак, маючи результати натурних

вимірювань, отриманих за даними буріння, геофізичних досліджень і рекогносціювального обстеження, можна визначити ступінь закарстованості, який відповідає реальним гірничотехнологічним умовам.

Необхідно відмітити, що дані про закарстованість родовища (величина K_3) необхідні для використання в подальших розрахунках параметрів буровибухових робіт. Наявність карстів у товщі гірського масиву не виключає їх перетину свердловинами в процесі оббурювання блоку порід, який підривається, що впливає на показники даного процесу і ускладнює подальше формування конструкцій зарядів ВР. У свою чергу це впливає і на енергоємність буріння, яка пропорційна енергії руйнування породи і роботі вибуху [98]. Зі збільшенням глибини буріння енергоємність зростає, а при перетині карсту свердловиною порушується закономірність в характері зміни цього енергетичного показника. За виміряними параметрами процесу буріння шляхом розрахунку енергії оббурювання 1м^3 гірського масиву, яка взаємопов'язана з показником важкості буріння і коефіцієнтом міцності порід, можна визначити раціональну величину питомої витрати ВР [99]. За цим параметром розраховується решта необхідних для досягнення потрібної якості гірської маси і одночасно (за необхідності) – сейсмобезпечності об'єктів, що охороняються.

2.2 Обґрунтування математичної моделі процесу руйнування гірської породи при бурінні свердловин для визначення геологічних структур їх колонок

Бурінню гірських порід присвячено значну кількість досліджень і публікацій вітчизняних та закордонних авторів. Однак, більшість з них являє собою узагальнення результатів лабораторних і польових експериментів. Явно недостатньо робіт, у яких аналітично досліджується процес буріння, та з яких можна отримати достовірну інформацію для гармонізації та оптимізації

параметрів виконавчого органу станка, технологічних і енергетичних показників процесу [100, 101].

При великій кількості окремих фізичних процесів у комплексі бурових робіт, з технологічної точки зору, можна виділити два основних:

- технологічне руйнування гірського масиву шарошковим долотом;
- переміщення в просторі зруйнованої гірської маси від вибою до поверхні блоку, що оббурюється.

Експериментальні дослідження цих процесів дозволяють віднести їх до ймовірнісних динамічних нестационарних процесів, що є найменш дослідженими і для яких аналітичні методи найменш розроблені.

Останнім часом для розв'язання нестационарних випадкових процесів використовують підхід, заснований на принципі дуальності руху маси в просторі [100, 102]. Використання цього підходу до математичного моделювання процесу руйнування гірського масиву шарошковим долотом дозволяє більш ефективно та цілеспрямовано керувати процесом буріння на кар'єрах.

Виходячи з цього принципу, були отримані рівняння, що описують ймовірнісні динамічні нестационарні процеси.

Перше рівняння являє собою стохастичне рівняння Гамільтона-Якобі і описує набір можливих траєкторій руху маси у просторі

$$\frac{\partial D}{\partial t} = -\frac{(\nabla D)^2}{2m} - U + \left(R + \overset{\circ}{R} \right), \quad (2.2)$$

де $D = \int_t L dt$ – дія для процесу, що моделюється; L – функція Лагранжа;

$\frac{(\nabla D)^2}{2m} = T$ – кінетична енергія процесу, що моделюється; $\left(R + \overset{\circ}{R} \right)$ – енергія

дисипації процесу; $\overset{\circ}{R}$ – випадкова складова енергії дисипації.

Кожна з траєкторій руху маси в просторі відрізняється одна від одної ймовірністю. Тому друге рівняння являє собою рівняння Фоккера-Планка-Колмогорова (ФПК) і описує щільність ймовірності координат траєкторії маси, що рухається

$$\frac{\partial p(x_i, t)}{\partial t} = \frac{D^2}{2m} \nabla^2 p(x_i, t) + \frac{\nabla D}{m} \cdot \nabla p(x_i, t) + \frac{U}{D} p(x_i, t), \quad (2.3)$$

де $p(x_i, t)$ – нестационарна щільність ймовірності, як функція координат і часу.

В результаті розв'язання рівняння Гамільтона-Якобі (2.2) визначається залежність координат від часу та інших параметрів для набору випадкових траєкторій $x_i = f(t)$. Розв'язок рівняння ФПК дозволяє отримати нестационарну щільність ймовірності координат $p(x_i, t)$ для заданих початкових та граничних умов. На основі цих розв'язків визначається математичне очікування координат траєкторії

$$\bar{x}_i = \int x_i(t) p(x_i, t) dx_i,$$

дисперсія

$$\sigma_x^2 = \int (x_i - \bar{x}_i)^2 p(x_i, t) dx_i.$$

та інші параметри, які необхідно отримати. В роботі [102] показано, що замість рівняння Гамільтона-Якобі можуть бути використані еквівалентні йому рівняння Ньютона, Ейлера, Гамільтона, Лагранжа.

Для розроблення математичної моделі процесу буріння рух шарошкового долота розглядається як поступальний, так і обертальний. Як наслідок, конкретна точка на долоті (наприклад, вершина твердосплавного штиря) переміщується в просторі за досить складною траєкторією. Енергія, підведена до бурового станка, витрачається на процес буріння і може бути представлена такими складовими:

$$E_{\sigma} = T + U + \Delta E + R_{\sigma} + R_0, \quad (2.4)$$

де E_{σ} – повна енергія, спожита з електричної мережі; T – кінетична енергія рухомих частин системи; U – потенційна енергія системи; ΔE – втрати енергії в системі; R_{σ} – дисипативна частина енергії, витрачена на руйнування гірського масиву; R_0 – дисипативна частина енергії, витрачена для очищення свердловини.

Кінетична енергія системи зумовлена вертикальним поступальним рухом маси бурового ставу та обертальним рухом приводу і обертача з сумарним моментом інерції, приведеним до бурової штанги:

$$T = m \frac{V^2}{2} + I \frac{\omega^2}{2},$$

де V – швидкість подачі бурового ставу на вибій; m – маса бурового ставу, що бере участь у поступальному вертикальному переміщенні; I – момент інерції обертової частини бурового ставу; ω – кутова частота обертача.

Потенційна енергія бурового ставу складається з енергії пружних деформацій та енергії сили тяжіння

$$U = U_{\sigma} + U_{\tau},$$

де U_{σ} – енергія пружних деформацій; U_{τ} – енергія сили тяжіння.

Пружність конструкції призводить до виникнення високочастотних крутильних і лінійних коливань обертача. З технологічної точки зору цікава лише постійна складова швидкості буріння та її низькочастотні змінні складники, на яких пружність конструкції позначається незначною мірою. У зв'язку з цим за повну потенційну енергію системи можна прийняти енергію

гравітаційних сил $U \approx U_T$, що значно спрощує модель процесу. Тоді повне зусилля впливу виконавчого органу на вибій:

$$P_z = P + mg + \frac{M}{h}, \quad (2.5)$$

де P – осьове зусилля буріння; mg – вага бурового ставу, що передається на вибій; M – момент на валу обертача; h – глибина занурення шарошки в породу.

Ефективність руйнування масиву гірських порід шарошковим долотом визначається енергією, що передається породі з кожним ударом штиря під час обертання шарошки.

Для визначення енергетичних витрат на руйнування породи проведені експерименти, в яких здійснювалися заміри витрат потужності на процес руйнування з одночасною фіксацією основних параметрів режиму буріння: швидкості буріння V , швидкості обертання виконавчого органу ω , осьового зусилля подачі P . Тоді робота руйнування гірської породи може бути визначена за виразом [103]:

$$A_p = \int_0^{t_k} N_x \exp\left(\frac{e_p S V}{N_x}\right) dt, \quad (2.6)$$

де $N_x = \bar{D}_x \omega^2$ – потужність дисипативних втрат у системі; e_p – енергоємність руйнування гірської породи шарошковим долотом [103]; S – площа поперечного перерізу свердловини; $V = \frac{dl}{dt} = \frac{dl}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = h\omega$ – швидкість буріння свердловини; t_k – час закінчення руйнування.

Як було зазначено раніш, рівняння Гамільтона-Якобі (2.2) можна замінити еквівалентним йому рівнянням Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = \sum_j^m Q_j - R, \quad (2.7)$$

де $L = T - U$ – функція Лагранжа; q_i – узагальнені координати; $\dot{q}_i$ – узагальнена швидкість; Q_j – узагальнена сила; R – дисипативна сила.

У нашому випадку як незалежні узагальнені координати приймаються глибина руйнування h та кутова швидкість обертача ω . Тоді відповідні рівняння Лагранжа набувають вигляду:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{\omega} \frac{\partial T}{\partial h} \right) - \frac{\partial U}{\partial h} &= \frac{1}{\omega} \frac{\partial}{\partial h} \left[N_z - \left(N_p + \overset{o}{N}_p \right) \right]; \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \omega} \right) &= \frac{\partial}{\partial \omega} \left[N_z - \left(N_p + \overset{o}{N}_p \right) \right]. \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

$$(2.9)$$

Тут складова $\overset{o}{N}_p$ є випадковим стохастичним центрованим процесом (з нульовим математичним очікуванням).

Підставивши відповідні значення у рівняння (2.8) та (2.9), після відповідного диференціювання отримуємо:

$$m \frac{\omega dh}{dt} = P + mg - e_p S \exp \left(\frac{e_p Sh \omega}{D_x \omega^2} \right) - \overset{o}{F}; \quad (2.10)$$

$$I \frac{\partial \omega}{\partial t} = (P + mg)h + M_o - (2D_x \omega - e_p Sh) \exp \left(\frac{e_p Sh \omega}{D_x \omega^2} \right) - \overset{o}{M}, \quad (2.11)$$

де M_o – початковий момент на обертачі; $\overset{o}{F}$ і $\overset{o}{M}$ – випадкові складники зусилля та моменти руйнування з нульовим математичним очікуванням.

У стаціонарному (усталеному) режимі буріння параметри h і ω практично є сталими, що дозволяє визначити їх стаціонарні значення з рівнянь:

$$P + mg - e_p S \exp\left(\frac{e_p S h \omega}{D \omega^2}\right) = 0 ; \quad (2.12)$$

$$(P + mg)h + M_o - (2D\omega - e_p S h) \exp\left(\frac{e_p S h \omega}{D \omega^2}\right) = 0 . \quad (2.13)$$

Кутову швидкість обертача верстата можна визначити з урахуванням параметрів приводу і властивостей гірського масиву:

$$\omega = \frac{M_o}{\frac{2D_x(P + mg)}{e_p S} \left(1 - \ln \frac{P + mg}{e_p S}\right)}, \quad (2.14)$$

а глибина руйнування породи під дією штиря шарошки визначається за виразом:

$$h = \frac{M_o - D_x \omega}{e_p S - (P + mg)} . \quad (2.15)$$

Тоді швидкість буріння свердловини визначається через ці параметри, м/с:

$$V = h\omega , \quad (2.16)$$

а продуктивність буріння, м³/с

$$\Pi_o = \frac{S h M_o}{\frac{2D_x(P + mg)}{e_p S} \left(1 - \ln \frac{P + mg}{e_p S}\right)} . \quad (2.17)$$

Наведені вирази дозволяють визначити можливі значення параметрів буріння $h, \omega, V, \Pi_{\sigma}$ як функції відповідних параметрів і часу.

Враховуючи, що ці параметри є випадковими величинами, необхідно встановити їх щільності ймовірності, математичне очікування, дисперсію та інші моменти.

Для двомірного марковського випадкового нестационарного процесу рівняння ФПК може бути записано у вигляді

$$\frac{\partial p(h, \omega, t)}{\partial t} = -\frac{1}{\omega} \frac{\partial}{\partial h} [f_1 p(h, \omega, t)] - \frac{\partial}{\partial \omega} [f_2 p(h, \omega, t)] + \frac{\overset{\circ}{N}}{4m} \left[\frac{\partial^2 (h, \omega, t)}{\omega^2 \partial h^2} + \frac{\partial^2 p(h, \omega, t)}{h^2 \partial \omega^2} \right], \quad (2.18)$$

де

$$f_1(h, \omega) = \frac{P}{m} + g - \frac{e_p S}{m} \exp\left(\frac{e_p Sh \omega}{D_x \omega^2}\right);$$

$$f_2(h, \omega) = \frac{h}{I} + (P + mg) + \frac{M_o}{I} - \frac{1}{I} (2D_x \omega - e_p Sh) \exp\left(\frac{e_p Sh \omega}{D \omega^2}\right);$$

$p(h, \omega, t)$ – нестационарна двомірна щільність ймовірності координат системи;

$\overset{\circ}{N}$ – випадкова складова потужності дисипації енергії.

Таким чином, розв'язання рівняння ФПК (2.3) дозволяє аналітично визначити нестационарну щільність ймовірності $p(h, \omega, t)$. Тоді, використовуючи спільну щільність ймовірності, можна отримати одновимірну щільність ймовірності кожного з параметрів:

$$p(h, t) = \int_{\omega} p(h, \omega, t) d\omega; \quad (2.19)$$

$$p(\omega, t) = \int_h p(h, \omega, t) dh. \quad (2.20)$$

Математичні очікування параметрів режиму буріння визначаються за формулами:

$$\bar{h}(t) = \int_h h(t) p(h, t) dh; \quad (2.21)$$

$$\bar{\omega}(t) = \int_{\omega} \omega(t) p(\omega, t) d\omega. \quad (2.22)$$

Щільність ймовірності для швидкості буріння знаходиться як для математичного добутку двох випадкових величин $V(t) = h(t)\omega(t)$, кожна з яких має свою одномірну щільність ймовірності. Відомо [100], що щільність ймовірності для швидкості буріння виражається через спільний розподіл:

$$p(V, t) = 2 \int_0^{\infty} h^{-1} p(h, V/h, t) dh - 2 \int_0^{\infty} h^{-1} p(h, V/h, t) dh. \quad (2.23)$$

Відповідно, математичне очікування швидкості буріння станка визначається за виразом:

$$\bar{V}(t) = \int_V V(t) p(V, t) dV, \quad (2.24)$$

де $V(t) = h(t)\omega(t)$ – поточна швидкість подачі як добуток розв’язків рівнянь (2.10) і (2.11).

Таким чином, вихідне рівняння Лагранжа (2.7), рівняння ФПК (2.18), їх розв’язки та вирази (2.19)–(2.22) та (2.24) є математичною моделлю випадкового нестационарного процесу буріння свердловин шарошковим інструментом.

Технічні та технологічні параметри процесу буріння визначаються за результатами моделювання з урахуванням випадкового характеру процесу та використанням отриманих виразів.

2.3 Аналітична оцінка параметрів міцності гірських порід на основі кінетичної теорії руйнування

При автоматизованому управлінні режимом буріння шарошковим станком необхідні як знання закономірностей впливу параметрів міцності породи на енергоємність її руйнування, так і уміння розрахувати самі параметри міцності, а для цього потрібний аналітичний підхід [104, 105, 106].

Виконаємо аналітичну оцінку параметрів міцності гірських порід у рамках кінетичної теорії руйнування [105, 108].

Енергоємність e_p руйнування (Дж/м³) гірської породи шарошковим долотом визначається за виразом :

$$e_p = n_\mu RT \exp \left[-\frac{U_o - \gamma \sigma^*}{RT} \right], \quad (2.25)$$

де n_μ – кількість моль в 1 м³ гірської породи, моль/м³; $R = k \cdot N_A$ – універсальна газова стала, Дж/К·моль; T – абсолютна температура, К; k – стала Больцмана, Дж/К; $N_A = 6,022045 \cdot 10^{23}$ – число Авогадро, моль⁻¹; U_o – енергія активації атомів, Дж/моль; γ – структурний коефіцієнт, Дж/(Па·моль); σ^* – межа міцності породи на одноосовий розтяг, Па.

До формули (2.25) входять параметри, які характеризують міцність породи за глибиною свердловини – n_μ , U_o і γ .

Оскільки для розрахунку енергоємності руйнування гірської породи необхідно визначити енергію активації атомів, проведені відповідні розрахунки. Для розрахунку кількості моль в 1 м³ гірської породи (гіпс) використаємо молярну масу M_Σ для полімінеральних сполук (кг/моль), якими є більшість гірських порід:

$$M_{\Sigma} = \sum_{i=1}^k M_i \cdot \frac{n_i}{100}, \quad (2.26)$$

де M_i – молярна маса мономінеральної сполуки, що входить в гірську породу, кг/моль; n_i – склад (за масою) мінералів у полімінеральній сполуці, %.

Маса одного моль мінералу визначається за виразом, кг/моль :

$$M_i = m_i A N_A, \quad (2.27)$$

де m_i – молекулярна маса мінералу (в атомних одиницях маси); $A = 1,6605655 \cdot 10^{-27}$ кг – атомна одиниця маси.

Використовуючи усереднений мінеральний склад гіпсу, розрахована за виразами (2.26) і (2.27) маса одного моль гіпсу, а через неї – кількість моль у 1 кг гіпсу за формулою:

$$n_{\mu} = 1/M_{\Sigma}. \quad (2.28)$$

З урахуванням об'ємної маси і загальної пористості гіпсу розрахунками встановлено, що обсяг одного моль гіпсу складає $5,15 \cdot 10^{-5}$ м³/моль, а кількість моль у 1 м³ гіпсу дорівнює 19417,47.

Експериментально встановлено, що для гірських порід в діапазоні температур до 500 К реалізується інкристалітне руйнування [107, 108], а його домінування дає можливість розглядати утворену поверхню як поверхню розриву міжатомних зв'язків кристалічних решіток всіх мінералів, що входять в гірську породу.

Це дозволило зіставити величину енергії активації атомів U_{oi} (Дж/моль) при руйнуванні гірської породи з ентальпією, віднесеною до кількості атомів у молекулі мінералу [108, 109]:

$$U_{oi} = \Delta H_i / N, \quad (2.29)$$

де ΔH_i – ентальпія породоутворюючого мінералу при $T = 298$ К, Дж/моль; N – кількість атомів у молекулі мінералу.

Для полікристалічної гірської породи, що складається з k мінералів, при її інкристалітному руйнуванні середня енергія активації (Дж/моль) обчислюється за виразом:

$$U_o^p = \sum_{i=1}^k U_{oi} \cdot \frac{n_i}{100}, \quad (2.30)$$

де n_i – вміст i -го мінералу в гірській породі, %.

Розрахункові та експериментальні значення енергії активації руйнування наведено в табл.2.2.

Таблиця 2.2

**Розрахункові та експериментальні значення енергії активації
руйнування**

Матеріал	Ентальпія, кДж/моль	Енергія активації руйнування, кДж/моль	
		розрахунок	експеримент
Al	234	234	226
Zn	147	147	147
Fe	462	462	504
Ti	533	533	508
Ni	421	421	365
Cu	344	344	340
Pb	147	147	168
SiO ₂	911	304	305
NaCl	412	206	206
KCl	437	218	231
LiF	613	306	311
CaCO ₃	1210	242	239
CaSO ₄ ·2H ₂ O	1436	235	247
Граніт	–	201	189
Габродіорит	–	180	185
Кальцит	1208	241	240
Магнетит	1112	224	232

Збіжність розрахункових і експериментальних значень енергії активації руйнування гірських порід можна оцінити коефіцієнтом лінійної кореляції, який становить $r = 0,96$, що свідчить про майже функціональний зв'язок.

Отриманий розрахунковий метод дозволяє з достатньою точністю визначити параметри міцності гірських порід без проведення експериментальних досліджень.

2.4 Оцінка витрат енергоспоживання бурового інструмента при бурінні свердловин для визначення геологічних структур їх колонок щодо розробки конструкцій подовжених зарядів вибухової речовини на закарстованому породному блоці

На сучасному етапі розвитку вибухових технологій на кар'єрах зі складною структурою масивів гірських порід важливою проблемою є розробка конструкцій свердловинних зарядів ВР, які б відповідали геологічній структурі колонок свердловин. Особливі вимоги ставляться до них стосовно проведення вибухових робіт в умовах закарстованих масивів порід, коли практично кожна свердловина на блоці перетинає карстову порожнину, але на практиці ці дані відсутні. Відсутність структурно-геологічних даних щодо площі кар'єрного поля, а особливо – детальних по глибині блоку, що підринається, призводить до непрогнозованих і небезпечних проявів вибуху, результатом чого є підвищений вихід негабариту та негативний вплив сейсмічних хвиль на навколишнє середовище. Тому була поставлена задача щодо розробки критерію для визначення по глибині та площі кар'єрного поля структури масиву порід, які підлягають руйнуванню. Ці дані в повній мірі можливо отримати від моніторингу роботи бурового інструменту в процесі буріння кожної свердловини. Тому для розв'язання поставленої задачі проведено дослідження фізичних процесів при взаємодії бурового інструмента з корінними гірськими породами й шарами пустих порід. Так, енергоспоживання при бурінні різноміцнісних масивів порід по глибині залежить від природних факторів,

таких як міцність корінних порід (корисних копалин) та розміщених в них карстових порожнин тощо.

Розв'язання задачі вибору критерію енергоємності технологічних процесів буріння свердловин на блоці можливе тільки за умови оцінки витрат енергоспоживання в залежності від міцності і структури по глибині свердловини, яку проходить буровий інструмент. Єдиним кількісним показником, який в значній мірі може відображати як властивості пробурених порід, так і параметри сполученого процесу, є критерій (показник) енергоємності. В якості такого критерію оцінки прийнято питому енергоємність [98].

При відпрацюванні уступу його верхня частина порушена вибухом зарядів вище розташованого горизонту в області перебуру свердловин, тому властивості гірського масиву за висотою уступу нестабільні. За результатами вимірювань на станках СБШ-250 (число обертів – 81 за хвилину, кількість повітря, що подається, – $25 \text{ м}^3/\text{хв.}$, тип долота ОКП-243) при довжині штанги 7,5–8 м встановлено, що відносна стабільність буріння порід спостерігалась з глибини 6–8 м [110]. На рис. 2.3 показано зв'язок між енергоємністю та часом буріння порід з коефіцієнтом міцності від 8 до 18–20. Ця залежність апроксимується формулою лінійного вигляду: $e_{\sigma} = 30t$ (де t – час буріння породи, год.).

Аналітичний опис процесу буріння базується на урахуванні основних кінематичних, силових і енергетичних параметрів для аналізу взаємозв'язку продуктивності і енергоємності буріння по всій глибині свердловини.

Згідно з гіпотезою Кірпічова-Кіка енергія, витрачена для однакової зміни форми геометрично подібних і однорідних тіл, змінюється пропорційно об'ємам або масі цих тіл.

Вираз для визначення потужності буріння (кВт) має вигляд

$$N_{\sigma} = N_x \exp(e_p \Pi_{\sigma} / N_x), \quad (2.31)$$

де N_x – потужність холостого ходу обертача бурового станка, кВт; e_p – питома енергоємність руйнування гірської породи шарошковим долотом, Дж/м³; Π_6 – продуктивність бурового станка, м³/с.

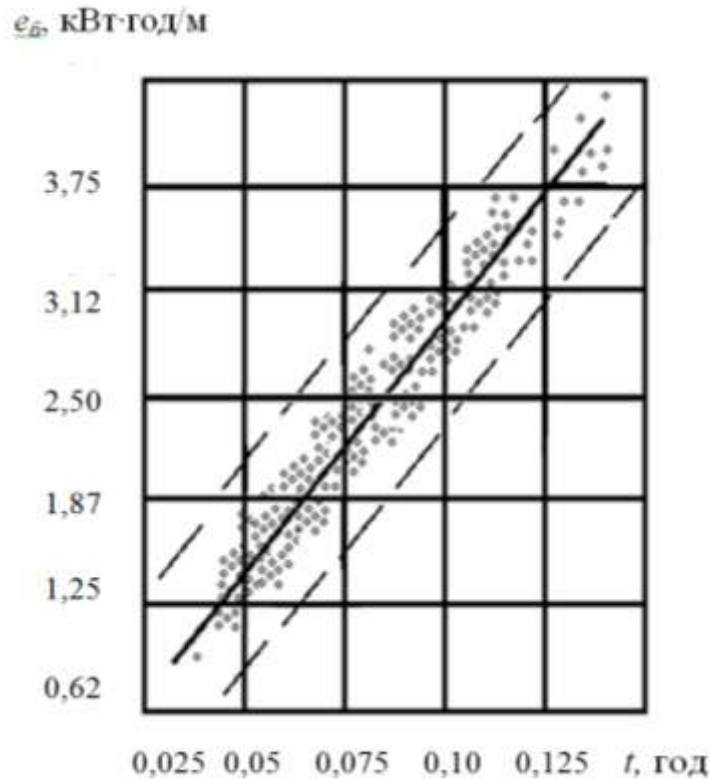


Рис. 2.3. Залежність між питомою енергоємністю e_6 та часом t буріння 1 м свердловини [110]

Порівняння експериментальних значень потужності, яка споживається обертачем станка СБШ-250, з розрахунковими показує їх достатню збіжність (рис.2.4). Із аналізу рис. 2.4 видно, що залежність $N_6=f(\Pi_6)$ має криволінійний характер. Зі збільшенням Π_6 величина N_6 , що витрачається обертачем бурового станка, також зростає. Максимальна потужність досягається при бурінні свердловин в міцних породах (габро) і дорівнює 68 кВт (при $\Pi_6=0,2 \cdot 10^{-3}$ м³/с), а мінімальна – у гіпсах, але при $\Pi_6=1,1 \cdot 10^{-3}$ м³/с вона досягає практично таких самих значень як і при бурінні, наприклад, в габро при $\Pi_6=0,2 \cdot 10^{-3}$ м³/с, тобто 68 кВт.

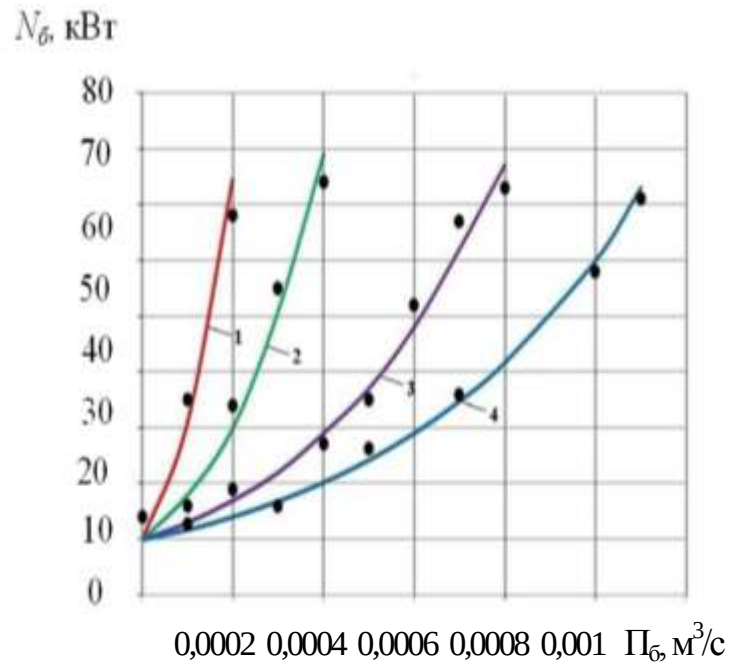


Рис.2.4. Залежність потужності, що споживається обертачем бурового станка СБШ-250, від його продуктивності при бурінні свердловин в суцільних гірських породах: 1 – габро середньозернисті; 2 – вивітрілі граніти; 3 – аргіліти; 4 – гіпси

Потужність буріння, яка витрачається обертачем при проходці свердловин в гранітах і аргілітах, займає проміжне положення (рис. 2.4). При бурінні свердловин в гранітах зі збільшенням Π_δ від $0,1 \cdot 10^{-3}$ до $0,4 \cdot 10^{-3}$ м³/с величина N_δ зростає від 15 до 68 кВт, а в аргілітах при збільшенні Π_δ від $0,1 \cdot 10^{-3}$ до $0,8 \cdot 10^{-3}$ м³/с – від 12 до 68 кВт.

Енергоємність процесу буріння (Дж/м³) свердловин визначають діленням виразу (2.31) на продуктивність бурового станка, тоді

$$e_\delta = \frac{N_x}{\Pi_\delta} \exp\left(\frac{e_p \rho \Pi_\delta}{N_x}\right) \rightarrow \min, \quad (2.32)$$

де ρ – щільність гірської породи, кг/м³.

З рис. 2.5 видно, що залежність енергоємності буріння має екстремальний характер і показує, що для кожної гірської породи з енергоємністю руйнування e_p , існує оптимальне значення продуктивності буріння Π_6^0 , для якого енергоємність мінімальна [111].

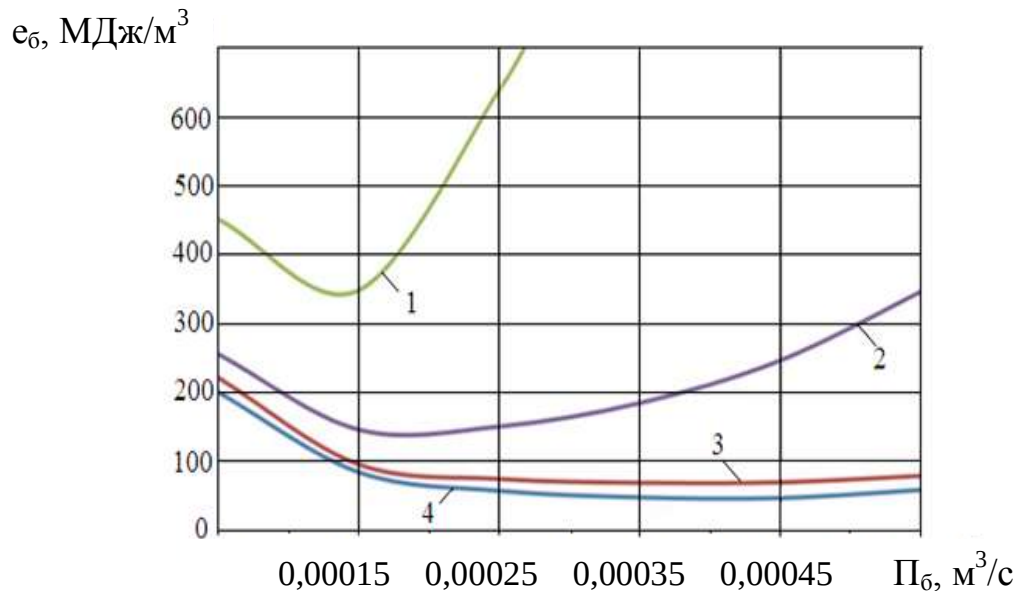


Рис. 2.5. Залежність енергоємності буріння від продуктивності буріння свердловин для різних типів гірських порід: 1 – габро середньозернисті; 2 – вивітрені граніти; 3 – аргіліти середньої щільності; 4 – гіпси

Встановлена функціональна залежність $e_6 = f(\Pi_6)$ для різних гірських порід дозволяє виявити взаємозв'язок кінематичних і силових параметрів, а також мінімум питомої енергоємності даного процесу.

Для умов, що розглядаються, $e_6 = f(\Pi_6)$ аналогічна $N_6 = f(\Pi_6)$. Стосовно габро і гранітів величина e_6 змінюється криволінійно і зростає зі збільшенням Π_6 , набуваючи при цьому екстремального значення. При бурінні свердловин в аргілітах і гіпсах e_6 зі збільшенням Π_6 має практично сталі значення (рис.2.5).

В закарстованих масивах гірських порід (як правило карбонатних – гіпси, вапняки, доломіти) не виключається можливість перетину карстової порожнини

свердловиною. При цьому карст може мати різну форму і відрізнятися геометричними розмірами за його висотою і довжиною (рис. 2.6).

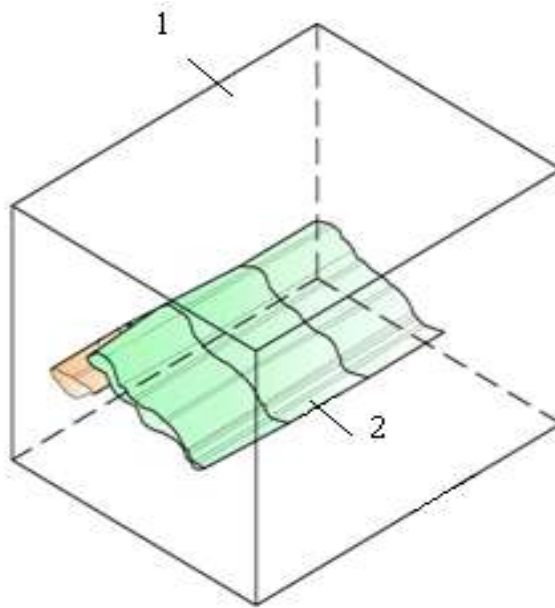


Рис 2.6. Елемент гірського масиву (1) з карстовою порожниною (2)

На рис 2.7 показано загальний вигляд закарстованого блоку порід, що підривається, з розрізами по рядах свердловинних зарядів.

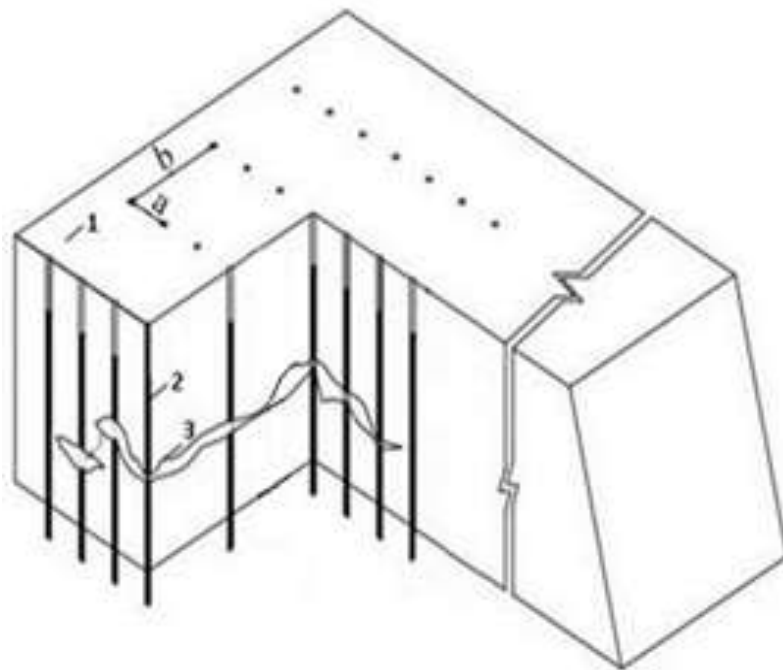


Рис. 2.7. Схема закарстованого блоку порід з перерізами по рядах свердловинних зарядів ВР: 1 – блок, що підривається; 2 – свердловинний заряд

ВР; 3 – карст; a – відстань між зарядами в ряді, м; b – відстань між рядами зарядів, м

На рис 2.8 наведено розрізи по кожному ряду зарядів ВР окремо (4 ряди по 7 свердловин у ряді). При цьому для кожної свердловини по рядах у блоці порід, що підривається, наведено потужності карстової порожнини, яка коливається в межах від 0,3 до 1,0 м (табл. 2.3). Перший та сьомий ряди свердловин знаходяться в суцільному масиві (без карстових порожнин). За свердловинами 2–6 на уступі кар'єра визначено глибину залягання карстової порожнини, тобто відстань від вільної поверхні уступу до її покрівлі (табл. 2.4).

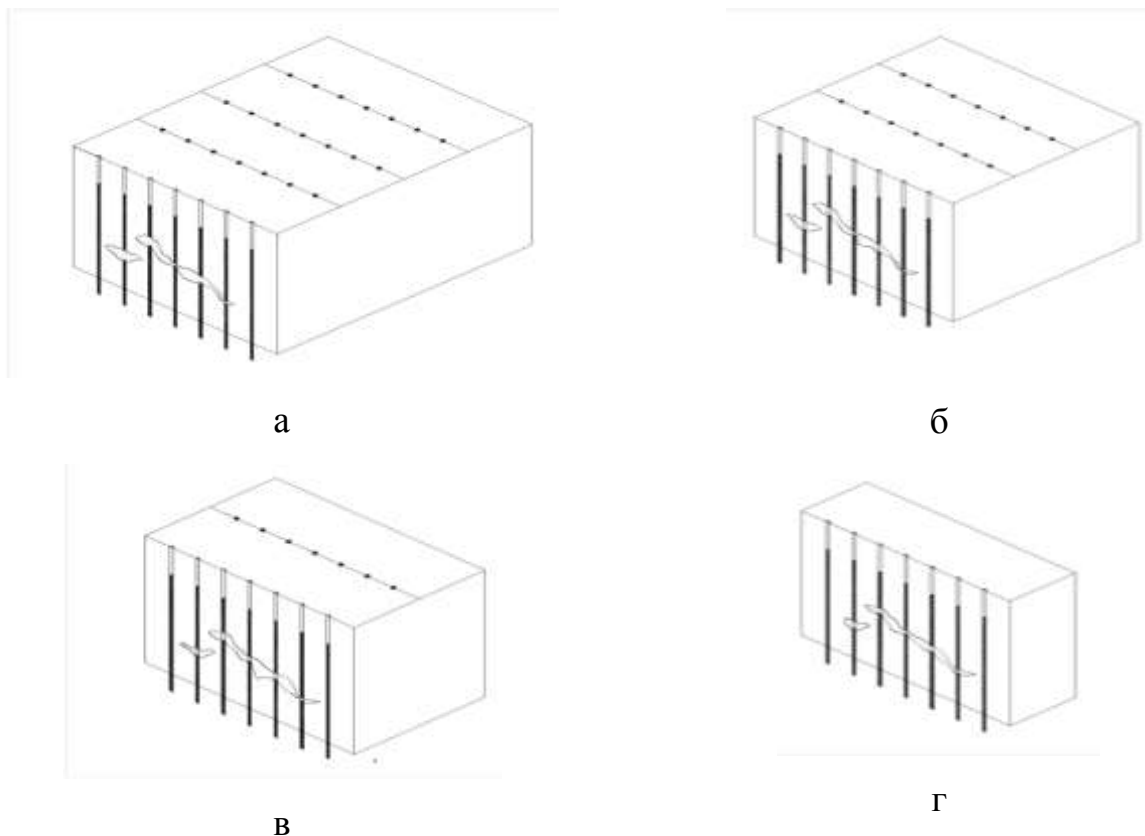


Рис.2.8. Розрізи по рядах свердловин при їх бурінні на блоці: а – по 1-му ряду; б – по 2-му ряду; в – по 3-му ряду; г – по 4-му ряду

Наявність карсту в гірському масиві значною мірою впливає на стабільність буріння свердловин зі збільшенням їх глибини.

При перетині карсту свердловиною, у місці його розташування відбувається різка втрата потужності буріння, яка за висотою карсту дорівнює потужності холостого ходу обертача бурового станка.

Таблиця 2.3

**Потужності карстових порожнин, одержані за величиною потужності
обертача бурового станка при бурінні свердловин**

№ ряду свердловин	Свердловина та потужність карстової порожнини, м						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1,0	0,9	0,28	0,7	0,3	0
2	0	0,85	0,83	0,4	0,74	0,27	0
3	0	0,7	0,75	0,5	0,6	0,34	0
4	0	0,74	0,6	0,45	0,62	0,4	0

Таблиця 2.4

Глибина залягання карстової порожнини, м

№ ряду свердловин	№ свердловини у ряді						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0	<u>7,24</u> 8,24	<u>5,26</u> 6,16	<u>6,9</u> 7,18	<u>6,91</u> 7,61	<u>8,39</u> 8,69	0
2	0	<u>7,37</u> 8,22	<u>5,43</u> 6,26	<u>6,9</u> 7,3	<u>6,93</u> 7,67	<u>8,25</u> 8,52	0
3	0	<u>7,92</u> 8,62	<u>5,61</u> 6,36	<u>6,6</u> 7,1	<u>6,93</u> 7,53	<u>8,25</u> 8,59	0
4	0	<u>7,92</u> 8,66	<u>5,61</u> 6,21	<u>6,6</u> 7,05	<u>6,93</u> 7,55	<u>8,25</u> 8,65	0

Примітка. Цифра у чисельнику означає глибину залягання покрівлі карстової порожнини, у знаменнику – підшви карстової порожнини

Подальше буріння свердловин відбувається зі збільшенням потужності обертача. У табл. 2.5 наведено результати моніторингу потужності обертача бурового станка СБШ-250 при бурінні 7-ми свердловин глибиною 12,5 м для 1-го ряду блоку порід, що підривається, у закарстованих гіпсах. Як наочний приклад, на рис. 2.9 наведено діаграму зміни потужності при бурінні свердловини №2, а на рис. 2.10 – її графічну залежність $N_{\sigma}=f(l_{\text{св}})$ у закарстованих гіпсах Щирецького кар'єру.

З діаграми і графіка видно, що при бурінні свердловини №2 максимальна потужність обертача 68 кВт досягається на глибині 6 м, потім відбувається

спад потужності до 9,8 кВт (потужність холостого ходу) з подальшим її підвищенням до значення 67 кВт на глибині 12,5 м.

Таблиця 2.5

Результати моніторингу витрат потужності обертача бурового станка при бурінні свердловин у закарстованих гіпсах

Св.1		Св.2		Св.3		Св.4		Св.5		Св.6		Св.7	
$l_{\text{св}}, \text{м}$	$N_{\text{б}}, \text{кВт}$	$l_{\text{св}}, \text{м}$	$N_{\text{б}}, \text{кВт}$	$l_{\text{св}}, \text{м}$	$N_{\text{б}}, \text{кВт}$	$l_{\text{св}}, \text{м}$	$N_{\text{б}}, \text{кВт}$	$l_{\text{св}}, \text{м}$	$N_{\text{б}}, \text{кВт}$	$l_{\text{св}}, \text{м}$	$N_{\text{б}}, \text{кВт}$	$l_{\text{св}}, \text{м}$	$N_{\text{б}}, \text{кВт}$
1	55	1	55	1	56	1	57	1	54	1	55	1	57
2	61	2	62	2	61	2	62	2	61	2	63	2	63
3	65	3	64	3	63	3	64	3	65	3	64	3	64
4	67	4	66	4	66	4	67	4	66	4	66	4	66
5	68	5	67	5	67	5	68	5	67	5	67	5	68
6	65	6	68	5,26	9,8	6	67	6	68	6	68	6	65
7	68	7,24	9,8	6,16	9,8	6,9	9,8	6,91	9,8	7	67	7	68
8	67	8,24	9,8	8	49	7,18	9,8	7,61	9,8	8,39	9,8	8	66
9	65	9	50	9	60	9	61	9	59	8,68	9,8	9	64
10	67	10	64	10	65	10	64	10	62	10	60	10	67
11	65	11	67	11	67	11	67	11	66	11	65	11	65
12	68	12	68	12	68	12	68	12	67	12	67	12	68
12,5	68	12,5	67	12,5	68	12,5	67	12,5	68	12,5	66	12,5	68

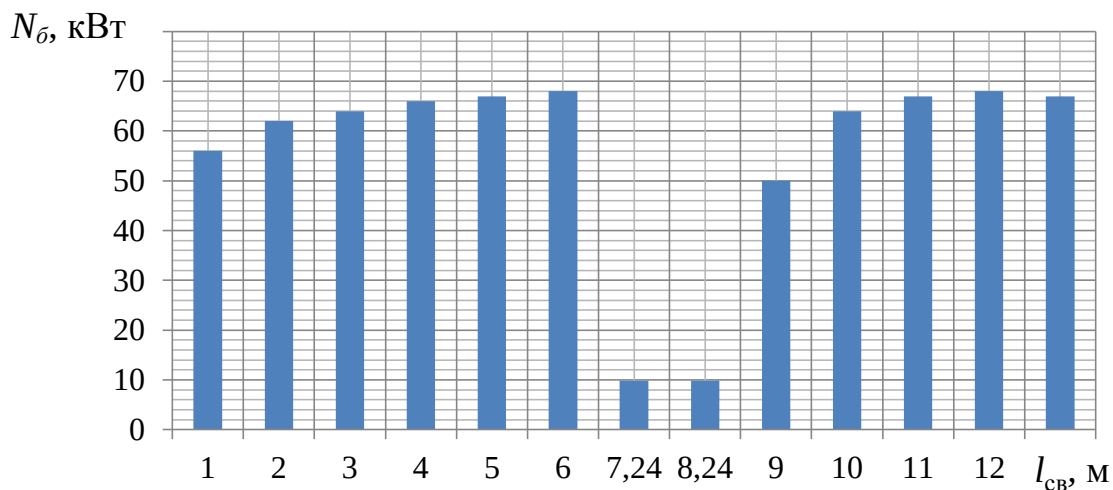


Рис. 2.9. Характерна діаграма зміни потужності, витраченої обертачем за глибиною, при бурінні свердловини №2 в закарстованих гіпсах

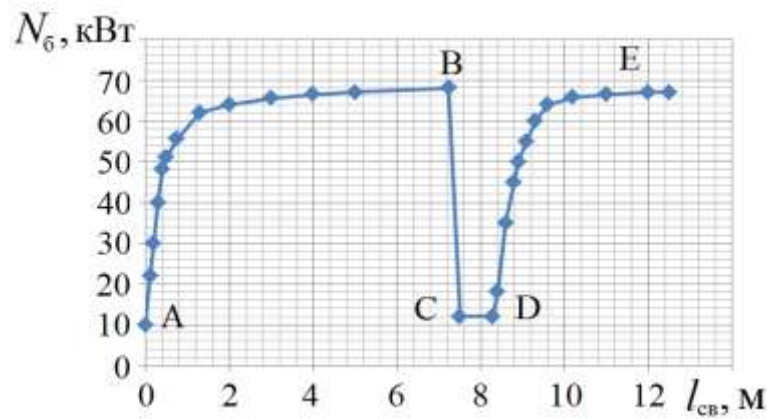


Рис. 2.10. Характерний графік зміни N_b від $l_{св}$ в гіпсі з карстовою порожниною: АВ – початок буріння; ВС – вихід на стелину карстової порожнини; CD – проходження карстової порожнини (холостий хід обертача); DE – продовження буріння свердловини до кінцевої глибини

Залежність $N_b = f(l_{св})$ апроксимується рівнянням

$$N_b = -\frac{N_{max} - N_{xx}}{l_n^2} l_{св}^2 + 2 \frac{N_{max} - N_{xx}}{l_n} l_{св} + N_{xx}, \quad (2.33)$$

де N_{max} – максимальна потужність буріння, кВт; N_{xx} – потужність холостого ходу обертача, кВт; l_c – глибина свердловини при N_{max} , м; $l_{св}$ – глибина свердловини в заданій точці, м.

Використовуючи графік (рис. 2.10) і розрахункові значення N_b (2.33), можливо встановити перехід від однієї категорії буріння до іншої, зі збільшенням глибини буріння. При цьому кожній категорії буримості відповідає енергоемність підривання порід з подальшим прогнозуванням як режимів буріння, так і параметрів буровибухових робіт на наступні періоди розробки родовища. Крім цього, взаємозв'язок буримості і висаджуваності

гірських порід дозволяє проектувати раціональні конструкції свердловинних зарядів, як джерело збудження сейсмічних коливань і одночасно проектувати сейсмобезпечні параметри масових вибухів на кар'єрах, що розроблюють закарстовані родовища корисних копалин.

Таким чином, використовуючи вищенаведену методологію аналізу результатів моніторингу потужності, витраченої буровим станком у процесі буріння блоку, що підлягає підриванню, була визначена геологічна структура колонок кожної свердловини з подальшою побудовою перерізу блоку по рядах свердловинних зарядів (рис.2.8) у закарстованому масиві. При цьому для кожної свердловини по рядах у блоці, що підривається, в процесі буріння одержано значення потужності карстової порожнини, які коливались в межах від 0,3 м до 1,0 м. Декілька свердловин знаходились в суцільному масиві №№1, 7 (без карстових порожнин), а для більшості свердловин на уступі визначено глибину залягання карстової порожнини, тобто відстань від вільної поверхні уступу до її покрівлі. В результаті проведених аналітичних і експериментальних досліджень з визначення геологічних структур колонок свердловин за енергоємністю процесу їх буріння розроблено макет конструкції подовженого заряду вибухової речовини, розділеного повітряним проміжком в карстовій частині свердловини, що наведено на рис. 2.11. Запропонована конструкція свердловинного заряду ВР була покладена в основу досліджень щодо розробки нового способу вибухового руйнування складноструктурних масивів гірських порід, наведеного нижче.

Таким чином, за енерговитратами бурового станка на буріння погонного метра свердловини одержують її геологічну структуру, відповідно якої в роботі була розроблена конструкція свердловинного заряду, що забезпечує в часі і просторі локалізації енергії вибуху по глибині свердловини лише в межах наявності корінних порід та відсутності ВР, де є карстові порожнини. В основу розробки конструкції свердловинного заряду поставлено задачу підвищення ефективності відбивки закарстованих породних масивів та зниження сейсмоефекту за рахунок направлення енергії вибуху на корисну руйнівну дію,

шляхом перерозподілу її за глибиною свердловини, розміщенням заряду ВР в місцях залягання корінних порід, типом вибухових речовин, який відповідає міцності гірської породи та відсутності ВР в місцях розташування карстових порожнин або прошарків м'яких порід. В місцях знаходження карстових порожнин розміщуються повітряні проміжки.

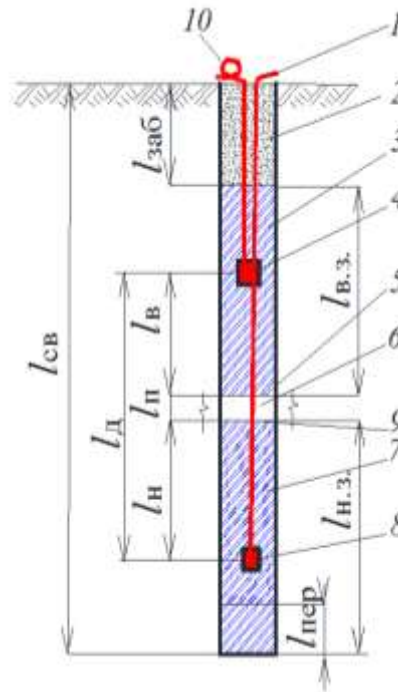


Рис. 2.11. Макет конструкції подовжених зарядів ВР у свердловині з карстовою порожниною: 1 – нитка хвильоводу нижнього бойовика (8); 2 – забивка; 3, 7 – верхній та нижній подовжені заряди ВР, відповідно; 6 – карстова порожнина; 4, 8 – верхній та нижній бойовики, відповідно; 5, 9 – стелю та підшва карстової порожнини (6), відповідно; 10 – петля в хвильоводі верхнього бойовика (4) для уповільнення; $l_{\text{д}}$ – відстань від верхнього (4) до нижнього (8) бойовика, м; $l_{\text{п}}$ – потужність карстової порожнини, м; $l_{\text{н}}$, $l_{\text{в}}$ – відстані від нижнього (8) та верхнього (4) бойовиків до підшови (9) та стелі (5) карстової порожнини (6), відповідно, м; $l_{\text{в.з.}}$, $l_{\text{н.з.}}$ – довжина верхнього і нижнього подовжених зарядів відповідно, м.

Для обґрунтування співвідношення швидкостей поширення детонаційної хвилі нижнього та верхнього детонаторів і визначення інтервалів їх внутрішньосвердловинного ініціювання, щодо створення умови формування посиленого поля напруг (зустрічного ініціювання) в зоні розміщення корінних порід та не допущення використання енергії вибуху на негативну роботу (вихід негабариту, розліт породи, підвищений сейсмоефект) в зоні включення з порожнинами надалі були проведені аналітичні дослідження, результати яких наведено в наступному розділі.

Висновки до розділу 2

1. Проведена оцінка ступеня закарстованості гіпсових породних масивів за результатами обстеження відкосів уступів після масових вибухів у кар'єрах. Встановлено залежності зміни внутрішньої закарстованості від потужності карстів і глибини їх залягання в гірському масиві.

2. Розроблена модель процесу буріння гірської породи шарошковим долотом, яка представляє сукупність стохастичних диференціальних рівнянь (Лагранжа, Ейлера, Гамільтона-Якобі або їм еквівалентних) і може використовуватись для визначення технічних і технологічних параметрів процесу буріння свердловин у взаємозв'язку з прогнозованими конструкціями зарядів для цілеспрямованого збудження сейсмічних хвиль.

3. Обґрунтована методика аналітичної оцінки параметрів міцності гірських порід на основі кінетичної теорії руйнування, що містить визначення енергоємності буріння з використанням розрахунку молярної маси для полімінеральних сполук стосовно до гірських порід та кількості моль в 1 м^3 гірської породи; встановлена залежність енергоємності буріння різних типів порід від продуктивності буріння свердловин у кар'єрах.

4. На основі результатів аналітичних і експериментальних досліджень встановлено:

- потужність обертача бурового станка експоненціально залежить від продуктивності буріння;
- питома енергоємність буріння конкретної гірської породи екстремально залежить від його продуктивності;
- оптимальному значенню продуктивності буріння відповідають мінімальні значення енергоємності процесу;
- обґрунтована залежність $N_6=f(l_{cb})$ стосовно до процесу буріння вибухових свердловин у закарстованих породах необхідна для встановлення взаємозв'язку енергоємностей буріння і підривання з подальшим прогнозуванням конструкцій зарядів як джерела збудження сейсмічних коливань і сейсмобезпечних параметрів промислових вибухів на відкритих гірничих роботах;
- запропоновано спосіб побудови геологічної структури колонки кожної свердловини, пробуреної на блоці, який підлягає підриванню, за моніторингом потужності, витраченої обертачем у процесі буріння, та визначення енергоємності для складання паспорту свердловинних зарядів ВР та макету їх конструкції;

5. Створено математичну модель процесу руйнування гірської породи, яка відрізняється тим, що сприяє подальшому розвитку підготовки паспорту свердловини, з подальшим формуванням конструкції свердловинного заряду: в зонах з максимальною енергоємністю буріння розміщують заряд ВР, а мінімальною – повітряні проміжки.

6. Моніторинг потужності, витраченої буровим станком у процесі буріння блоку, що підлягає підриванню, є джерелом достовірної інформації для визначення структури колонок свердловин у закарстованих масивах порід, результати якого можливо використовувати для розроблення практичних рекомендацій щодо визначення конструкцій свердловинних зарядів ВР і параметрів буропідривних робіт, застосування яких дозволить зменшити негативний руйнівний і сейсмічний впливи масових вибухів на навколишнє природне середовище.

Матеріали даного розділу опубліковані в роботах [100, 104, 105, 109, 127, 136].

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА СПОСОБУ ВІДБИВКИ ЗАКАРСТОВАНИХ ПОРОДНИХ МАСИВІВ І ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ У КАР'ЄРАХ

3.1 Концепція зустрічного формування детонаційних хвиль ініціюванням свердловинного заряду вибухової речовини, розділеного повітряною порожниною

Процес ініціації суцільного свердловинного заряду складається з кількох етапів, основним з яких є безпосередня передача ініціюючого імпульсу від бойовика (проміжного детонатора) до заряду ВР [112]. В сучасній практиці масового вибуху, у відповідності з НПАОП О.ОО-1.66-13 «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» на блоках з глибиною свердловин більше 10 м, їх заряджання проводиться розміщенням двох бойовиків у різних частинах свердловинного заряду. В цьому випадку формування полів напружень в процесі детонації ВР здійснюються з дублюючою ініціацією заряду за рахунок додаткового бойовика. При цьому напруження відповідно зоні енергетичного потоку поширюється по всій довжині заряду. Стосовно конструкції подовжених зарядів, розділених повітряним проміжком в частині свердловини з карстовою порожниною (рис. 2.11), застосування її у зв'язку з відсутністю детальних геолорозвідувальних даних по глибині і площі в границях кар'єрного поля, що унеможлює побудову геологічних структур колонок кожної свердловини у границях блока, який підривається. Тому на практиці, зазвичай, заряджання свердловин з порожнинами проводиться суцільним зарядом ВР. Це призводить до непрогнозованих і небезпечних проявів вибуху, який не може забезпечити якісного подрібнення міцних шарів гірських порід, оскільки поширення

енергетичного потоку в заряді під час його детонації буде спрямовано не лише в корінні породи, але й у шари, представлені карстовими включеннями, що призводить до некерованого руйнування масиву в цій зоні та додаткового збудження сейсмічних хвиль.

При короткоуповільненому вибуху свердловинних зарядів з карстовими порожнинами вимагається обмеження бризантної дії зарядів вибухових речовин в місці перетину корінних порід з карстом. Це досягається включенням в конструкцію заряду спеціальних елементів у порожнинах, як наприклад, – повітряних проміжків. Аналіз попередніх досліджень при вирішенні задачі знаходження радіусу зони руйнування порід навколо свердловини при вибуху в ній нижнього і верхнього зарядів ВР показав, що необхідним є визначення тисків на їх контактах «заряд-порожина». При цілковитому заповненні свердловини у верхній і нижній її границях вибуховою речовиною тиски (P_n , P_v) по радіусу в радіальному напрямку у верхній і нижній границях порожнини від цих зарядів по Ф.А. Бауму та ін. [112] можливо визначати за формулами:

$$P_n = \frac{1}{4} \rho_n \cdot D_n^2; \quad P_v = \frac{1}{4} \rho_v \cdot D_v^2, \quad (3.1)$$

де ρ_n , ρ_v – щільність нижнього і верхнього зарядів ВР відповідно, г/см³; D_n ,

D_v – швидкість детонації нижнього і верхнього зарядів ВР відповідно, м/с.

Дані формули можливо використовувати на кар'єрах при вирішенні задач руйнування гірських порід з карстовими порожнинами. Розміщення вибухових речовин у місцях розташування карстових порожнин небажане через значне розширення порожнини, що істотно знижує якість подрібнення і підвищує вихід негабариту. Для усунення цього недоліку, як зазначалося вище, в конструкції заряду необхідно передбачити спеціальний елемент у вигляді порожнини з повітряного проміжку або інертної речовини (вода, гума, гранвідсів, буровий шлам), що забезпечить низький показник енергії вибуху.

В технологічному плані інтенсивність руйнування гірського масиву з карстовими порожнинами пов'язана з місцями розташування подовжених зарядів, їх напрямком та інтервалами ініціювання і параметрами хвиль напружень, які тиснуть як на корінні породи, так і на стінки карстової порожнини, тобто це пов'язано з тиском і одночасною його дією на стінки порожнини. Умовою, за якої відбудеться змикання порожнини, є забезпечення одночасного зустрічного тиску при приході хвиль напружень до підосви карстової порожнини, від ініціювання нижнього бойовика, та до стелини – від ініціювання верхнього. Тут маєтись на увазі тиск в ударній хвилі (УХ) або хвилі напружень, породженій детонаційною хвилею цих двох бойовиків. Отже, динамічні процеси в стінках карстової порожнини як результат зустрічної дії на них детонаційних хвиль нижнього та верхнього бойовиків – це віддзеркалення процесів у торцевих зонах подовжених зарядів, оскільки тиск в УХ – це похідна тиску в детонаційній хвилі, на силові параметри якої істотний вплив спричиняють швидкості детонації подовжених зарядів від бойовиків.

У зв'язку з цим з'явилася ідея двоточної зустрічної ініціації заряду, від нижнього до верхнього бойовиків, що при одночасному формуванні радіальних полів напружень (тисків) на нижній і верхній границях карстової порожнини створює умови її змикання.

3.2 Обґрунтування і розрахунок інтервалів уповільнення між подовженими зарядами вибухової речовини, розділеними карстовою порожниною, для створення умов змикання її стелини й підосви

У випадку розробки деяких корисних копалин при вибухових роботах потрібне зниження бризантної дії зарядів ВР на середовище, що руйнується, наприклад, в закарстованих масивах порід. На практиці це досягається введенням до складу ВР низькощільних добавок, включенням у конструкцію заряду спеціальних елементів у вигляді проміжків (повітряних або заповнених

інертним матеріалом), зменшенням діаметра шпурів (свердловин), застосуванням ВР з низькою бризантністю [113].

У дослідженнях [114] наведено спосіб зниження бризантної дії зарядів ВР на суцільне середовище, яке руйнується. Він полягає у формуванні в заряді радіального зазору і заповненні його інертним матеріалом (повітрям, водою, пінополістиролом, гумою тощо).

При вирішенні задачі слід зауважити, що формула (3.1) може застосовуватися в разі заповнення частини свердловини ВР без порожнини, тобто коли об'єми заряду V_3 і свердловини V_c на даній ділянці дорівнюють один одному. Однак, зважаючи на зазначені вище конструкційні особливості свердловини “подовжений заряд – порожнина – подовжений заряд”, об'єм V_3 буде завжди меншим об'єму V_c , а усталений тиск P_1 буде нижчим P_n . Оскільки стиснені продукти вибуху в свердловині розширюються за законом, що описується рівнянням адіабати Пуассона $PV^g = \text{const}$ [113], зв'язок між тиском на момент закінчення детонації ВР P_1 і тиском P_n можна представити рівнянням:

$$P_1 V_1^g = P_n V_n^g, \quad (3.2)$$

де V_n^g – об'єм заряду ВР, що дорівнює $V_n^g = r_o^2 l_o$,

r_o^2 – радіус заряду, м; l_o – довжина заряду, м; V_1^g – об'єм продуктів вибуху на момент закінчення детонації ВР, м³; g – показник адіабати Пуассона

$$g = \sqrt{1 + \frac{D^2}{2Q}}, \quad (3.3)$$

Q – теплота вибуху, кДж.

Тоді середній тиск на стінці свердловини при заряджанні свердловини з карстовою порожниною, заповненою повітрям визначається:

$$P_{cp} = \frac{r_{BP} D^2}{g+1} + \frac{r_o^2 l_o}{r_c^2 l_{cv}} \left(\frac{4}{5} \right)^{2g-3}, \quad (3.4)$$

де r_c – радіус свердловини, м; l_{cv} – довжина свердловини, м.

Позитивний вплив повітряного зазору на регулювання параметрів вибуху доведено також академіком Н.В. Мельниковим [115]. Він досліджував загасання хвиль напружень, що генеруються вибухом зосереджених зарядів і зарядів з повітряним проміжком. Основна відмінність імпульсу, отриманого від заряду з повітряним проміжком, полягає в появі двох максимумів, які прямують з певним інтервалом. Експерименти показали, що час проходження і амплітуди імпульсів залежать лише від величини (R/r_o) за умови незмінності ваги заряду. Отже, зміна цієї величини призводить до якісної зміни форми імпульсу і його тривалості. Якщо величина першого максимуму зменшується зі збільшенням відношення (R/r_o) , то тривалість імпульсу в цілому виявляється пропорційною величині цього відношення.

Аналогічним способом зниження піку тиску в зарядній свердловині може відбуватись, коли карстова порожнина буде заповнена інертною речовиною (вода, глина, буровий шлам і т. ін.). У даному випадку заповнена карстова порожнина відіграє роль демпфера і знижує динамічний вплив газоподібних продуктів детонації на стінки свердловини [116]. Поширення УХ в інших інертних матеріалах істотно відрізняється від поширення її в повітрі. Так, кількість енергії, що передається продуктами детонації в повітряну ударну хвилю, в кілька разів менша, ніж поширюється у воді. У повітряному середовищі ударна хвиля загасає значно більшою мірою, ніж у воді, і має менший тиск [117]. Так, тиск на контакті «подовжений заряд – порожнина» може бути визначено за формулою:

$$P_p = 2AP_n / (A + A_{BP}), \quad (3.5)$$

де $A = C \rho$ – акустична жорсткість прошарку, $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$ (C – швидкість поширення поздовжньої хвилі в матеріалі прошарку, м/с ; ρ – щільність прошарку, кг/м^3);
 $A_{BP} = \rho_{BP} D$ – детонаційний імпеданс, $\text{кг / м}^2 \cdot \text{с}$.

Таким чином, результати проведених досліджень щодо вивчення характеру проходження ударних хвиль через прошарки, які складаються з матеріалів з різною акустичною жорсткістю, дають можливість встановити їх вплив на результати вибуху масивів порід з карстовими включеннями та визначитись щодо ефективних конструкцій зарядів. Так, карстові порожнини, заповнені повітрям, ефективні при вибухах в гіпсових масивах порід, оскільки призводять до зниження дії ударної хвилі в цій зоні, що позитивно вплине на якість подрібнення. Однак такий спосіб потребує додаткових детальних геологічних даних про глибину і площу кар'єрного поля, а насамперед – про колонки свердловин в границях блоку, який підривається. Це призведе до спрощення заряджання свердловин, у яких необхідно створювати повітряні проміжки в місцях перетину корінних порід з карстовими порожнинами.

В практиці проведення масового вибуху, для ініціації заряду свердловини застосовується два бойовики, які зазвичай розміщуються у верхній і нижній частинах заряду. За наявності карстової порожнини місце і розміри її можливо визначити за моніторингом потужності, що витрачається обертачем бурового станка в процесі буріння блоку за методом, наведеним у розділі 2. Це дозволяє проводити зарядження свердловини, в якій подовжені заряди та бойовики розміщуються у верхній та нижній її частинах.

На основі запропонованого в попередньому розділі макету конструкції подовжених зарядів ВР у свердловині з карстовою порожниною (рис.2.11) проведемо дослідження з розробки способу вибухового руйнування закарстованих породних масивів, який включає буріння серії свердловин з визначенням потужності, витраченої обертачем бурового станка, структур їх геологічних колонок та розміщення у цих колонках подовжених зарядів ВР з

хвилеводами та бойовиками під і над карстовою порожниною, засипкою забивки, монтаж мережі короткоуповільненого підривання.

Для обґрунтування одночасного приходу детонаційних хвиль від нижнього бойовика до підшови, а від верхнього – до стелини карстової порожнини і для визначення інтервалів їх внутрішньосвердловинного уповільнення була реалізована наведена вище концепція двоточкового зустрічного ініціювання конструкції свердловинного заряду, розділеного карстовою порожниною.

З метою реалізації концепції зустрічного формування полів напружень ініціюванням таких конструкцій свердловинних зарядів проведемо аналітичні дослідження процесу зустрічної детонації всередині свердловини з використанням методики, розробленої в 2-му розділі, застосувавши нову конструкцію свердловинного заряду, наведену на рис. 2.11. При цьому поширення зустрічних детонаційних хвиль проходить від нижнього бойовика в бік підшови, а від верхнього – в бік стелини карстової порожнини.

Для обґрунтування конструкцій таких свердловинних зарядів ВР проведемо вивчення механізму перерозподілу в часі й просторі зустрічного поля напружень по висоті подовжених зарядів ВР та границях паралельно підшві та стелини карстової порожнини з метою створення умов для її змикання. Це дозволить забезпечити ефективне руйнування корінних порід та уникнути бризантної дії вибуху в повітряному проміжку порожнини.

В першу чергу, для реалізації зустрічного формування полів напружень проведемо розрахунки інтервалів уповільнення нижнього (8) і верхнього (4) ініціюючих бойовиків, із урахуванням місця їх розташування (рис. 2.11).

Умовою одночасного виникнення напружень на стінках стелини та підшови карстової порожнини є рівність часу приходу детонаційних хвиль від нижнього бойовика до підшови (t_n , с), а від верхнього – до стелини (t_b , с) карстової порожнини описується рівняннями у вигляді:

$$t_{\text{в}} + t_{\text{дод}} = t_{\text{н}} \quad \text{або} \quad ((l_{\text{в}}/D_{\text{вр}}) + t_{\text{в}}^{\text{д}}) + t_{\text{дод}} = ((l_{\text{н}}/D_{\text{вр}}) + t_{\text{н}}^{\text{д}}), \quad (3.6)$$

де $l_{\text{н}}$ – відстань від нижнього бойовика до підосви карсту, м; $D_{\text{вр}}$ – швидкість детонації застосованої ВР, м/с; $t_{\text{н}}^{\text{д}}$ і $t_{\text{в}}^{\text{д}}$ – інтервали уповільнення нижнього і верхнього детонаторів, відповідно, с; $l_{\text{в}}$ – відстань від верхнього бойовика до стелини карсту; $t_{\text{н}} = (l_{\text{н}}/D_{\text{вр}}) + t_{\text{н}}^{\text{д}}$ і $t_{\text{в}} = (l_{\text{в}}/D_{\text{вр}}) + t_{\text{в}}^{\text{д}}$ – час приходу детонаційних хвиль від нижнього бойовика до підосви та від верхнього – до стелини карстової порожнини, відповідно, с.

Визначення додаткового часу уповільнення ($t_{\text{дод}}$) верхнього бойовика по відношенню до нижнього, щодо дотримання умов одночасного приходу детонаційних хвиль напружень до стелини та підосви карстової порожнини для змикання карстової порожнини проводилось за виразом:

$$t_{\text{дод}} = ((l_{\text{н}}/D_{\text{вр}}) + t_{\text{н}}^{\text{д}}) - ((l_{\text{в}}/D_{\text{вр}}) + t_{\text{в}}^{\text{д}}), \quad \text{с}. \quad (3.7)$$

Додатковий час уповільнення верхнього проміжного бойовика, що визначається за формулою (3.7), конструктивно виконували за рахунок створення петлі в хвилеводі верхнього бойовика (поз. 10) рис.2.11.

Із рівняння (3.6) можливо одержати залежності для визначення інтервалів уповільнення нижнього детонатора ($t_{\text{н}}^{\text{д}}$) та верхнього ($t_{\text{в}}^{\text{д}}$), які забезпечать одночасну дію хвиль напружень на нижню та верхню границі карстової порожнини відповідно:

$$t_{\text{н}}^{\text{д}} = t_{\text{н}} - (l_{\text{н}}/D_{\text{вр}}), \quad \text{с}; \quad t_{\text{в}}^{\text{д}} = t_{\text{в}} - (l_{\text{в}}/D_{\text{вр}}), \quad \text{с}. \quad (3.8)$$

В табл. 3.1. наведено розрахункові значення $t_{\text{в}}$ і $t_{\text{н}}$ для різних типів ВР ($D_{\text{вр}}$ змінюється від 2500 до 4500 м/с) при різній відстані бойовиків до границь

карстової порожнини, а їх графічна інтерпретація як $t_b, t_n = f(D_{вр}, l)$ наведена на рис. 3.1 при $t_n^Д = t_b^Д$.

Таблиця 3.1

Розрахункові значення t_b и t_n , мс

l_b , м	Час уповільнення (мс) в залежності від $D_{вр}$, м/с				
	2500	3000	3500	4000	4500
1,3	5,0	4,2	3,6	3,2	2,8
1,5	6,0	5,0	4,2	3,8	3,3
1,7	6,8	5,7	4,9	4,3	3,8
2,0	8,0	6,7	5,7	5,0	4,4
l_n , м	2500	3000	3500	4000	4500
1,5	5,8	4,9	4,2	3,7	3,2
1,7	6,8	5,7	4,9	4,3	3,8
2,0	8,0	6,7	5,7	5,0	4,4
2,5	10,0	8,3	7,1	6,3	5,6

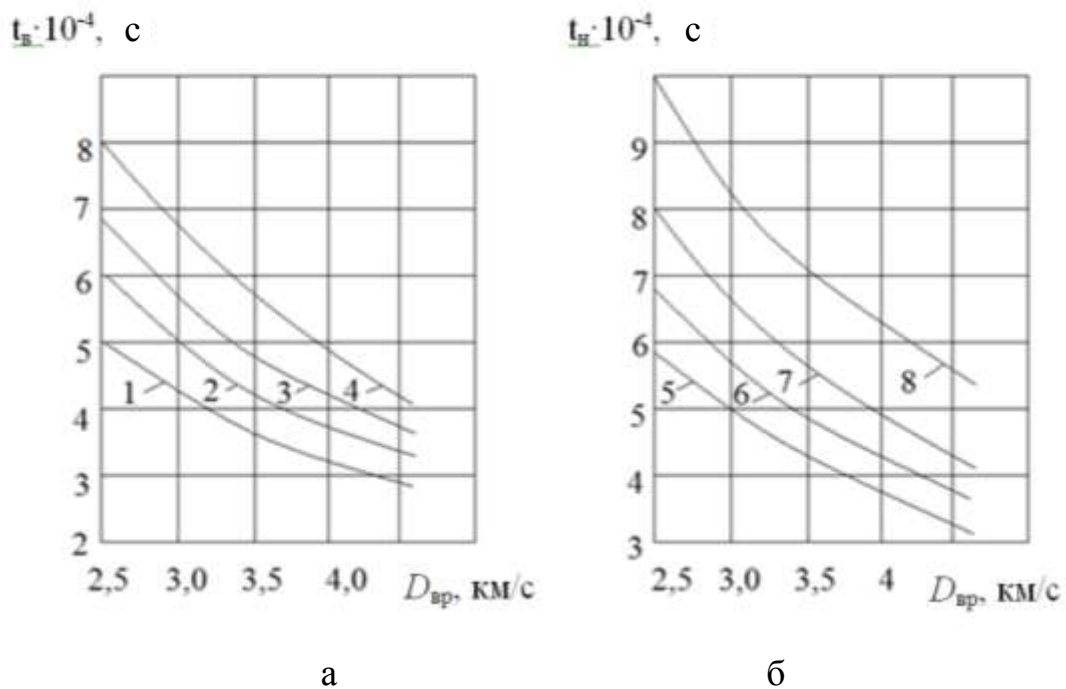


Рис. 3.1. Залежність зміни t_b від $D_{вр}$ при l_b : 1 – 1,3 м; 2 – 1,5 м; 3 – 1,7 м; 4 – 2,0 м (а) та t_n від $D_{вр}$ при l_n : 5 – 1,5 м; 6 – 1,7 м; 7 – 2,0 м; 8 – 2,5 м (б)

З аналізу табл. 3.1 і рис. 3.1 видно, що t_b і t_n змінюються за криволінійною залежністю. Зі збільшенням швидкості детонації ВР час приходу детонаційних хвиль як для верхнього заряду, так і для нижнього зменшується в середньому в обох випадках у 1,8 раза від максимального значення, а зі збільшенням l_b і l_n значення t_b і t_n збільшуються відповідно у 1,6 і 1,8 раза.

3.3 Розробка способу вибухового руйнування закарстованих породних масивів свердловинними зарядами вибухової речовини, розділеними карстовою порожниною та приклад його використання

Спосіб вибухового руйнування відноситься до галузі гірничого виробництва з видобутку корисної копалини відкритим способом для ведення свердловинно-вибухових робіт у кар'єрах складених масивами гірських порід з порожнинами та шарами м'яких порід.

Відомі способи ведення свердловинно-вибухових робіт у кар'єрах, складених масивами гірських порід з порожнинами та шарами м'яких порід, що включають буріння рядів свердловин, встановлення в них ініціаторів, вибухової речовини, забивку в усті свердловини, монтаж вибухової мережі та підривання [26, 70, 72]. Недоліком цих способів є те, що у зв'язку з відсутністю детальних геологічних даних щодо площі кар'єрного поля, а насамперед по колонці свердловини в границях блоку, який підривається, ведення свердловинно-вибухових робіт проводиться суцільним зарядом ВР, що у процесі вибуху такого заряду в місці перетину з м'якими включеннями або порожнинами, які розширюються, призводить до витікання газоподібних продуктів вибуху із свердловини і тим самим підвищує тиск в ній і ступінь трансформації енергії вибуху у порожнини. Це приводить до непрогнозованих і небезпечних проявів вибуху та пов'язано з підвищенням виходу негабариту та негативною дією сейсмічних хвиль на навколишнє середовище.

Найбільш близьким до запропонованого винаходу є спосіб вибухового руйнування масиву із застосуванням свердловинних зарядів, розділених

проміжками, які формуються у місцях перетину свердловин горизонтальними тріщинами [118].

Недоліком цього способу є те, що бойовики зарядів (верхнього і нижнього) розділені інертними проміжками, ініціюються миттєво і тим самим не дозволяють створити умови для максимальної передачі енергії вибуху в руйнацію тільки в тих частинах свердловини, в яких містяться міцні корінні породи, а не зони з порожнинами або м'якими ґрунтами. Крім того, щоб досягти потрібного ефекту подрібнення порід, необхідно мати геологічні дані по колонці свердловини в границях блоку, який підривається, для гарантованого перекриття зон з пустотами або м'якими ґрунтами, які перетинають свердловини, матеріалами інертних проміжків.

В основу даного способу поставлено задачу підвищення якості подрібнення гірської породи та зниження сейсмічної дії вибуху за рахунок застосування інертних проміжків у заряді ВР, які формуються у місцях перетину свердловин з м'якими включеннями або порожнинами.

Зазначена задача вирішується тим, що в способі вибухового руйнування масивів складноструктурних гірських порід, що включає буріння рядів свердловин з послідовним заряджанням ВР, установлення повітряних або інертних проміжків, забійку в усті свердловини та монтаж вибухової мережі за умови миттєвого внутрішньосвердловинного підривання, заряджання проводять шляхом розміщення зарядів ВР в місцях залягання корінних порід над і під порожниною, подальше встановлення в кожному заряді детонаторів, а в місцях включення з порожнинами або прошарками м'яких порід розміщують повітряні або інертні проміжки.

Додаткові відмінності полягають в тому, що місця перетину корінних порід з порожнинами або прошарками м'яких порід визначають за даними швидкості буріння свердловини, або за витратами потужності, яка споживається обертачем бурового станка, і нижній детонатор ініціюють миттєво, а верхній – з інтервалом уповільнення, який складається з суми часу, за який пройде детонаційна хвиля від нижнього до верхнього детонатора через порожнину.

Спосіб проілюстровано на рис. 2.11, на якому зображено макет конструкції свердловинного заряду ВР.

Спосіб вибухового руйнування складноструктурних масивів гірських порід реалізується наступним чином. Для визначення геологічної структури пробурюють вертикальні свердловини за паспортом буропідривних робіт для даного масиву і по всій її колонці визначається потужність обертача при бурінні.

В табл.2.5 наведено витрати потужності, яка споживається обертачем, на прикладі бурового станка СБШ-250 в залежності від структури масиву гірських порід при проходженні свердловини глибиною 12,5 м у закарстованих гіпсах.

Аналізуючи рис. 2.9, де наведено діаграму зміни потужності при бурінні свердловини №2 та рис 2.10 – графічну залежність $N_0 = f(l_{св})$ у закарстованих гіпсах Щирецького кар'єру було побудовано конструкцію подовженого заряду, розділеного повітряним проміжком в частині свердловини з карстовою порожниною В межах зон, де потужність буріння дорівнювала 60-68кВт (буріння у корінних породах) було розміщено заряди ВР з бойовиками, а з мінімальною потужність 10 кВт (потужність холостого ходу) – повітряний проміжок.

Для забезпечення сейсмобезпечного і якісного руйнування гірських порід складної структури конструкцію кожного свердловинного заряду ВР, наведену на рис 2.11, формують наступним чином: за даними таблиці моніторингу витрат потужності обертача бурового станка при бурінні свердловин у закарстованих гіпсах верхній і нижній заряди ВР розміщують в місцях залягання корінних порід, над і під порожниною або прошарками м'яких порід.

В залежності від місця встановлення ініціаторів (детонаторів) в кожному заряді ВР за методикою, наведеною в підрозділі 3.2 визначають інтервали їх уповільнення для забезпечення зустрічі детонаційних хвиль, які створюють умови для змикання карстової порожнини.

В місцях перетину свердловини з порожниною або прошарками м'яких порід розміщують повітряні або інертні проміжки. Забійку розміщують в усті

свердловини. Після заряджання всіх свердловин проводять монтаж вибухової мережі та підривання блоку.

Таким чином, шляхом розташування зарядів ВР в місцях залягання корінних порід, а в місцях перетину їх з порожнинами – повітряних проміжків, досягається їх рівномірне руйнування за рахунок використання посиленого поля напруг в зоні корінних порід і не допускається витрата енергії вибуху на негативну роботу в зоні порожнин. Це дозволяє створити умови зустрічної детонації хвиль, в яких енергію вибуху спрямовано на роботу деформування у відповідності зі структурно-геологічними умовами масиву гірських порід.

За результатами вищенаведених аналітичних і експериментальних досліджень для підвищення ефективності відбивки закарстованих породних масивів та зниження сейсмоефекту розроблено спосіб вибухового руйнування масивів гірських порід, захищений патентом України на корисну модель №93235 [119], в основу якого покладено розроблений в попередньому розділі макет конструкції подовженого заряду вибухової речовини, розділеного повітряним проміжком в карстовій частині свердловини (рис. 2.11), яка відповідає геологічній структурі колонок кожної свердловини. Спосіб включає буріння свердловин, визначення в процесі буріння кількості, глибини залягання та потужності карстів, розміщення подовжених зарядів вибухової речовини в свердловині, забійку та підривання, який відрізняється тим, що подовжений заряд в свердловині розміщують над стелиною (верхній) і підшвою (нижній) карстової порожнини і підривають його різнонаправленим ініціюванням із застосуванням проміжних детонаторів, встановлених на нижніх частинах зарядів (рис. 2.11).

Для перевірки ефективності даного способу в кар'єрі родовища гіпсів проведено промислові експерименти з визначення у процесі оббурювання блоку, що готується до підривання, кількості та глибини залягання карстів у кожній свердловині. Для останніх проводився розрахунок інтервалів уповільнення верхнього (t_v) та нижнього (t_n) детонаторів, які забезпечують одночасну дію хвиль напружень на нижню та верхню границі карстової порожнини, за

формулами (3.6, 3.7), для нижнього ініціювання – (3.8). Для цього використано результати досліджень (розділ 2) стосовно визначених на основі зміни потужності, яка споживається обертачем бурового станка в процесі буріння кожної свердловини, та складених паспортів свердловин з карстовими порожнинами.

Як приклад, нижче виконано розрахунок величини інтервалу уповільнення, за методом розробленим в підрозділі 3.2., при підриванні верхнього та нижнього бойовиків (порода – гіпс; довжина свердловини – 12,5 м; тип ВР – ігданіт ($D_{\text{вр}}=3200$ м/с); $q=0,78$ кг/м³ – питома витрата ВР; довжина забійки – 4,7 м; довжина перебуру – 2,5 м).

Загальна довжина заряду з карстовою порожниною (з повітряним проміжком):

$$l_{\text{зар}} = l_{\text{св}} - l_{\text{заб}} = 12,5 - 4,7 = 7,8 \text{ м.}$$

Загальна довжина заряду без карстової порожнини:

$$l_{\text{зар}} = l_{\text{св}} - l_{\text{заб}} - l_{\text{п}} = 12,5 - 4,7 - 1,0 = 6,8 \text{ м}$$

де $l_{\text{п}}=1,0$ – потужність карстової порожнини в свердловині, м.

Довжина верхнього заряду:

$$l_{\text{в.з.}} = h_{\text{kk}} - l_{\text{заб}} = 7,24 - 4,7 = 2,54 \text{ м}$$

де $h_{\text{kk}}=7,24$ – глибина залягання стелини карстової порожнини, м.

Довжина нижнього заряду:

$$l_{\text{н.з.}} = l_{\text{св}} - l_{\text{заб}} - l_{\text{в.з.}} - l_{\text{п}} = 12,5 - 4,7 - 2,54 - 1,0 = 4,26 \text{ м}$$

Довжину нижнього та верхнього зарядів по блоку, що підривається, розраховано для 28 свердловинних зарядів (табл.3.2).

Таблиця 3.2

Довжина верхнього та нижнього зарядів, м

№ ряду свердловин	Номер свердловини											
	1	2		3		4		5		6		7
		верхнього	нижнього	верхнього	нижнього	верхнього	нижнього	верхнього	нижнього	верхнього	нижнього	
1	7,8	2,54	4,26	0,56	6,34	2,2	5,32	2,21	4,89	3,69	3,81	7,8
2	7,8	2,67	4,28	0,73	6,24	2,2	5,2	2,23	4,83	3,55	3,98	7,8
3	7,8	3,22	3,88	0,91	6,14	1,9	5,4	2,23	4,97	3,55	3,91	7,8
4	7,8	3,22	3,84	0,91	6,29	1,9	5,45	2,23	4,95	3,55	3,85	7,8

Відстань від нижнього бойовика до підосви карстової порожнини:

$$l_n = l_{н.з.} - l_{пер} - c = 4,26 - 2,5 - 0,3 = 1,46 \text{ м,}$$

де $c=0,3$ – відстань від підосви уступу до нижнього бойовика, м.

Час приходу детонаційної хвилі від нижнього бойовика до підосви порожнини:

$$t_n = (l_n / D_{вр}) + t_n^д = (1,46 / 3200) + 450 = 450,46 \text{ мс,}$$

де $D_{вр}=3200$ – швидкість детонації ігданіту, м/с.

Час приходу детонаційної хвилі від верхнього бойовика до стелини порожнини:

$$t_b = (l_b / D_{вр}) + t_b^д = 1,27 / 3200 + 450 = 450,397 \text{ мс,}$$

де $l_b=1,27$ – відстань від верхнього бойовика до стелини карстової порожнини, м.

З урахуванням результатів розрахунків та заданих умов визначається відстань між бойовиками:

$$l_d = l_n + l_p + l_b = 1,46 + 1,0 + 1,27 = 3,73 \text{ м.}$$

Результати розрахунків відстані між бойовиками для кожної свердловини наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Відстань між бойовиками у свердловинах, м

№ ряду свердловин	Номер свердловини						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0	3,73	4,72	3,9	3,89	2,11	0
2	0	3,33	4,62	3,8	3,97	2,45	0
3	0	2,78	4,55	4,05	3,89	2,45	0
4	0	2,78	4,55	4,05	3,89	2,25	0

Визначався додаткового часу уповільнення ($t_{\text{дод}}$) верхнього бойовика по відношенню до нижнього, щодо дотримання умов одночасного приходу детонаційних хвиль напружень до стелини та підосви карстової порожнини для її змикання за виразом (3.7) $t_{\text{дод}} = 0,063$, мс.

Додатковий час уповільнення верхнього проміжного бойовика конструктивно виконували за рахунок створення петлі в хвилеводі верхнього бойовика.

В табл. 3.4 наведено інтервали уповільнення верхнього детонатора при постійному нижнього 450 мс.

Таблиця 3.4

**Інтервали уповільнення верхнього бойовика при постійному
інтервалі уповільнення нижнього $t_n^d = 450$, мс**

№ ряду свердловин	Свердловина						
	1	2	3	4	5	6	7
1	500	450,1	451,01	450,5	450,3	450,1	500
2	500	450,15	451,0	450,4	450,3	450,1	500
3	500	450,03	450,9	450,5	450,33	450,04	500
4	500	450,02	451,0	450,53	450,32	450,08	500

В табл. 3.5 наведено розрахункові значення часу уповільнення верхнього бойовика t_b на відстані від стелини карстової порожнини $l_b = 1,27$ м.

Таблиця 3.5

**Розрахункові значення додаткового часу уповільнення верхнього
бойовика при постійній величині $l_b = 1,27$ м і змінній – l_n при детонації
різних типів ВР**

Швидкість детонації ВР, м/с	Відстань до бойовиків, м		t_n , мс	t_b , мс	$t_{\text{дод}}$, мс
	l_n	l_b			
2500	1,5	1,27	0,00058	0,00050	0,00008
3000	1,5	1,27	0,00049	0,00042	0,00007
3500	1,5	1,27	0,00042	0,00036	0,00006
4000	1,5	1,27	0,00037	0,00032	0,00005
4500	1,5	1,27	0,00032	0,00028	0,00004
2500	1,7	1,27	0,00068	0,00050	0,00018
3000	1,7	1,27	0,00057	0,00042	0,00015
3500	1,7	1,27	0,00049	0,00046	0,00013
4000	1,7	1,27	0,00043	0,00032	0,00011
4500	1,7	1,27	0,00038	0,00028	0,00010
2500	2,0	1,27	0,00080	0,00050	0,00030
3000	2,0	1,27	0,00067	0,00042	0,00025
3500	2,0	1,27	0,00057	0,00036	0,00021
4000	2,0	1,27	0,00050	0,00032	0,00018
4500	2,0	1,27	0,00044	0,00028	0,00016

При цьому нижній бойовик змінює своє положення та знаходиться на відстанях l_n , які дорівнюють 1,5 м, 1,7 та 2,0 м. Аналогічно можна розрахувати значення для верхнього бойовика l_v при постійній величині l_n . Для графічної інтерпретації даних табл. 3.5 побудована залежність, яку наведено на рис. 3.2.

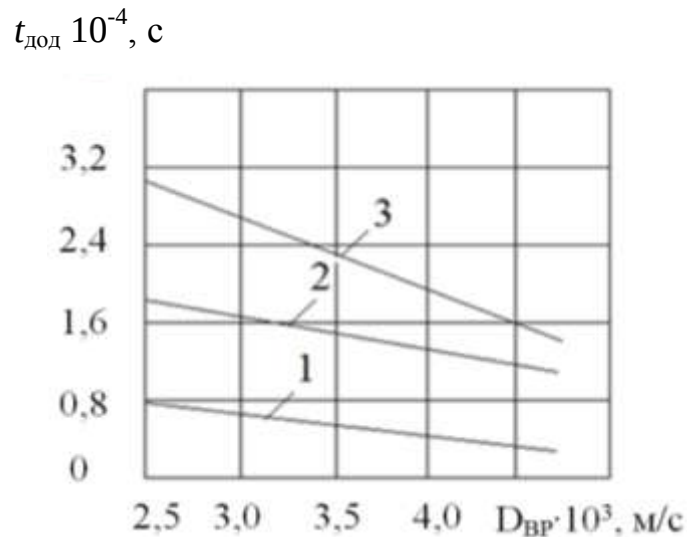


Рис. 3.2. Залежність інтервалу часу уповільнення верхнього ініціатора від швидкості детонації ВР нижнього заряду при розташуванні в ньому ініціатора на відстані від підшови карстової порожнини l_n : 1 – 1,46 м; 2 – 1,7; 3 – 2,0 м

З аналізу рис. 3.2 видно, що зі збільшенням $D_{\text{вр}}$ час уповільнення для верхнього бойовика зменшується, а зі збільшенням відстані від нижнього бойовика до підшови карсту він збільшується. Слід відмітити, що ця залежність змінюється за лінійним законом. Розрахунки виконані для верхнього та нижнього зарядів однакових ВР у кожному конкретному випадку.

При підриванні традиційних та експериментальних конструкцій свердловинних зарядів було доведено їх ефективність з внутрішнім ініціюванням, коли спочатку ініціювався нижній детонатор, а для верхнього інтервал розраховувався для забезпечення зустрічного ініціювання. Це сприяло створенню умов направленої тиску по нижній та верхній границях карстової

порожнини, який діяв на її змикання, що дозволило знизити поля напружень в зоні карстової порожнини і посилити в корінних породах, забезпечити руйнування підосви уступу та у верхній частині свердловини, ослабленої наявністю забивки.

Дослідження показали, що в результаті застосування даного способу підвищується рівномірність подрібнення гірської маси, зменшується вихід негабариту, практично відсутні заколи в тил масиву, виключаються викиди гірської маси на верхню площадку уступу. Крім цього, зменшується сейсмічна дія вибуху та радіус зони, небезпечної по розльоту шматків породи.

3.4 Аналітичне обґрунтування і розрахунки параметрів сітки і маси свердловинних зарядів вибухової речовини, розділених карстовою порожниною, при проведенні вибухових робіт у гіпсових кар'єрах

Розроблений вище вибуховий спосіб відбивки закарстованих породних масивів із застосуванням подовжених зарядів, розділених повітряним проміжком в частині свердловини з карстовою порожниною потребує обґрунтування як параметрів конструкцій свердловинних зарядів ВР, так і сітки їх розташування. При цьому розрахункові значення параметрів повинні відповідати умовам висадження як за геометричними характеристиками розташування в плані підірваного об'єму порід, так і за витратами енергії вибуху на їх подрібнення. До того ж методика розрахунку, як доповнення до типових проектів, повинна базуватися на наведених вище дослідженнях та досягненнях науки і практики щодо розрахунку ефективних параметрів сітки для свердловин, які перетинають карстові порожнини. При цьому необхідний ступінь подрібнення закарстованих породних масивів досягається за рахунок більш повного і диференційованого врахування природних (міцність коріних порід, потужність порожнин тощо) і технологічних (маси кожного подовженого заряду, порядок їх ініціювання та інтервали уповільнення як

всередині свердловинного заряду, так і між ними, орієнтування в просторі висаджуваного блоку тощо) чинників при проектуванні параметрів і проведенні масового вибуху. Стосовно блоків, у яких корінні породи всередині свердловини чергуються з порожнинами, число яких при розробці горизонту може коливатися від 1 до 2, особлива увага була приділена визначенню основних параметрів сітки свердловин з урахуванням даних, наведених в розділі 2, моніторингу потужності буріння свердловин та визначенню енергоємності процесу їх буріння, побудові геологічних структур колонок свердловин. Додатково враховувалось розташування свердловин відносно порожнин у блоці, що підривається. Ця вимога реалізована щодо визначення маси верхнього Q_v і нижнього Q_n свердловинних зарядів у залежності від l_n висоти (потужності) порожнини. Значення загальної маси заряду Q необхідно зменшити у порівнянні з такою для корінних порід (без порожнини), виходячи з радіусу дроблення r_d одиночного заряду. Традиційна схема до розрахунку параметрів буровибухових робіт (БВР) наведена на рис 3.3.

У практичних розрахунках числове значення відстані між свердловинами у ряді a визначається з порівняння роботи вибуху, яка витрачається на подрібнення середовища з порожнинами і виражається через об'єм руйнування V_d від вибуху окремого циліндричного заряду. При цьому об'єм руйнування є об'ємом параболоїда обертання:

$$V_d = 0,5 \cdot \pi \cdot r_d^2 \cdot h_{в.д.}, \quad (3.11)$$

де $h_{в.д.}$ — глибина воронки дроблення, м; r_d — радіус дроблення, м (визначається розрахунками або дослідними вибухами одиночних шпурових (свердловинних) зарядів ВР за характерними зонами масиву порід і за розмірами воронки дроблення).

При розрахунку відстаней між свердловинами у ряді «а» і між рядами «b» була дотримана умова, при якій радіуси подрібнення сусідніх одиночному заряду перекриваються на одну третину.

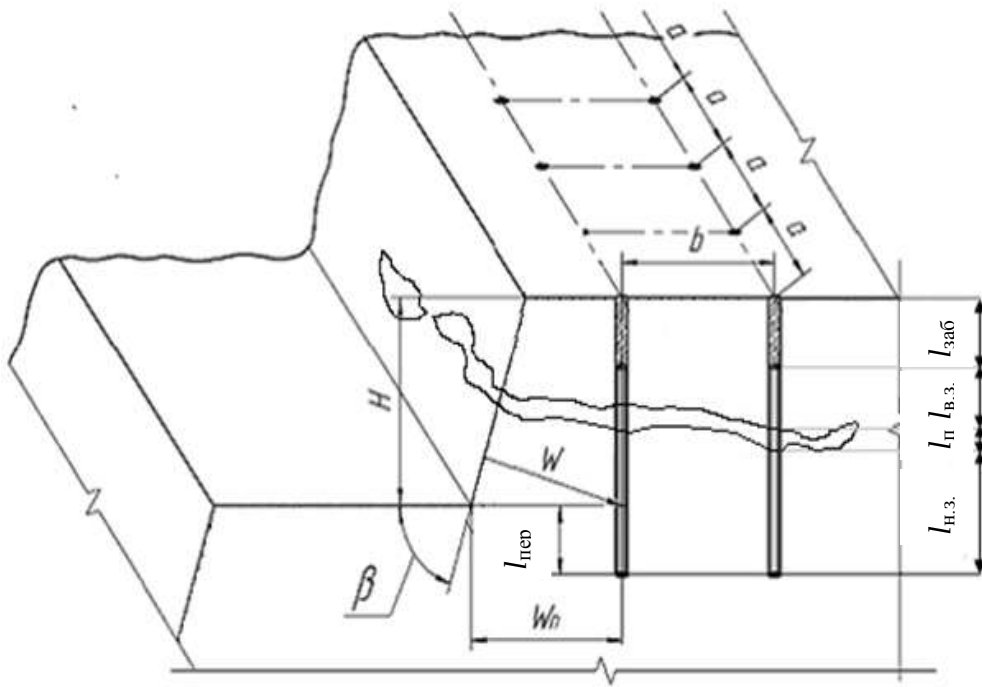


Рис. 3.3. Схема вибою до розрахунку параметрів БВР з свердловинними зарядами, розділеними карстовою порожниною: H – висота уступу, м; W – лінії опору по підшві, м; $W_{\text{п}}$ – ОПУ; a – відстань між свердловинами у ряді, м; b – відстань між рядами свердловин, м; $l_{\text{н.з.}}$ – довжина нижнього заряду, м; $l_{\text{в.з.}}$ – довжина верхнього заряду, м; $l_{\text{пер}}$ – довжина перебуру, м; $l_{\text{заб}}$ – довжина забивки, м; $l_{\text{п}}$ – потужність порожнини, м; β – кут нахилу відкосу уступу, град

З урахуванням цього отримаємо відстані між свердловинами в ряді a і між рядами b руйнування середовища з круглою зоною:

$$a = 1,5 \cdot r_{\text{д}} ; \quad r_{\text{д}} = a/1,5; \quad (3.12)$$

$$V_{\text{д}} = \frac{\pi \cdot a^2}{4,5} \cdot h_{\text{в.д.}} ; \quad a = \sqrt{\frac{V_{\text{д}} \cdot 4,5}{\pi \cdot h_{\text{в.д.}}}} . \quad (3.13)$$

Маса свердловинних зарядів розпушування при уступному відбиванні для відомої питомої витрати ВР визначається за формулою:

$$Q = qaW_{\Pi}H, \quad (3.14)$$

де q – відома питома витрата ВР, кг/м^3 ; a – відстань між свердловинами в ряді, м; W_{Π} – лінія опору по підшві уступу, м; H – висота уступу, що підривається, м.

Маса (кг) свердловинного заряду за місткістю:

$$Q = (l_{\text{св}} - l_{\Pi} - l_{\text{заб}}) \cdot P;$$

$$l_{\text{св}} = H + l_{\text{пер}};$$

$$Q = (H + l_{\text{пер}} - l_{\Pi} - l_{\text{заб}}) \cdot P; \quad (3.15)$$

де $l_{\text{св}}$ – довжина свердловини, м; $l_{\text{пер}}$ – довжина перебуру, м; l_{Π} – потужність карстової порожнини, м; $l_{\text{заб}}$ – довжина забивки у свердловині, м; P – місткість 1 м свердловини, кг/м .

При цьому, чим більша висота порожнин – тим менше потрібно ВР в свердловині для однієї і тієї само відстані між зарядами у ряді:

$$a = \frac{Q}{q \cdot W_{\Pi} \cdot H} = \frac{(H + l_{\text{пер}} - l_{\Pi} - l_{\text{заб}}) \cdot P}{q \cdot W_{\Pi} \cdot H}, \quad (3.16)$$

$$V_{\text{д}} = \frac{\pi(H + l_{\text{пер}} - l_{\Pi} - l_{\text{заб}})^2 \cdot P^2}{4,5 \cdot q^2 \cdot W_{\Pi}^2 \cdot H^2} \cdot h_{\text{в.д.}} \quad (3.17)$$

Виразимо масу свердловинних зарядів розпушування через потрібний об'єм руйнування та, враховуючи потужність порожнини у свердловині, з формули (3.15) знайдемо H :

$$H = \frac{Q}{P} - l_{\text{пер}} + l_{\text{п}} + l_{\text{заб}}. \quad (3.18)$$

Тоді у формулу (3.14) підставимо (3.18) та знайдемо масу свердловинних зарядів розпушування:

$$Q = qaW_{\text{п}} \left(\frac{Q}{P} - l_{\text{пер}} + l_{\text{п}} + l_{\text{заб}} \right);$$

$$Q = qaW_{\text{п}} \frac{Q}{P} + qaW_{\text{п}} (-l_{\text{пер}} + l_{\text{п}} + l_{\text{заб}});$$

$$Q - qaW_{\text{п}} \frac{Q}{P} = qaW_{\text{п}} (-l_{\text{пер}} + l_{\text{п}} + l_{\text{заб}});$$

$$Q \left(1 - \frac{qaW_{\text{п}}}{P} \right) = qaW_{\text{п}} (-l_{\text{пер}} + l_{\text{п}} + l_{\text{заб}});$$

$$Q = \frac{qaW_{\text{п}} (-l_{\text{пер}} + l_{\text{п}} + l_{\text{заб}})}{\left(1 - \frac{qaW_{\text{п}}}{P} \right)}; \quad (3.19)$$

Підставивши з рівняння (3.13) значення a у рівняння (3.19) отримаємо кінцеве рівняння для розрахунку маси свердловинного заряду:

$$Q = \frac{q \cdot \sqrt{\frac{V_d \cdot 4,5}{\pi \cdot h_{в.д.}}} W_{\Pi} (-l_{\text{пер}} + l_{\Pi} + l_{\text{заб}})}{\left(1 - \frac{q \cdot \sqrt{\frac{V_d \cdot 4,5}{\pi \cdot h_{в.д.}}} W_{\Pi}}{P} \right)} . \quad (3.20)$$

Проведемо розрахунок маси верхнього Q_v і нижнього Q_n свердловинних зарядів і параметрів сітки, їх розташування для відбивки масивів гірських порід за наявності карстових порожнин. Як і в попередньому розділі використаємо результати досліджень, наведених в розділі 2, щодо визначених на основі зміни потужності, що споживається обертачем бурового станка, в процесі буріння кожної свердловини.

В табл. 3.6 наведено розрахункові значення маси ВР для верхнього та нижнього зарядів у свердловині. При цьому перший і останній заряди кожного ряду в серії блоку, що підривається, мають однакову масу ВР.

Таблиця 3.6

Маси верхнього та нижнього зарядів за ємністю свердловини

№ ряда свердловин	Маси зарядів за ємністю свердловини, кг						
	1	2	3	4	5	6	7
1	306,5	99,82	22,0	86,46	86,85	145,02	306,5
		167,42	249,16	44,62	192,18	149,73	
2	306,5	104,93	28,69	86,46	87,64	139,52	306,5
		168,2	245,23	204,36	189,82	156,41	
3	306,5	126,55	35,76	74,67	87,64	139,52	306,5
		140,69	241,3	212,2	195,32	153,66	
4	306,5	126,55	35,76	74,67	87,64	139,52	306,5
		150,91	247,2	214,19	194,54	151,3	

Примітка: В чисельнику наведено масу ВР для верхньої частини заряду, в знаменнику – для нижньої.

В табл. 3.7 наведено розрахункові значення загальної маси всього заряду. Відстань між зарядами a розраховується за формулами 3.12 та 3.13, а між рядами в 1-му ряду блоку, що підривається, b – за формулою $b = 0,95W_{\text{п}}$. Для інших рядів $a = b$.

Таблиця 3.7

Загальна маса заряду в свердловині

№ ряда свердловин	Номер свердловини та маса заряду, кг						
	1	2	3	4	5	6	7
1	306,5	267,2	271,1	295,5	279,0	294,8	306,5
2	306,5	273,1	273,9	290,8	277,5	295,9	306,5
3	306,5	279,0	277,1	286,9	282,9	293,2	306,5
4	306,5	277,5	282,9	288,9	282,2	290,8	306,5

Стосовно сейсмічної дії вибуху зарядів ВР в дальній зоні, на території якої розташовані будівлі над порожнинами, то дослідженням щодо сейсмічного впливу вибухових робіт присвячено наступний розділ.

Висновки до розділу 3

1. Наведена концепція зустрічного формування полів напруг при ініціюванні свердловинних зарядів ВР, розосереджених повітряним проміжком у місці перетину карстової порожнини, що створює можливість забезпечення зустрічі ударних хвиль на рівні підосви уступу при зниженні трансформації енергії сейсмовибухових хвиль в процесі їх поширення в масиві гірських порід.

2. Розроблений спосіб відбивки закарстованих породних масивів подовженими зарядами, розділеними повітряним проміжком в частині свердловини з карстовою порожниною з керованими полями напружень, які за рахунок зустрічного ініціювання створюють умови направленої тиску по

нижній та верхній границях карстової порожнини та витрату енергії вибуху на роботу деформування корінних порід.

3. Встановлені закономірності розвитку детонаційних хвиль всередині свердловини, при зустрічному двоточковому ініціюванні зарядів ВР, розділених карстовою порожниною.

4. Обґрунтовані залежності зміни інтервалу часу уповільнення ініціаторів (бойовиків) верхньої та нижньої частин розосередженого свердловинного заряду від швидкості детонації різних типів ВР і відстаней кожного ініціатора до стеліни та підшви карстової порожнини (3.6)–(3.8), табл. 3.1, рис. 3.2.

5. Встановлено вплив інтервалів уповільнення відносно нижнього та верхнього подовженого заряду ВР, розділеного повітряним проміжком в частині свердловини з карстовою порожниною, і визначені інтервали при яких забезпечується одночасний прихід детонаційних хвиль до стеліни та підшви, що створює умови їх змикання.

6. Аналітичними дослідженнями фізики й механіки зустрічного поширення детонаційних хвиль від двох зарядів, розділених карстовою порожниною, встановлено, що забезпечення оптимальної передачі потенційної енергії в руйнівну роботу всередині конструкції свердловини створюється тоді, коли кожен подовжений заряд підривається з такими мілісекундними інтервалами уповільнення, при яких виникають умови змикання стеліни й підшви карстової порожнини.

7. Удосконалені методи розрахунку сейсмобезпечних і оптимальних параметрів сітки свердловин та інтервалів уповільнення нижнього й верхнього детонаторів всередині свердловинних зарядів ВР, розділених карстовою порожниною, дозволяють забезпечити якісне руйнування закарстованих масивів порід та допустимі норми сейсмічних навантажень у зонах розташування наземних будівель і карстових порожнин під ними.

Основні результати досліджень щодо даного розділу опубліковані в наукових працях [104, 119, 120, 121, 127, 128, 133, 135, 136, 137, 139, 140, 141, 142].

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕЙСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ МАСОВИХ ВИБУХІВ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ЕМПІРИЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ У РІЗНИХ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ ГІПСОВИХ КАР'ЄРІВ

Аналіз результатів досліджень, наведений в 1 розділі, з проблем застосування енергії вибуху при відкритій розробці корисних копалин на кар'єрах для руйнування масивів гірських порід, з одночасним допустимим рівнем сейсмобезпеки навколишніх наземних і підземних природних та інженерних об'єктів, що охороняються, відмічено значний вклад теоретичних досягнень в роботах [25, 26, 58–60 та ін.]. В цих працях розроблено ряд математичних моделей, в т.ч. найближчих до теми досліджень дисертаційної роботи [26], в яких наведено алгоритми моделювання спільної дії статичної і динамічної взаємодії сейсмовибухових хвиль, з межею розділу середовищ у гірських масивах з порожнинами. Вони дозволяють аналітично визначати геометрію фронтів пружних (поперечних і поздовжніх) хвиль, відбитих від граничних поверхонь і які проникають через них, а також додаткові напруження в прифронтних зонах будівель. Ці розрахунки ґрунтуються на застосуванні променевого методу заснованого на знанні кінцевих параметрів руху хвиль, і не враховують їх змін в середовищі, яке відображає реальну характеристику профілей в умовах гіпсових кар'єрів ВАТ «Миколаївцемент», ВАТ «Івано-Франківськцемент» та ПП «Скала-Інтер» та умов поширення сейсмовибухових хвиль від масового вибуху до будівель і карстових порожнин під ними, що неможливо описати математично. Такі аналітичні побудови характерні тим, що дозволяють прогнозувати в першому наближенні інтенсивність сейсмічних коливань лише безпосередньо в об'єкті, що захищається, і не можуть бути застосовані в чистому вигляді для сейсмооцінки відповідних об'єктів.

Саме тому подальші дослідження дисертаційної роботи, в конкретних умовах гіпсових кар'єрів, орієнтовані на застосуванні емпіричних моделей, які будувались за результатами експериментальних досліджень сейсмовибухових хвиль від масових вибухів, їх поширення по профілю, до ґрунтової основи об'єктів, що охороняються, та їх взаємодії з цими об'єктами і спиралась на дані сейсмічного моніторингу масових вибухів.

Сейсмовимірювальні роботи дозволили отримати сейсмо- і спектрограми у відповідальних точках профілю з подальшою їх екстраполяцією в емпіричні залежності, із застосуванням закону геометричної подібності Ньютона. Це дозволило встановити закономірності виникнення, поширення і взаємодії сейсмічних коливань з наземними будівлями і карстовими порожнинами під ними, і, як показали наведені нижче практичні результати, дало можливість отримати достовірний сейсмопрогноз для навколишніх наземних будівель і карстових порожнин під ними при проведенні масових вибухів на гіпсових кар'єрах.

4.1 Методика вимірювання параметрів сейсмовибухових хвиль при проведенні сейсмічного моніторингу масових вибухів у кар'єрах

Загальні відомості при проведенні сейсмічного моніторингу масових вибухів у кар'єрах. Постійний розвиток гірничих робіт на території України, зокрема в умовах гіпсових кар'єрів ВАТ «Миколаївцемент», ВАТ «Івано-Франківськцемент» та ПП «Скала-Інтер», потребує наближення їх до навколишніх охоронних об'єктів та розширення існуючих територій. При цьому межі кар'єрів повільно, але досить впевнено, наближаються до цих об'єктів, руйнуючи їх постійним впливом сейсмічних хвиль, джерелом яких є промислові вибухи.

У цих умовах необхідно постійно контролювати шкідливу дію вибухів для збереження цілісності будівель та карстових порожнин під ними. В основу

методології визначення сейсмічності масових вибухів покладено метод, при якому по профільних лініях фіксується інформація про сейсмічні коливання ґрунту в кожній точці їх реєстрації у вигляді відповідних осцилограм за двома або трьома координатними осями. Оцінку вибухів і регулювання їх параметрів здійснюють, керуючись величиною максимальної швидкості коливань хвиль, яка повинна бути меншою за допустиму величину, визначену згідно існуючих норм. Завданням роботи є побудова конструкцій свердловинних зарядів, поєднаних в схеми підривання, за яких при однаковій масі заряду будуть мінімальні показники сейсмічних хвиль безпечні для житлових будинків і карстових порожнин, що знаходяться в зоні сейсмічного впливу вибуху. За відсутності методики визначення типів хвиль та методики виділення з усього коливального процесу тих, що створюють максимальну сейсмічну небезпеку, стосовно розроблених в розд. 2 конструкцій свердловинних зарядів, потребує їх визначення.

Тому необхідно провести порівняльний аналіз результатів різних схем підривання, сейсмограм за типами хвиль, виділивши їх поздовжню, поперечну та поверхневу фази, та визначити найнебезпечніші параметри коливань як на поверхневі будівлі, так і на карстові порожнини під ними. Ці параметри будуть прийняті як критерій сейсмічної оцінки. Враховуючи, що поверхневу фазу відображає відрізок з найбільшим періодом коливань (V_r). Поперечна фаза має так звані «зазубринки» (V_s), а поздовжній – відповідає відрізок з високою частотою (V_p). Найбезпечнішою фазою коливань буде та, максимальні значення амплітуди якої будуть припадати на відрізки процесу з максимальною частотою. І навпаки, у разі отримання максимальних значень амплітуд коливань на відрізку з максимальним періодом, внаслідок накладення коливальних процесів сейсмічної хвилі з власними коливаннями охоронного об'єкту, процес спричинятиме найбільшу небезпеку. Отже, на основі вищенаведеного, при однаковій масі заряду для зниження сейсмоефекту слід забезпечити таку технологію підривання, за якої максимальне значення амплітуд сейсмічного процесу формуватиметься у тих типах хвиль, які не

співпадають з власними коливаннями охоронного об'єкту. Цього можна досягти розробленими конструкціями свердловинних зарядів із зустрічним ініціюванням, регулюючи інтервали уповільнення, розділену карстовою порожниною масу заряду та посвердловинне ініціювання на основі розробки схем короткоуповільненого підривання цих свердловинних зарядів ВР.

Умови проведення експериментальних досліджень і засоби вимірювань, що застосовуються. Інструментальні записи сейсмовибухових хвиль при їх поширенні по виділених профілях проводилися при вибухах для різних горизонтів кар'єрів і відстаней до карстових порожнин та житлових будинків навколишніх населених пунктів, з використанням апаратури й методики вимірювань [120, 121]. Перенесення цих досліджень для конкретних умов вимагають розроблення положень і вимірювальних засобів служби вимірювань, її ефективного функціонування. Тому при проведенні експериментальних досліджень для вивчення характеру поширення сейсмовибухових хвиль за профільними лініями в заданих напрямках від масових вибухів, які проводились в умовах гіпсових кар'єрів ВАТ «Миколаївцемент», ВАТ «Івано-Франківськцемент» та ПП «Скала-Інтер», вибрана апаратура має забезпечити не лише вимірювання швидкості коливань, але й програму спектрального аналізу всього коливального процесу «місце вибуху – закарстований гірський масив – об'єкт» у взаємозв'язку з його сейсмостійкістю, робочим тиском, технічним станом тощо. Таким чином, одним із завдань було використання методики сейсмічних вимірювань для вибору необхідних структурних схем апаратурної реєстрації коливань (рис. 4.1).

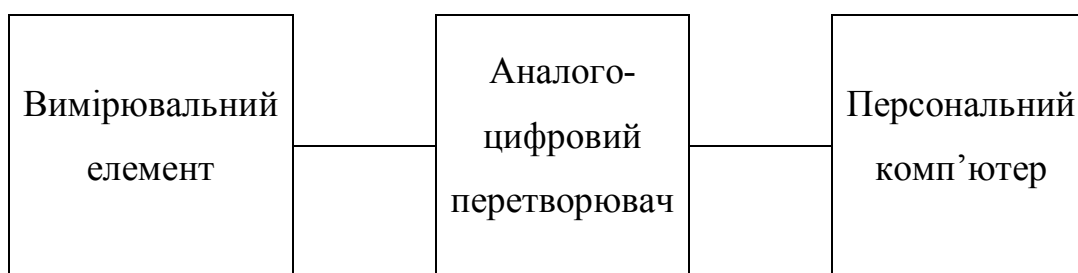


Рис. 4.1. Основні елементи інформаційного каналу

Вибрані сейсмоприймачі та засоби реєстрації повинні забезпечувати не тільки необхідні вимоги до сейсмічних вимірювань і контроль сейсмобезпеки, але й надавати можливість отримувати необхідну інформацію про умови вибуху та сейсмовибухові хвилі, що дає можливість одержати такий збір кількісних показників щодо впливу сейсмовибухових хвиль на об'єкти, що охороняються, який досить точно підтвердив би або спростував результати аналітичних досліджень і дозволив одержати нові дані в конкретних умовах.

Сейсмовимірювання проводилися по радіальних профілях різної довжини.

Проведення вимірювань здійснювалось відповідно до ДСТУ 7116:2009 [122]. Для вимірювання параметрів сейсмовибухових хвиль використовувалося 7 сейсмічних датчиків описаного вище типу, пристрої E14-140 і E14-440, а також ПК «Acer ASPIRE ONE». ПК і АЦП встановлювалися в бункері або в машині, а сейсмодатчики розміщувалися по профілю на вимірюваному масиві. Для встановлення координат датчиків використовувалася супутникова система.

Запуск апаратури, що реєструє, проводився вручну, за 1 – 2 хвилини до моменту вибуху й закінчувався через 1 – 2 хвилини після нього. Потім із цього запису «вирізали» потрібний фрагмент. Таким чином, можна записати, а згодом проаналізувати, значну кількість вибухів. Дискретизація вибухів становила від 0,1 мс до 1,0 мс.

Обробка експериментальних даних при проведенні сейсмічного моніторингу масових вибухах у кар'єрах. Обробку результатів експериментів здійснювали методами математичної статистики з одержанням регресій за програмами багатofакторного кореляційно-регресійного аналізу. Близькість зв'язку досліджуваних факторів оцінювали за індексом кореляції.

Мінімальне необхідне число сейсмометричних вимірів дорівнює 3 і обчислене за формулою:

$$N = 0,2 \frac{3K_{\text{вар}}^2 + 1}{S_0^2}, \quad (4.1)$$

де $K_{\text{вар}}$ – коефіцієнт варіації, що характеризує розкид експериментальних точок:

$$K_{\text{вар}} = \frac{\sigma}{K_{\text{ср}}} 100\% = 5\%, \quad (4.2)$$

де S_0^2 – ймовірна помилка визначення коефіцієнта варіації; σ – середньо-квадратичне відхилення від середньої величини; $K_{\text{ср}}$ – середньо-арифметична величина ряду.

Сейсмічні виміри (контроль), отримані в роботі, – це виміри швидкості та періоду коливань сейсмовибухових хвиль у ґрунтовому масиві по профільних лініях.

Головною метою сейсмічних вимірювань є встановлення закономірностей взаємодії сейсмовибухових хвиль у коливальній системі «місце вибуху – закарстований гірський масив – об’єкт» з урахуванням частотних характеристик коливань ґрунту в різних його профілях. За результатами цих вимірювань визначаються швидкості коливань у різних діапазонах частот.

З метою оперативного контролю умов виконання проектів ВР, задоволення арбітражних оцінок у конфліктних ситуаціях, коли мають місце суб’єктивні відчуття підвищеного або зниженого прояву сейсмічного ефекту вибухів, застосовувався скрупульозний підхід до умов проведення інструментального контролю над сейсмічною дією вибуху, у т.ч. і за вибором пунктів спостереження.

Пункти реєстрації коливань ґрунту обладнувалися на ділянках і об’єктах, розташованих у безпосередній близькості від найближчих підривних блоків, відразу за границею безпеки по розлітання шматків породи та за напрямками розташування об’єктів, що охороняються.

Розміщення точок спостереження визначається характером поставленого завдання – визначення особливостей поширення коливань від масових вибухів

у 5–8 точках спостереження, що розташовані на ґрунті по обраному лінійному профілю. При цьому особлива увага приділялася технологічним факторам ведення ВР (наявність виробленого простору, конфігурація заряду, черговість підривання зарядів і т.ін.), а також розташуванню точок спостереження щодо блоку, що підривається (фронтальне, тильне, флангове), оскільки зазначені фактори суттєво впливають на інтенсивність струсів ґрунту.

Таким чином, на основі вищенаведеного можливо зробити висновки:

1. Встановлено, що організацію сейсмічного контролю на сучасному рівні може забезпечити обґрунтована структурна схема апаратурної реєстрації коливань, обробки результатів вимірювань і достовірність їх отримання, щодо умов проведення короткоуповільнених масових вибухів на гіпсових кар'єрах ВАТ «Миколаївцемент», ВАТ «Івано-Франківськцемент» та ПП «Скала-Інтер», заснована на використанні швидкодіючих АЦП і комп'ютерів.

2. Для проведення сейсмовимірювань від стандартних сеймоприймачів можливо використати розроблене програмне забезпечення та застосувати швидкодіючі АЦП типу Е14-440 та Е14-140, підключені до персональних комп'ютерів типу «note-book».

4.2 Експериментальні дослідження з визначення емпіричних залежностей швидкості сейсмічних коливань від приведеної до заряду відстані для гірничо-геологічних умов гіпсових кар'єрів ВАТ «Миколаївцемент», ВАТ «Івано-Франківськцемент» та ПП «Скала-Інтер»

Існує проблема сейсмічної безпеки вибухових робіт при поширенні сейсмічних хвиль в закарстованому масиві гірських порід, яка полягає в тому, що мають місце зміни параметрів різних типів сейсмічних хвиль, пов'язаних з хвильовими явищами як при взаємодії з масивом середовища, так і поверхневими будівлями та порожнинами під ними. В результаті досліджень в підрозд. 2.1 були розроблені конструкції свердловинних зарядів ВР, які відповідають геологічній

структурі колонок кожної свердловини, і які при їх використанні показали ефективно руйнування саме корінних порід, які складають блок, але не дана оцінка їх сейсмічної дії за межами кар'єрного поля в зонах розташування об'єктів, що охороняються. В результаті сейсмічних явищ, викликаних вибухами розроблених конструкцій свердловинних зарядів ВР, у густонаселених районах виникала сейсмонебезпека будівель та карстових порожнин під ними, пов'язана із помилками щодо оцінки статичних сил та сейсмічної дії різних типів хвиль, які виникають під час вибуху. Для розв'язання цієї задачі було обрано напрямок подальших досліджень, пов'язаних, в першу чергу, з необхідністю виявлення впливу неоднорідності масивів конкретних кар'єрів території України з урахуванням статичних сил та сейсмічної дії різних типів хвиль при оцінці стійкості будівель та порожнин під ними і, враховуючи вищенаведене, – розроблення сейсмобезпечних технологічних схем з використанням запропонованих конструкцій свердловинних зарядів ВР, які особливо ускладнювались при наближенні робіт до об'єктів, що охороняються.

При цьому реальні значення сейсмостійкості поверхневих будівель відрізнялись в залежності від того, на якій глибині знаходились карстові порожнини під ними. Тому дослідження також були спрямовані на визначення параметрів сейсмічних хвиль на ґрунтові основи таких будівель. Наразі вкрай необхідні дослідження, які дадуть змогу виправити існуючі помилкові визначення сейсмостійкості з урахуванням статичних сил та сейсмічної дії різних типів хвиль на стійкість будівель та порожнин під ними. Тому в подальших дослідженнях оцінку сейсмічної дії різних типів хвиль в закарстованому масиві від короткоуповільненого вибуху, існуючих в т.ч. розроблених конструкцій свердловинних зарядів ВР, з'єднаних неелектричною системою типу «Нонель» проводили за результатами апаратурних вимірювань масових швидкостей коливань, одержаних по профільних лініях у напрямку розташування поверхневих будівель та порожнин під ними. Останні визначались за звітами акустичних вимірювань спеціалістами інституту прикладних проблем екології, геофізики і геохімії.

При цьому був прийнятий метод вимірювання сейсмічних коливань по профільних лініях з встановленням на кожному профілі постійних точок спостережень, які при порівнянні коливань від різних вибухів були еталонними. Визначення похибки вимірів і кількості експериментів проводили за допомогою апаратури і за методикою, описаною вище.

Перед проведенням інструментальних вимірювань обстежувалися місця проведення підричних робіт і район навколо блоку, що підривався. Для навколишніх будівель, на основі нормативної документації (НД), таких як «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» (п.6.9) [123] та Державних стандартів України [124, 125], визначали допустимі норми сейсмобезпеки. Виконання цих НД в нашій державі є обов'язковим для всіх міністерств, відомств, підприємств і організацій, які займаються підричними роботами. У польовому журналі фіксувалися гірничо-геологічні умови родовища та наявність карстових порожнин, визначався азимут розташування вимірювального профілю, загальна маса заряду, величина заряду в максимальній групі, приведена маса заряду, а також схеми комутації зарядів, інтервали уповільнення при КУП та інші дані.

У промислових умовах проводили вимірювання сейсмоколивань від масових вибухів із загальною масою вибухового заряду від 5 до 25 тонн. Вертикальні свердловинні заряди розміщували на блоці довжиною 20–80 м і шириною 10–50 м та підривали короткоуповільнено, з різними поверхневими 10, 20, 35, 50, 70 мс та внутрішньосвердловинними 400, 500 мс уповільненнями за різними схемами з'єднання, в тому числі – посвердловинному. Максимальна маса миттєвого заряду, що підривається у групі, сягала 6 тонн і обмежувалась загальною масою, яка залежно від відстані до охоронних об'єктів визначалась відповідно НД. При кожному масовому вибуху датчики встановлювалися по профільних лініях в напрямку розташування як поверхневих будівель з карстовими порожнинами під ними, так і без них, по колу від блоку, що підривався, у зоні більше 400 м.

Для зручності розшифрування осцилограм і одержання більшої кількості

інформації із площі, у кожній точці профілю реєстрували в основному вертикальну (Z) складову масової швидкості коливань, а у відповідальних пунктах (наприклад, ґрунтова основа поверхневих будівель та карстова порожнина під нею) – всі 3 складові.

Обробка експериментальних даних ґрунтується на фундаментальному принципі геометричної або енергетичної подібності, виражаючи рух хвиль через приведену масу заряду $Q^{1/3}/r$ або приведену відстань $r/Q^{1/3}$, що дозволяє встановити зв'язок між параметрами джерела сейсмічних хвиль і середовища, в якому поширюється хвиля, у функції відстані (r).

Як вихідний матеріал для встановлення кореляційного зв'язку між швидкістю коливань і приведеною масою заряду було використано закон динамічної подібності Ньютона:

$$U = K(r / Q_{\text{гр}}^{1/3})^{-n} \quad (4.3)$$

де K – коефіцієнт пропорційності, $\text{м}^{n+1}/\text{с} \cdot \text{кг}^{n/3}$; $Q_{\text{гр}}$ – максимальна маса вибухової речовини на одне уповільнення, кг; n – показник степеня загасання; r – відстань від місця вибуху до пункту спостереження, м.

Слід відмітити, що із результатів літературного аналізу встановлено велике розмаїття значень коефіцієнтів пропорційності (K) та показника степеня загасання (n) для різних гірничо-геологічних умов. Причому останні практично у всіх дослідженнях як в межах одного масиву гірських порід, так і різних не є постійними навіть в різних азимутальних напрямках. Тому для достовірності одержання кореляційного зв'язку між швидкістю коливань і приведеною масою заряду дослідження змін параметрів сейсмовибухових хвиль при їх поширенні по профільних лініях від промислових вибухів з використанням інструментальних вимірів швидкостей коливань проводили за методикою, наведеною вище, в умовах гіпсових кар'єрів ВАТ «Миколаївцемент», ВАТ «Івано-Франківськцемент» та ПП «Скала-Інтер».

Наведемо результати експериментальних досліджень з визначення параметрів сейсмовибухових хвиль при їх виникненні від масових вибухів у Щирецькому гіпсовому кар'єрі ВАТ «Миколаївцемент», та їх поширенні за його межі, в зоні розташування житлових будинків та карстових порожнин під ними с. Піски. Слід відмітити, що в Щирецькому кар'єрі з використанням масових вибухів відпрацьовується родовище гіпсів об'ємною вагою $2,1 \text{ т/м}^3$, швидкість поширення поздовжніх хвиль – 2600 м/с , поперечних – 1400 м/с , поверхневих – 910 м/с . З північної сторони від кар'єру знаходиться населений пункт (с. Піски), де у ґрунтовому масиві є карстові канали і фіксувались випадки провалення ґрунту разом з будинками. Будинки с. Піски знаходяться на відстані $1300 - 1450 \text{ м}$ від місця проведення масових вибухів. Територія між селом і кар'єром достатньо обводнена, що підсилює сейсмічну дію вибухових хвиль. Водоносний горизонт аллювіальних нашарувань залягає на глибині $1,0 - 3,5 \text{ м}$, його потужність – від 0 до 10 м . Коефіцієнт фільтрації в кар'єрі – $1,0 - 6,0 \text{ м/добу}$. Хімічний склад води – сульфатнокальцієва (мінералізація $1,94 - 2,46 \text{ г/л}$). Характеризуючи буровибухові роботи, слід відмітити, що в час проведення досліджень підриваємі блоки знаходились на одному горизонті $269 - 285 \text{ м}$, з висотою уступів $10 - 16 \text{ м}$. Довжина зарядів $10,3 - 12,2 \text{ м}$, загальна маса зарядів $3978 - 5346 \text{ кг}$, маса зарядів у групах $442 - 1052 \text{ кг}$, кількість свердловинних зарядів у групах $2 - 4$, кількість свердловинних зарядів на блоці – $17 - 21$, питома маса ВР – $0,69 - 0,78 \text{ кг/м}^3$. Діаметр свердловин – 160 мм . Ініціювання зарядів – за допомогою хвилеводів типу Nonel.

При цьому використано методику викладеної багатоканальної профільної реєстрації коливань за напрямком кар'єр – будівля. Експериментальні вимірювання проводились за профільними лініями протяжністю $1300 - 1450 \text{ м}$, а розрізи кожного профілю проходили через карстові порожнини в різних азимутальних напрямках у місцях розташування будівель с. Піски. Підривання свердловинних зарядів здійснювалось з різними масами заряду ВР групи уповільнення з використанням неелектричної системи ініціювання зарядів. Тривалість ініціювання всіх свердловинних зарядів на кожному блоці

становила до 1 с, виходячи з потреб виробництва. Профілі проведення сейсмічного моніторингу в гірничо-геологічних умовах ВАТ «Миколаївцемент» Щирецького гіпсового кар'єру з визначення параметрів сейсмовибухових хвиль при їх виникненні від масових вибухів і поширенні в зони, де розташовані поверхнева будівлі та карстові порожнини під ними, наведемо на карті місцевості (рис 4.2).

Характерну схему експерименту, де проводився сейсмічний моніторинг при виникненні сейсмовибухових хвиль від масового вибуху, їх поширення по профілю (по лінії розташовані поверхнева будівля та карстова порожнина під нею), до ґрунтової основи об'єктів, що охороняються, наведено на рис. 4.3. Протокол результатів досліджень наведено в табл. 4.1 і (додатоки В, Д).

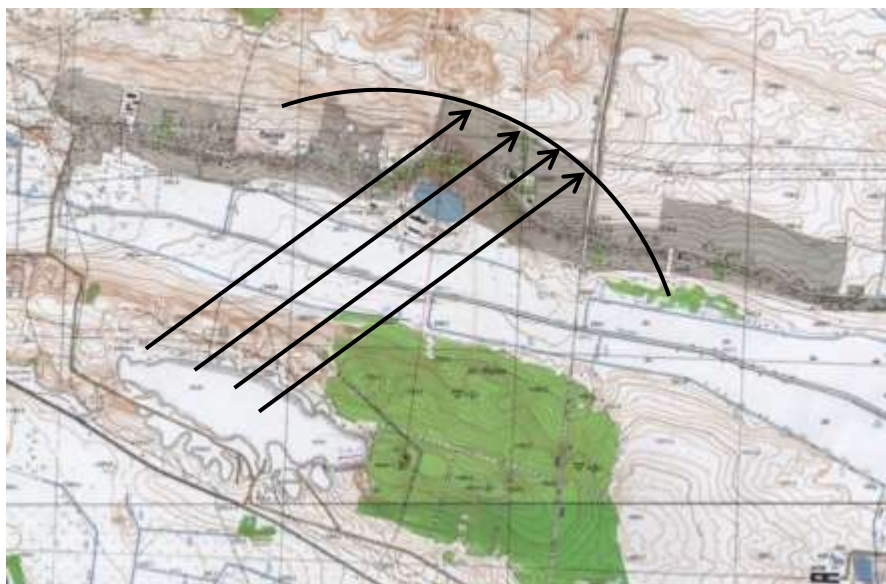


Рис. 4.2. План місцевості з нанесенням профілей встановлення сейсмоприймачів при проведенні сейсмічного моніторингу масових вибухів у кар'єрі

За даними експериментальних досліджень, у кожній точці встановлення сейсмоприймача визначались типи порід, масова швидкість (см/с) та амплітудно-частотний спектр коливань.

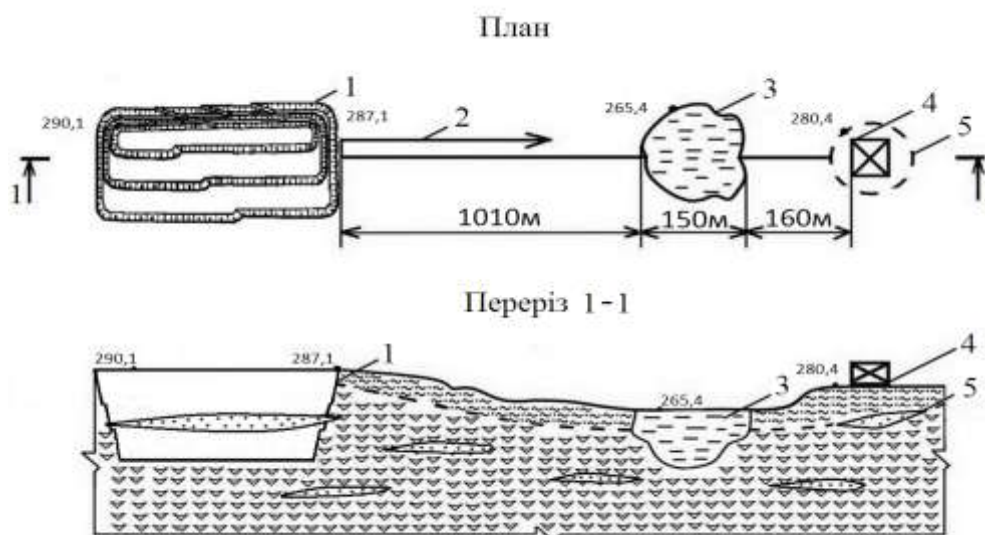


Рис. 4.3 Характерна схема проведення експерименту, де по профільній лінії розташовані поверхнева будівля та карстова порожнина під нею: 1– кар’єр; 2 – профіль сейсмовимірів; 3 – озеро; 4 – поверхнева будівля; 5 – карстова порожнина під будівлею

Апаратура пройшла перевірку в ДП «Укрметртестстандарт» України і одержала свідоцтво на відповідність кожного засобу вимірювальної техніки вимогам експлуатаційної документації.

Під час запису параметрів сейсмічних хвиль, які виникли від дії одного із характерних масових вибухів у Щирецькому кар’єрі, сеймоприймачі встановлювались по лінійному профілю довжиною 1450 м.

Дію коливань ґрунту на об’єкти, що охороняються, можна оцінити модулем вектора швидкості коливань

$$|U| = \sqrt{(U^X)^2 + (U^Z)^2}, \quad (4.4)$$

де U^X – максимальна швидкість коливань по горизонтальній (радіальній) складовій за напрямком: місце вибуху–пункт спостереження; U^Z – вертикальна складова швидкості коливань.

Коливання по Y-складовій незначні за величиною і суттєво не впливають на величину вектора швидкості.

Таблиця 4.1

Результати сейсмовимірювань

Відстань від блоку, що підривається, до пункту спостереження, м	Тип сейсмоприймача	№ сейсмоприймача	Складові коливання	Об'ємна хвиля		Поверхнева хвиля			Пункти вимірювань в основі будинків №
				Швидкість зміщення ґрунту, см/с	Частота коливань ґрунту, Гц	Швидкість зміщення ґрунту, см/с	Частота коливань ґрунту, Гц	Модуль вектора швидкості зміщення ґрунту, см/с	
1450	СМ-3	3	Z	0,0185	29	0,019	3,2	0,030	95*
1430	“	5	Z	0,0235	30	0,028	3,0	0,045	102*
1425	“	7	Z	0,0145	20	0,025	3,1	0,040	103*
1420	СМ-3В	10	X	0,025	20	0,030	2,9	0,040	106*
	“	8	Y	0,022	21	0,028	3,3		
	СМ-3	17	Z	0,022	23	0,026	3,1		
1350	“	9	Z	0,025	25	0,028	3,0	0,045	115*
1300	“	11	Z	0,030	31	0,029	3,1	0,046	120

Примітка: * – будинки, що знаходяться в зоні карстоутворення

На рис. 4.4 представлена сейсмограма коливань часток ґрунту по профільній лінії 1300-1450 м від короткоуповільненого вибуху свердловин з максимальною масою в групі 226 кг, звідки видно, що максимальні амплітуди коливань ґрунту належать поверхневим низькочастотним (3–4 Гц) хвилям, а в об'ємних високочастотних (16–30 Гц) хвилях амплітуда коливань в 1,5 – 3,0 рази менша в порівнянні з поверхневими. На рис. 4.5 наведено результати спектрального аналізу цих осцилограм у вигляді енергоємних частотних коливань, одержаних біля будівель з карстовими порожнинами під ними.

U , см/с

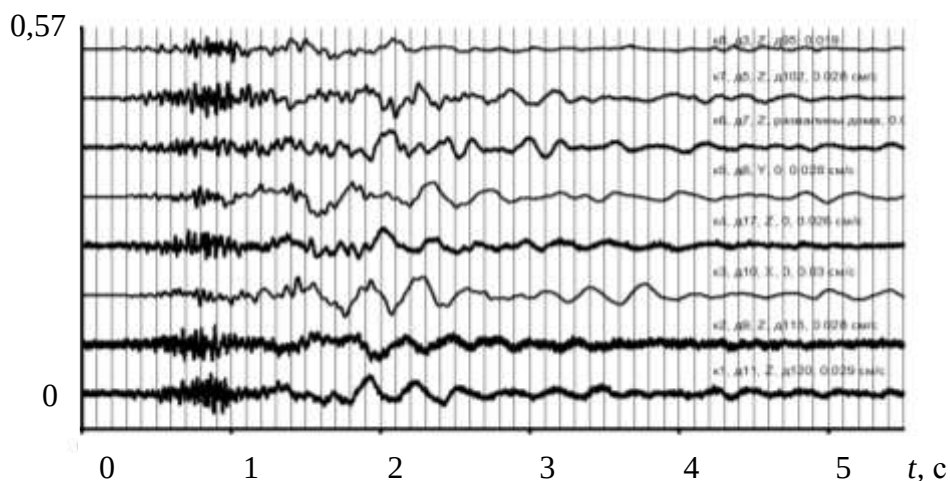
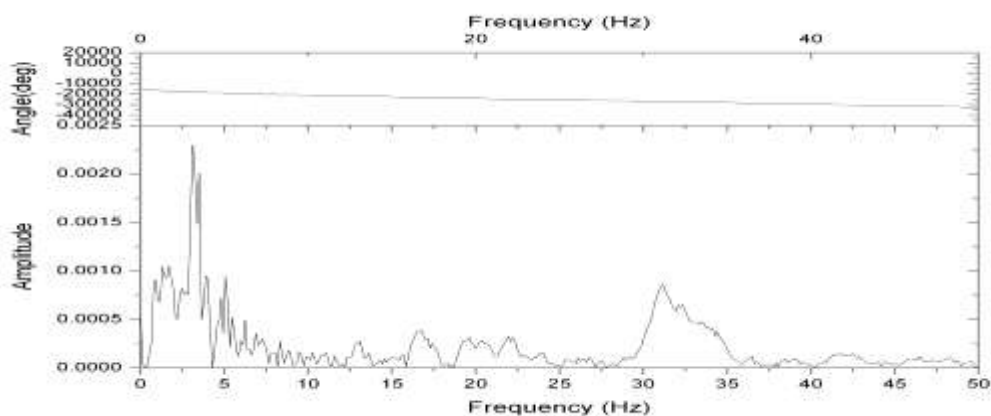


Рис.4.4 Характерна осцилограма коливань ґрунту, в т.ч. – ґрунтової основи будівлі по профілю встановлення сеймоприймачів у с. Піски від масового вибуху

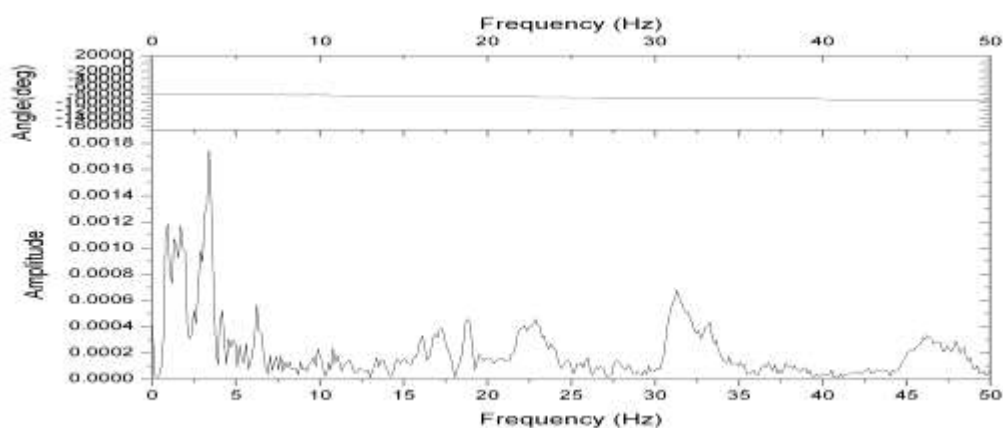
Незважаючи на те, що частота коливань ґрунту в поверхневих хвилях R практично співпадає з частотою власних коливань будівель, резонансних явищ не спостерігається, розхитування охоронних будівель відсутнє. Це пояснюється короткою дією коливального процесу ґрунту в поверхневій хвилі (близько 1с) на охоронні об'єкти.

Із рис. 4.5 видно, що енергоємними частотами коливань у районі с. Піски є діапазон низькочастотних коливань 2–4 Гц, що пов'язано як зі значною відстанню поширення сейсмічних хвиль, коли високочастотні коливання інтенсивно затухають, так і з залежністю їх від закарстованості масиву гірських порід, а також від типу ВР та конструкції заряду.

Інтенсивність коливань по X -складовій знаходиться з Z -складовою у співвідношенні $U^X=1,25U^Z$. Таким чином, при експериментальних роботах достатньо одержати дані лише за вертикальною складовою, що простіше і надійніше, оскільки не потребує строгої орієнтації приладу по відношенню до місця вибуху і, крім того, забезпечує стабільні результати, а за вищенаведеним співвідношенням можливо визначити X -складову.



а



б

Рис. 4.5. Спектри сейсмічних коливань ґрунтової основи при масовому вибуху в Щирецькому кар'єрі: а, б, – біля будинків №№ 95, 102, 103, 107 відповідно

Динамічні характеристики СВХ в пунктах встановлення сейсмоприймачів у районі с. Піски наведено в табл. 4.1, а сейсмограму і спектри коливань – на рис. 4.4 і 4.5.

Отримані сейсмо- і спектрограми у відповідних точках профілю дозволили визначити в цих точках значення максимальних швидкостей зміщення ґрунтів (см/с) і переважаючі частоти коливань (Гц), та розрахувати приведені маси заряду для кожної точки профільних ліній (додатоки В, Д) У

результаті обробки даних отримані значення коефіцієнту пропорційності (K), показники степеня загасання (n) по напрямках, де розташовані поверхнева будівля та карстова порожнина під нею, на основі формули 4.3 кореляційні залежності швидкостей зміщення ґрунтів від приведеної маси заряду в гірничо-геологічних умовах ВАТ «Миколаївцемент» Щирецького гіпсового кар'єру.

Закономірності виникнення, поширення й взаємодії сейсмічних коливань як з наземними будівлями і карстовими порожнинами під ними, так і без них при масових вибухах в Щирецькому кар'єрі, можливо виразити емпіричною залежністю швидкості зміщення ґрунту (табл.4.1) від приведеної до заряду відстані, яка по профільній лінії від Щирецького кар'єру ВАТ «Миколаївцемент» до с. Піски з розташуванням поверхневої будівлі і карстової порожниною під нею апроксимується в наступному вигляді:

$$U = 13,5(r / Q_{\text{гр}}^{1/3})^{-1,7}, \text{ м/с}, \quad (4.5)$$

а по профільній лінії від Щирецького кар'єру ВАТ «Миколаївцемент» до с. Піски з розташуванням поверхневої будівлі без карстової порожнини – у вигляді:

$$U = 13(r / Q_{\text{гр}}^{1/3})^{-1,7}, \text{ м/с}. \quad (4.6)$$

Дані залежності апроксимуються відповідно позиціям «а» і «б» рівняннями вигляду:

$$U_z = y = 0,0009x^2 - 0,4349x + 54,024, R^2 = 0,6709; \quad (4.7)$$

$$U_z = y = 0,0009x^2 - 0,4349x + 54,024, R^2 = 0,6709. \quad (4.8)$$

Аналогічні дослідження були проведені для умов гіпсових родовищ кар'єрів ВАТ «Івано-Франківськцемент» та ПП «Скала-Інтер».

За результатами експериментальних даних встановлені функціональні залежності $U_z = f(r/Q_{\text{гр}}^{1/3})$ (рис. 4.6).

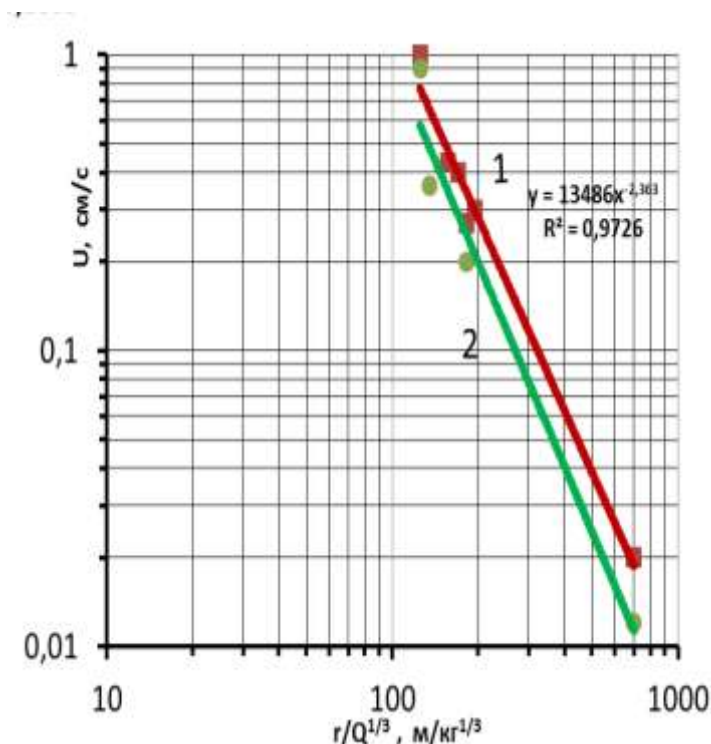


Рис. 4.6 Залежності модуля вектора швидкості коливань ґрунту від приведеної до заряду відстані, за даними вимірювань у профільній лінії від місця вибуху в Щирецькому кар'єрі до поверхневої будівлі: 1 – поверхнева будівля та карстова порожнина під нею вище лінії НГСТ; 2 – в профільній лінії виміру та біля поверхневих будівель за відсутності карстової порожнини

Використовуючи значення швидкостей зміщення ґрунтів (см/с), які отримані на основі експериментальних даних від сейсмовимірів 4-х масових вибухів в кар'єрі ВАТ «Івано-Франківськцемент», стало можливим виразити їх залежністю від приведеної до заряду відстані, яка по профільній лінії від кар'єра ВАТ «Івано-Франківськцемент» до с. Дубівці з розташуванням поверхневої будівлі, де карстові порожнини відсутні, апроксимується в наступному вигляді:

$$U = 41,6(r / Q_{\text{гр}}^{1/3})^{-2,1}, \text{ м/с.} \quad (4.9)$$

Як приклад хвильового процесу в кар'єрі ПП «Скала-Інтер», на основі експериментальних даних одержано графічну залежність (рис. 4.7) швидкості сейсмоколиваний ґрунту ($|U_s|^2$, см/с), по об'ємній хвилі за вертикальною складовою від приведеної до маси заряду відстані, яка по профільній лінії від кар'єра ПП «Скала-Інтер» до с. Пилипче, з розташуванням поверхневої будівлі, де карстові порожнини відсутні, апроксимується в наступному вигляді:

$$U = 31,3(r / Q_{\text{гр}}^{1/3})^{-1,5}, \text{ м/с}, \quad (4.10)$$

де r – відстань від блоку, що підривається, до пункту спостереження, м; $Q_{\text{гр}}$ – максимальна маса зарядів у групі, що підривається миттєво з одним інтервалом уповільнення, кг. Коефіцієнт кореляції зазначеної залежності – 0,970.

$$U_z = y = 13486x^{-2,363}, \quad R^2 = 0,9726. \quad (4.11)$$

Отримані значення швидкості сейсмоколиваний дозволили розрахувати приведені маси заряду для кожної точки профільної лінії і по кожному родовищу.

У результаті обробки даних протоколів (додатки В, Д) отримані значення коефіцієнту пропорційності і показника степеня загасання по напрямках для гіпсових кар'єрів ВАТ «Миколаївцемент», ВАТ «Івано-Франківськцемент» та ПП «Скала-Інтер» на основі формули 4.1, кореляційні залежності швидкості сейсмоколиваний від приведеної до заряду відстані (табл. 4.2).

Графіки залежності швидкості сейсмічних коливаний від приведеної до заряду відстані та відстані від джерела вибуху до будівель для 3-х кар'єрів, наведено на рис.4.8.

На підставі вищенаведеного вважаємо за доцільне назвати емпіричний показник степеня загасання n коефіцієнтом сейсмічності масиву K , оскільки він встановлює однозначну відповідність між зарядом ВР й інтенсивністю

загасання сейсмічних хвиль у закарстованому породному масиві між точкою вибуху і точкою їх реєстрації.

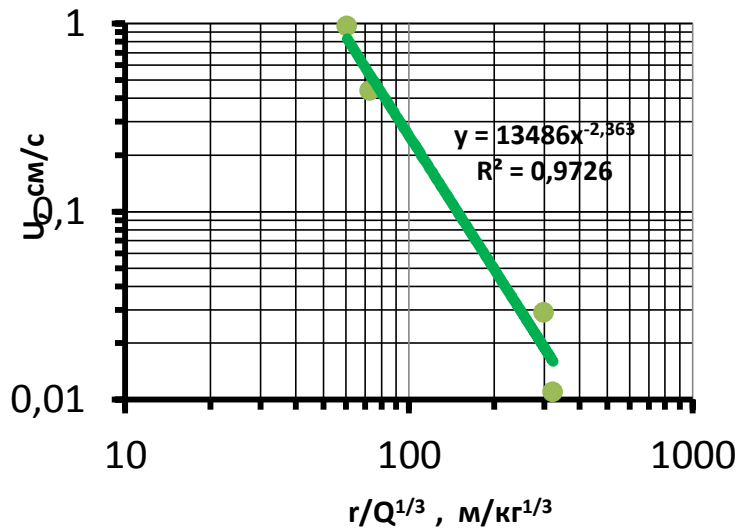


Рис. 4.7 Залежність модуля вектора швидкості коливань ґрунту від приведеної до заряду відстані за даними вимірювань у профільній лінії від місця вибуху в кар'єрі ВАТ «Івано-Франківськцемент» до найближчої поверхневої будівлі (карстові порожнини під будівлею та в профілі не сканувались)

Таблиця 4.2

Значення емпіричних коефіцієнтів пропорційності K і показника степеня затухання хвилі n для 3-х гіпсових кар'єрів

Гіпсові кар'єри	K	n
ВАТ «Івано-Франківськцемент»	$41,60 (U_R^Z)$	$2,1 (U_R^Z)$
ПП «Скала-Інтер»	$31,3 (U_S^Z)$	$1,5 (U_S^Z)$
ВАТ «Миколаївцемент»	$13,5 (U_R^Z)$	$1,7 (U_R^Z)$
Щирецький кар'єр	$13,0 (U_R^Z)$	$1,7 (U_R^Z)$

Проведений чисельний аналіз виразів (4.5–4.7) показав, що емпіричний показник степеня загасання n має більш вагоме значення для визначення швидкості сейсмічних коливань ґрунту, ніж величина коефіцієнта сейсмічності

вибуху K . Так, зміна емпіричних показників степеня загасання хвилі n від 2,1 до 1,5 для однакових приведених до заряду відстаней для 3-х кар'єрів, як наведено на рис. 4.8, призводить до зміни швидкості сейсмічних коливань, тоді як зміна коефіцієнта сейсмічності вибуху K з 13,0 до 41,60 для тих само приведених до заряду відстаней призводить тільки до незначних змін швидкості сейсмічних коливань.

Вищенаведені результати означають, що використання в аналітичних розрахунках тільки емпіричного коефіцієнта K , як це рекомендується нормативними документами [ДСТУ 4704:2008], може призвести до того, що визначення розрахункового значення швидкості сейсмічних коливань ґрунту під фундаментами, що захищаються, при масових вибухах у гіпсових кар'єрах стане недостатньо достовірним.

Тому для більш надійного і достовірного визначення розрахункової швидкості сейсмічних коливань ґрунту під фундаментами поверхневих будівель з карстовими порожнинами під ними, що охороняються, доцільно використовувати результати аналізу моніторингу масових вибухів у гіпсових кар'єрах у вигляді одержаних для цих умов емпіричних залежностей (4.3).

Такі залежності дозволяють з необхідною достовірністю визначати стосовно конкретних гірничо-геологічних умов даних гіпсових кар'єрів величину емпіричних коефіцієнтів K і n .

Тоді, приймаючи за даними табл. 4.1 величину максимально допустимої швидкості сейсмічних коливань, i , знаючи значення емпіричних коефіцієнтів K і n , з виразу (4.3) можна визначити нормативну величину гранично допустимої маси заряду ВР, що припадає на інтервал уповільнення, а значить – і сейсмічно безпечну відстань до масового вибуху. Розрахунок останніх наведено в наступному розділі.

Таким чином, розв'язання наведеної вище прямої задачі експериментального плану, винекнення та поширення сейсмовибухової хвилі у закарстованому масиві гірських порід, дозволило одержати емпіричні залежності для визначення рівнів сейсмічної дії короткоуповільненого вибуху

системи свердловинних зарядів ВР для пунктів, де не проводилися сейсмовимірювання.

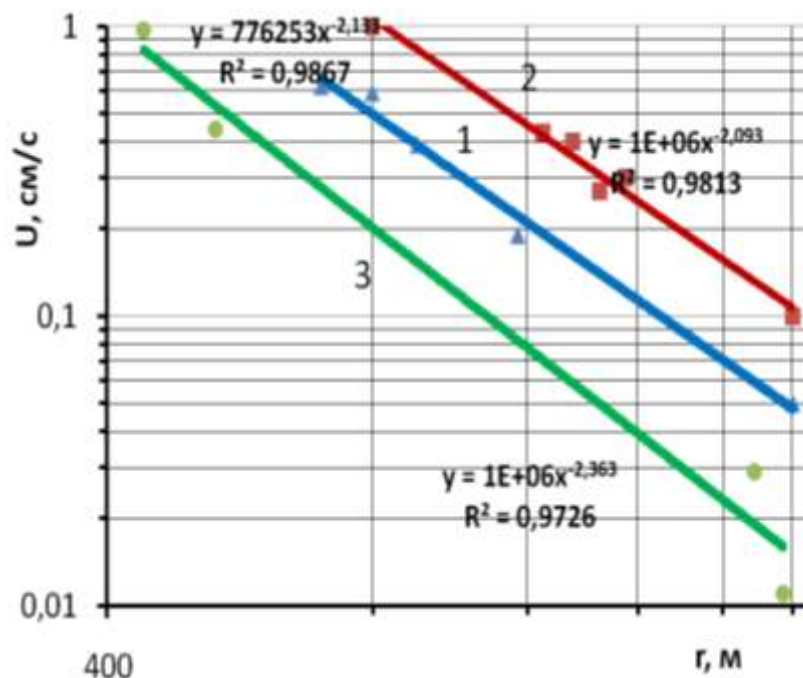
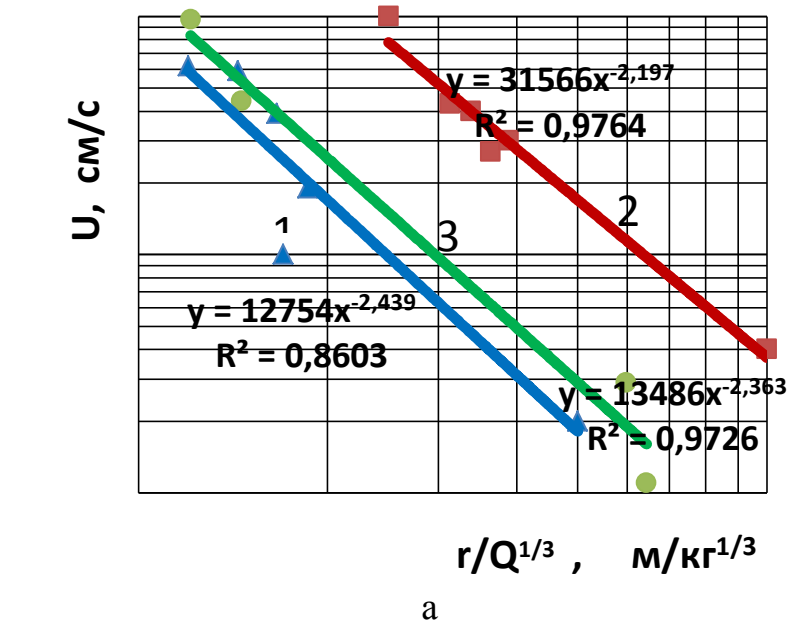


Рис. 4.8 Графіки залежності швидкості сейсмічних коливань від приведеної до заряду відстані (а) та відстані до точки спостереження (б) – (1, 2, 3 – кар'єри «Скала-Інтер», Щирецький та «Івано-Франківськцемент» відповідно)

Тому застосування цих досліджень дає можливість за існуючими нормативними документами, в т.ч. відповідно ДСТУ, оцінити зміни інтенсивності сейсмічних коливань при переході СВХ від ґрунтової основи фундаменту будівлі на саму будівлю та карстову порожнину під нею; провести розрахунок будівлі, в тому числі карстової порожнини під нею, на допустимі сеймонавантаження з подальшим коригуванням масштабів вибухових робіт та розробленням методики оцінки сейсмоефекту масових вибухів для визначення сейсмобезпечних масштабів підривних робіт.

Висновки до розділу 4

1. Наведено методику сейсмічного моніторингу апаратурних вимірів сейсмовибухових хвиль при їх виникненні від масових вибухів на кар'єрах та поширенні у закарстованих масивах гірських порід по різних профільних лініях в зоні розташування об'єктів, що охороняються, з використанням програмного забезпечення та АЦП типу Е14-440 та Е14-140.

2. Проведено аналіз результатів сейсмічного моніторингу масових вибухів в умовах кар'єрів «Скала-Інтер», Щирецький та «Івано-Франківськцемент», який ґрунтується на визначенні емпіричних коефіцієнтів для опису аналітичних залежностей щодо встановлення закономірностей виникнення, поширення та взаємодії (накладання) сейсмічних коливань з об'єктами, що охороняються.

3. Внаслідок дослідження результатів моніторингу масових вибухів на гіпсових кар'єрах, встановлено степеневі залежності (4.5), (4.6) та (4.9-4.10) зміни швидкості сейсмічних коливань від величини приведеної до заряду відстані по профілях вимірювань в напрямку об'єкту на поверхні та карстової порожнини під ним і без неї, з графічною інтерпретацією модуля вектора швидкості сейсмічних коливань для різних відносних до заряду відстаней, отриманих за експериментальними даними при вибухах в кар'єрах (рис. 4.8).

4. Розраховано значення коефіцієнтів пропорційності K та n за результатами обробки експериментальних даних при вибухах на гіпсових кар'єрах (табл. 4.2).

Основні результати досліджень даного розділу відображені в роботах [120, 121, 128, 129, 130, 133, 138].

РОЗДІЛ 5

АНАЛІТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДІЇ СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА КАРСТОВУ ПОРОЖНИНУ ВІД ТИСКУ ПОВЕРХНЕВИХ БУДІВЕЛЬ ТА СЕЙСМІЧНИХ ВПЛИВІВ ПІД ЧАС ВИБУХІВ У ГІПСОВИХ КАР'ЄРАХ. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

5.1 Загальні відомості

Застосування одержаних в попередньому розділі залежностей дає можливість без проведення сейсмовимірювань оцінити зміни інтенсивності сейсмічних коливань в основному на прилеглі наземні будівлі. Але для забезпечення сейсмостійкості підземних об'єктів (наприклад карстової порожнини) при переході СВХ від ґрунтової основи фундаменту будівлі на саму будівлю та карстову порожнину під нею необхідно провести додаткові дослідження щодо їх сейсмостійкості як від динамічних, так і статичних сил. Тому в гірничо-геологічному районі, де знаходиться поверхнева будівля та підземна карстова порожнина під нею, спочатку слід розв'язати задачу, яка полягає в розрахунку деформацій, що не призводять до порушення стійкості карстових порожнин в активній зоні наземних споруд, за СНіП 2.02.01-83 і ДБН В.2.1-10-2009, з використанням розрахункової схеми у вигляді пружного лінійно-деформованого напівпростору і шару скінченної товщини [124-125]. При розташуванні карстової порожнини в активній зоні – це зона на глибині якої затухають додаткові тиски від зовнішніх навантажень до величини 0,2 побутових тисків, тобто від тисків власної ваги шарів ґрунту, розташованих вище. Ця висота є нижньою границею стискаємої товщі (лінія НГСТ) [126]. У залежності від гірничо-геологічних умов району розташування поверхневої будівлі та карстової порожнини під нею, вона може бути розташована вище або нижче лінії НГСТ. Від останньої буде залежати наявність або відсутність

напружень, які додатково будуть діяти на стінки порожнини. Тому для подальших досліджень необхідно знайти спільну дію статичних та динамічних впливів на сейсмостійкість прилеглих до кар'єру наземних і підземних об'єктів у взаємозв'язку із закономірностями зміни енергоємності, витраченої на подрібнення гірської маси [127].

5.2 Дослідження статичних навантажень від тиску власної ваги поверхневої будівлі на деформування карстової порожнини з урахуванням місця розташування її по відношенню до нижньої границі статичного тиску

В дослідженнях [128–131] розглянуто задачу про напружений стан масиву, ослабленого сферичною порожниною, який створюється за рахунок власної його маси, та визначені і розраховані найбільш критичні точки на поверхні порожнини, напруження в яких найбільші, і можуть призвести до початку процесу обвалення її стелі. Однак, не врахована глибина розташування карстової порожнини відносно лінії НГСТ, нижче якої не будуть створені умови тисків власної ваги, розташованих вище шарів ґрунту та поверхневої будівлі.

Розрахунок основ під будівлями можливо виконати за двома граничними станами [128-132]:

- а) перший граничний стан – розрахунок на міцність, стійкість і несучу здатність ґрунтових основ;
- б) другий граничний стан – розрахунок за деформаціями (осадками), нерівномірними осадками, а висотних будинків – і за граничним креном.

На практиці розрахунок основ виконується головним чином за II-м граничним станом, тобто за деформаціями (осадками), який передбачає визначення величини таких граничних деформацій, при якій буде можливою нормальна експлуатація будівлі.

Причини виникнення і розвитку деформацій основ є багатофакторними, такими як зволоження основ, замерзання і танення, температурний вплив, динамічні навантаження, сейсмічні впливи, порушення структури ґрунтів тимчасовими наземними спорудами, будівництво підземних споруд, розробка корисних копалин, проведення вибухових робіт, зміщення ґрунтових масивів, зсуви, повені, розрідження масивів, набухання, усадки і т.ін.

Всі вказані причини виникнення і розвитку деформацій основ неможливо враховувати в розрахунках граничних деформацій під час проектування будівель і споруд, тому величина граничних деформацій основ визначається за наступними ознаками:

- деформації, отримані в результаті дії зовнішнього навантаження від будівель, фундаментів будівель і споруд;
- деформації, отримані в результаті зміни фізичних властивостей ґрунтів основ (таких як набухання, просадка, розрідження, карсти, суфозійні деформації тощо) від власної ваги ґрунтів, тобто від побутових тисків.

Таким чином, розрахунок за осадками або деформаціями будівель виконується, виходячи з наявних зовнішніх навантажень і власної ваги (від побутових тисків) ґрунтів.

При розв'язанні статичної задачі, осідання основи фундаменту у відповідності з рекомендаціями СНіП 2.02.01-83 і ДБН В.2.1-10-2009 визначалось методом пошарового підсумовування осідань окремих шарів у межах товщі основи, що стискається, або в активній зоні деформацій основ до лінії НГСТ (рис. 5.1). Приймається, що для фундаментів шириною менше 10 м осадка викликається додатковим тиском P_{oz} , що дорівнює різниці між середнім тиском, який передається фундаментом P_{II} , і природним (побутовим) тиском $P_{\gamma z} = \gamma'_{II} h$ (від ваги ґрунту виїмки котловану γ'_{II}).

Метод пошарового підсумовування дозволяє визначити осадку як окремо розташованого фундаменту, так і фундаменту, на осадку якого впливають навантаження, що передаються сусідніми фундаментами.

Питання врахування впливу сусідніх фундаментів у даній роботі не розглядається.

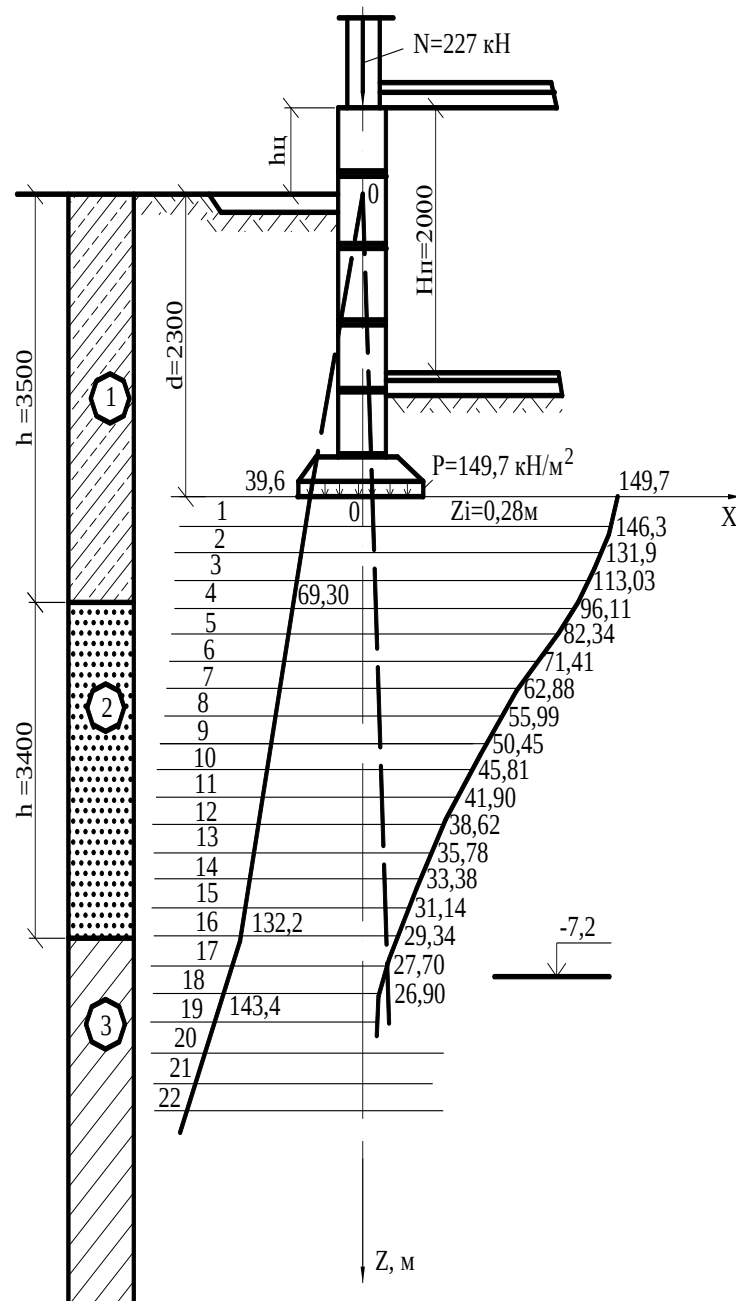


Рис. 5.1. Приклад розрахункової схеми основ двоповерхового житлового будинку за деформаціями і визначення лінії НГСТ

При розрахунку осадки окремо розташованого фундаменту необхідно визначити лінію НГСТ, в межах якої виконується розрахунок основи за

деформаціями. Для графічного знаходження лінії НГСТ необхідно побудувати епюри природного $P_{\delta z}$ і додаткового P_{oz} тисків ґрунту.

Ординати природного (побутового) тиску від власної ваги вищерозташованих шарів ґрунту визначаються за формулою, кН/м^2 :

$$P_{\delta z} = \sum \gamma_{II,i} H_i, \quad (5.1)$$

де $\gamma_{II,i}$ – розрахункове значення питомої ваги i -го шару ґрунту, кН/м^3 ; H_i – товщина i -го шару ґрунту, м.

Враховуючи те, що житлові будинки в селах довкола кар'єрів зазвичай будують на стрічкових фундаментах, які складаються з бутобетону або бетонних блоків заводського виготовлення товщиною $0,4 \div 0,5$ м, для розрахунку приймаємо як зразок сільського будинку – двоповерховий будинок з підвалом. Діючі розрахункові навантаження під зовнішню стіну з підвалом $N_{II}=227$ кН, нормативне $N^H_I=272$ кН; під внутрішньою стіною з підвалом $N_{II}=324$ кН; $N^H_I=389$ кН.

Використовуючи дані розрахунків [128-131], встановлено, що висота активної зони лінії НГСТ для двоповерхового будинку в даному випадку знаходиться до 7,2 м від поверхні землі або 4,9 м від підосви фундаменту, хоч активна зона може сягати 12 м від рівня підосви підземних споруд.

Основним висновком з досліджень цього підрозділу є те, що маса великого двоповерхового будинку с. Піски не спричиняє тиску на стінки карстової порожнини на глибині 20 м від земної поверхні.

Дія тиску, викликаного масою цього будинку, закінчується на глибині 7,2 м від земної поверхні (тут знаходиться лінія НГСТ). Положення цієї лінії може змінитись під впливом змін гідрогеологічного або техногенного характеру в одну і другу сторони.

Щодо карстових порожнин, то на практиці вони можуть знаходитися в активній зоні будинків до або нижче лінії НГСТ (рис. 5.2 а, б) [124].

Спочатку розглянемо умови порушення стійкості глибоких карстових порожнин, які знаходяться в активній зоні основ наземних будівель.

Карстові порожнини у вигляді обвальних і обвальо-суфозійних провалів можуть знаходитись в активній зоні наземних споруд. У таких випадках тиски, які доходять до поверхні карстових порожнин, можуть збільшити деформації активної зони споруд та призвести до її руйнування і просадки будівлі (рис. 5.2. а, рис. 5.3).

Якщо на зразок структурно порушених ґрунтів з обвалів карстових порожнин впливати з мінімально наростаючим, навіть статичним навантаженням ступінчатого характеру, приблизно від 0,005 до 0,01 МПа, отримаємо компресійну криву з ділянками, які різко відрізняються, як показано на рис. 5.3.

З графіка на рис.5.3 видно, що прямолінійна з дуже малим нахилом (поки не поверхневих структурних зв'язків, що є в мінімальному вигляді) ділянка від a до b опирається як квазітвердий матеріал, а при руйнуванні структурних зв'язків ділянка 2, від b до c – різко криволінійна, поводить ся як рідина. Межа між цими ділянками (точка b), тобто тиск відповідає різкому лавинному руйнуванню мінімальних структурних зв'язків. Ця ділянка від точки a до точки b приймається за структурну міцність $P_{\text{стр}}$ карстових порожнин. Для першої ділянки (при $\sigma = P_{\text{стр}}$) коефіцієнт відносної стисливості m_v (або пропорційний йому модуль загальної деформації) має постійну величину, тобто $m_{v,\text{стр}} = \text{const}$; тоді для іншої частини кривої $m_v = f(\sigma_i)$, тобто пряма функція стискуючого навантаження (σ_i). В напівлогарифмічній системі координат ділянка 2 від b до c випрямляється до прямої лінії (рис. 5.3,б). Це доводить, що на цьому відрізку 2 при підвищеному навантаженні більшому структурної міцності $\sigma_i = P_{\text{стр}}$ можуть відбуватися провальні деформації основ будівель. Якщо прийняти $P_{\text{стр}} = 0,05$ МПа, то при навантаженні $\sigma_i \geq 0,05$ МПа можна очікувати порушення стійкості карстових порожнин, що знаходяться в активній зоні основ будівель.

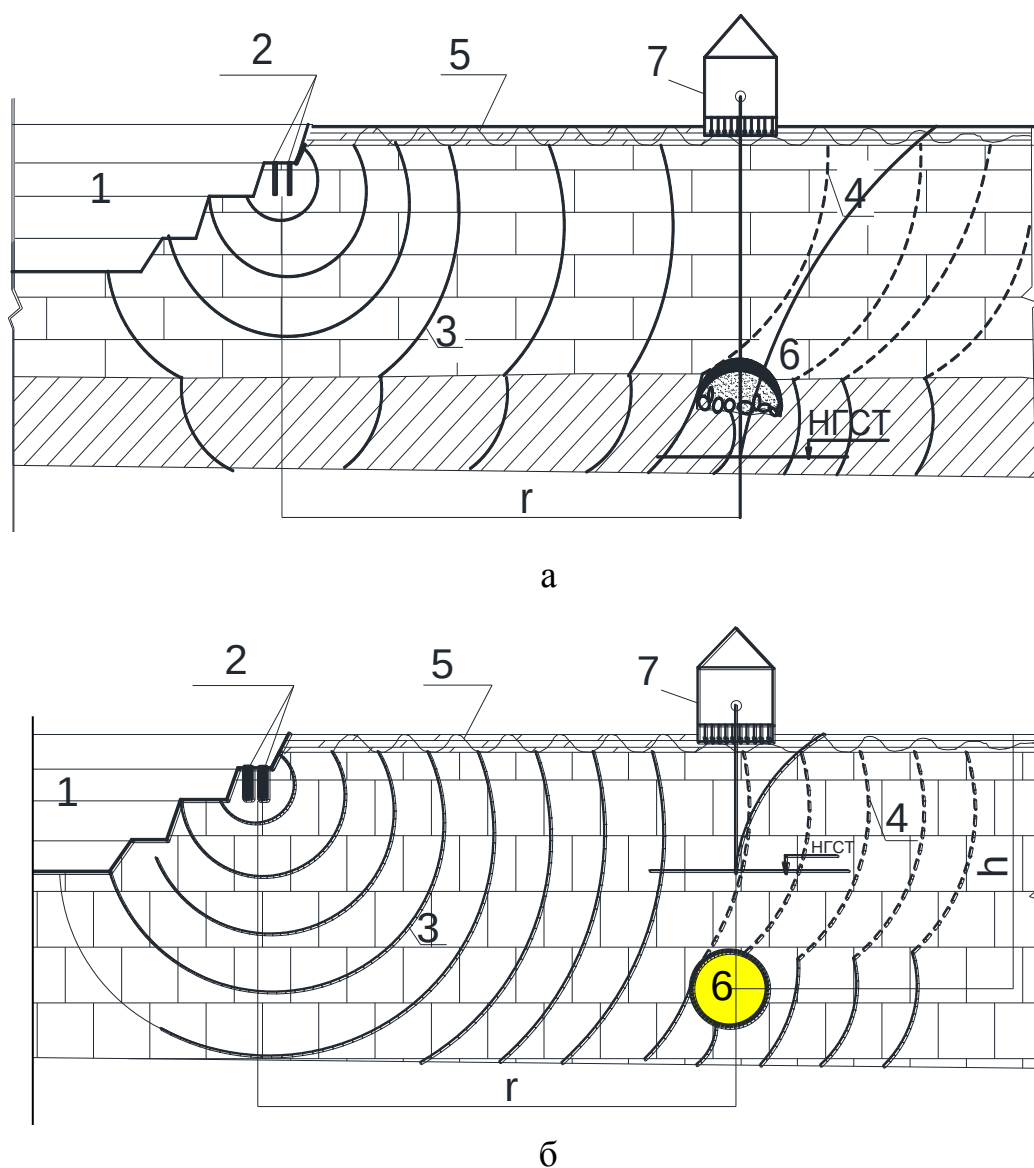


Рис. 5.2. Схеми поширення сейсмічних хвиль, трансформація їх в гіпсовому масиві з карстовою порожниною та розміщення будівлі і карстової порожнини відносно лінії НГСТ: а – карстова порожнина розташована в активній зоні будинку до лінії НГСТ на глибині h ; б – карстова порожнина розташована в активній зоні будинку нижче лінії НГСТ на глибині h ; 1 – кар'єр; 2 – свердловинні заряди на блоці, який підривається; 3 – фронт об'ємних хвиль; 4 – фронт відбитих від стелі порожнини об'ємних хвиль; 5 – поверхневі сейсмічні хвилі в м'яких ґрунтових масивах; 6 – карстова порожнина; 7 – будівля над порожниною; r – відстань від осередку вибуху до об'єктів, що охороняються; h – глибина розташування карстової порожнини (висота товщі ґрунту над порожниною)

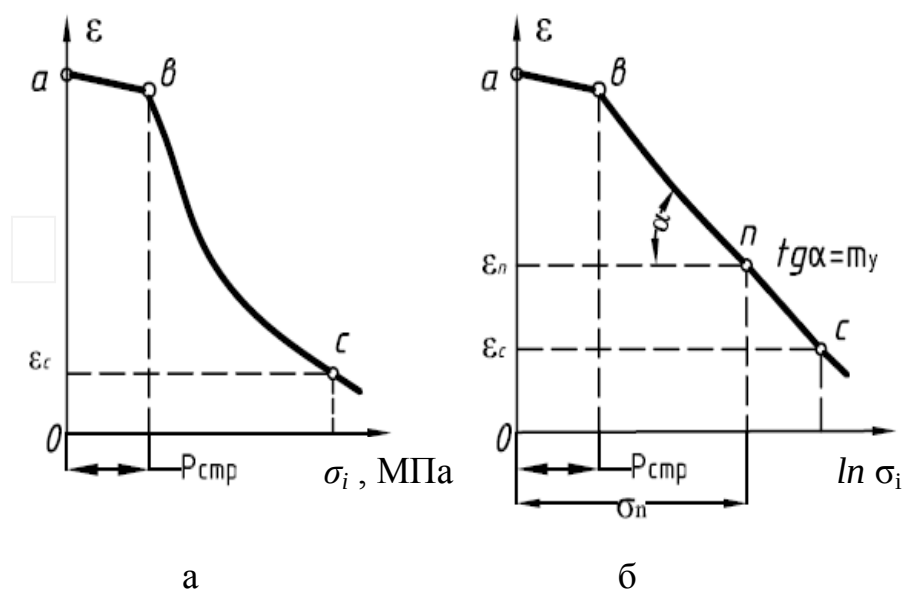


Рис. 5.3. Крива для структурно напружених обвалів карстових порожнин [126]: а – в координатах $\sigma_i \sim \epsilon$; б – в координатах $\ln \sigma_i \sim \epsilon$

У випадках, коли карсти знаходяться нижче активної зони основ під будівлями (рис. 5.2,б), лише об'ємні сейсмічні хвилі, які доходять до поверхні карстів, будуть впливати на їх стійкість.

Як відомо, при достатньо великій глибині залягання карстів від поверхні землі тиск на покрівлю порожнини визначається не вагою всього стовпа породи над нею, а вагою породи в об'ємі деякого ефекту свободоутворення, за теорією рівноваги.

Отже, можна вважати, що зниження несучої здатності карстових порід, що знаходяться в покрівлі порожнини, реальне лише при заляганні порожнини в активній зоні основ (рис. 5.3, а).

Зазвичай на карсти, що знаходяться на великій глибині, впливає не вся порода, розміщена над карстовою порожниною, а лише частина її, яка знаходиться в так званому приведеному тиску.

5.3 Розробка методу визначення спільної дії статичних і динамічних навантажень на карстові порожнини від тиску маси поверхневих будівель та їх сейсмостійкість під час вибухів у гіпсових кар'єрах

Одним із поставлених в дисертаційній роботі наукових завдань при проведенні підливних робіт на гіпсових кар'єрах України є забезпечення сейсмобезпеки промислових і цивільних об'єктів, розташованих на і поза територією гірничих підприємств. При цьому основними об'єктами, що потребують захисту, є як будівлі, так і карстові порожнини під ними. Стійкість останніх залежить як від статичного тиску будівлі й гірського масиву, так і від динамічних (вибухових) навантажень, що багаторазово діють на ці об'єкти. Перша, статична задача розглянута й розв'язана в попередньому параграфі. Для вирішення другої – динамічної – в розділі 4 були наведені результати проведених експериментальних досліджень в конкретних умовах гіпсових кар'єрів ВАТ «Миколаївцемент», ВАТ «Івано-Франківськцемент» та ПП «Скала-Інтер». При цьому використано дані сейсмовимірювань, одержані в цих умовах, і результати яких наведено в додатках А-Д.

Для розробки методу розрахунку сейсмобезпечних параметрів масових вибухів з урахуванням статичних сил і динамічних дій сейсмовибухових хвиль щодо забезпечення сейсмостійкості навколишніх наземних будівель і карстових порожнин під ними від проведення кар'єрних вибухів були поставлені та вирішені такі задачі дослідження:

- на основі сейсмовимірювальних робіт при проведенні масових вибухів у Щирецькому гіпсовому кар'єрі одержати амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) СВХ і проаналізувати їх вплив на стійкість житлових будівель с. Піски та карстових порожнин, які розташовані під будівлями;

- провести оцінку спільного впливу сейсмічної дії вибухових хвиль та тисків від ваги поверхневої будівлі і ґрунтів навколо карстової порожнини на її стінки;

– встановити критерії стійкості охоронних об'єктів (житлових будівель, карстових порожнин) і визначити їх необхідні кількісні норми для гарантування безпечного проживання місцевого населення;

– розробити рекомендації для Щирецького гіпсового кар'єру щодо параметрів підривних робіт, які дозволять прогнозувати сейсмобезпеку кар'єрних вибухів по відношенню до охоронних об'єктів.

Як приклад, проведемо оцінку сумісного впливу сейсмічної дії та тисків ваги поверхневої будівлі й ґрунтів над карстовою порожниною на деформування її стінок при проведенні масових вибухів у Щирецькому кар'єрі. Характерні схеми розміщення будівлі і карстової порожнини відносно лінії НГСТ розглянуто в попередньому параграфі і наведено на рис. 5.2. На цьому рисунку показано також місця розташування кар'єру (1), блоку, який підривається (2), фронти поширення об'ємних (3), відбитих об'ємних (4) та поверхневих хвиль (5); охоронні об'єкти – карстова порожнина (6) та будинок (7), прилеглі до промзони кар'єру.

При розв'язанні статичної задачі осідання основи фундаменту, у відповідності з рекомендаціями СНіП 2.02.01-83 і ДБН В.2.1-10-2009, за наведеним у попередньому розділі пошаровим методом визначалась лінія НГСТ відносно карстових порожнин, які знаходились в активній зоні будинків до або нижче цієї лінії (рис. 5.2).

Розв'язання статичної задачі проведемо за критерієм стійкості карстових порожнин [126]. При цьому вертикальний гірський (природний, побутовий) тиск (кг/м^2) на стінку карстової порожнини від власної ваги порід визначається за формулою:

$$P_k = \gamma \cdot h, \quad (5.2)$$

де γ – питома вага породи, кг/м^3 ; h – відносна висота стовпа гірської породи

від карстової порожнини до земної поверхні ($h=a/d$, тут a – абсолютна висота гірської породи, м; d – діаметр карстової порожнини, м).

При розрахунку осідання окремо розташованого фундаменту визначали лінію НГСТ, в межах якої виконувався розрахунок основи по деформаціях. Для графічного знаходження лінії НГСТ будуються епюри природного $P_{\delta z}$ і додаткового P_{oz} тисків ґрунту (рис. 5.1).

Метод прогнозування сейсмобезпечних параметрів вибухів на стінку карстової порожнини заснований на використанні результатів, наведених у розділі 5 аналітичних і експериментальних досліджень дії сейсмічних хвиль, викликаних масовими вибухами у кар'єрі [133-137].

При проведенні аналітичних досліджень швидкість коливань ґрунту (см/с) сейсмічної хвилі на стінках карстової порожнини визначається за формулою:

$$U_{\kappa}^x = U_R^x \cdot e^{-1,7h/\lambda}, \quad (5.3)$$

де U_{κ}^x – швидкість коливань ґрунту сейсмічної хвилі на стінках карстової порожнини, см/с; U_R^x – швидкість коливань ґрунту поверхневої хвилі в ґрунтовій основі будівлі над карстовою порожниною, см/с; λ – довжина сейсмічної хвилі, м; h – відстань від карстової порожнини до будівлі на земній поверхні, м.

Напругу на стінці карстової порожнини (Па) можливо одержати, використавши залежність Ландау-Лівшица:

$$\sigma_{\kappa} = U_{\kappa}^x \cdot V_R \cdot \gamma / g, \quad (5.4)$$

де σ_{κ} – напруга на стінці карстової порожнини, Па; V_R – швидкість поширення сейсмічних хвиль, м/с; γ – об'ємна вага гіпсу, кг/м³; $g = 9,81$ м/с².

Тоді умова рівності статичних і динамічних дій запишеться у вигляді:

$$P_{\kappa} = \sigma_{\kappa}. \quad (5.5)$$

При розрахунку основ за деформаціями середній тиск під подошвою фундаменту не повинен перевищувати розрахунковий тиск на основу R (кН/м²), визначеного за формулою СНіП 2.02.01-83 і ДБН В.2.1-10-2009:

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} \left[M_{\gamma} k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma'_{II} + (M_q - 1) d_b \gamma'_{II} + M_c c_{II} \right], \quad (5.6)$$

де γ_{c1} , і γ_{c2} – коефіцієнти умов роботи (табл. 3 [СНіП]); k – коефіцієнт, який приймається за умови, що параметри φ і c отримані шляхом безпосереднього випробування в лабораторних умовах; M_{γ} , M_q , і M_c – безрозмірні коефіцієнти, які залежать від φ і b (табл. 4 [СНіП]); d_b – глибина підвалу від рівня планування до його підлоги; c_{II} – сила зчеплення ґрунту основи, МПа.

5.4 Розроблення рекомендацій щодо сейсмобезпечних параметрів буропідричних робіт в умовах гіпсових кар'єрів з використанням емпіричних залежностей та у відповідності з ДСТУ 4704:2008

Визначення динамічних впливів від дії сейсмічних хвиль для забезпечення сейсмобезпеки будівлі й карстової порожнини під нею проводилось з використанням одержаних емпіричних залежностей (4.5), (4.6) та (4.9–4.10), одержаних на основі розв'язання прямих задач експериментального плану із застосуванням закону динамічної подібності, наведених в розд. 4 та у відповідності з рекомендаціями ДСТУ 4704:2008.

Важливою умовою для розроблення алгоритму розрахунку сейсмобезпеки будівлі й стійкості порожнини під нею є одержання в розд. 4 даних експериментального характеру щодо визначення ступеня поглинання

інтенсивності сейсмічної хвилі в конкретних умовах гіпсових кар'єрів ВАТ «Миколаївцемент», ВАТ «Івано-Франківськцемент» та ПП «Скала-Інтер» (табл. 4.1) на шляху її поширення. Для прикладу проведемо дослідження спільної дії статичних і сейсмічних впливів на поверхневі будівлі та карстові порожнини під ними в умовах Щирецького гіпсового кар'єру ВАТ «Миколаївцемент».

Щодо характеристики охоронних об'єктів, то це – житлові будинки с. Піски, віддалені від кар'єру на відстань 1300 – 1450 м і які являють собою, в основному, одно-двоповерхові споруди приватного сектору. Останні зазнають постійного впливу сейсмовибухових хвиль, що виникають в результаті проведення ВР в Щирецькому кар'єрі. Будівлі с. Піски, відповідно ДСТУ 4704:2008 [125], відносяться до будівель II категорії з допустимими швидкостями зміщення їх ґрунтової основи 0,3 см/с, з урахуванням спектрального складу коливань. Слід відмітити, що ґрунтовий масив, на якому споруджено ці будівлі, є унікальним у сейсмологічному відношенні, оскільки у ньому наявні карстові порожнини в т.ч. – під будівлями, на різних глибинах від земної поверхні, які визначалися шляхом апаратурних вимірювань спеціалістами інституту прикладних проблем екології, геофізики і геохімії.

З динамічних характеристик СВХ, наведених в табл. 4.1, видно, що в пунктах встановлення сейсмоприймачів 8, 17, 10 у районі с. Піски під час масового вибуху, що аналізується, швидкість коливань ґрунту біля будинків у профілі вздовж вулиці становила від 0,019 до 0,03 см/с, що від 10 до 6 разів менше 1 балу коливань за Міжнародною шкалою MSK-64 (1 бал прирівнюється до 0,2 см/с), що не перевищує норми ДСТУ 4704:2008.

Для нормалізації психологічного стану мешканців с. Піски необхідно було вирішити задачу, яка полягала в обмеженні маси заряду або в розробленні таких схем ініціювання системи свердловинних зарядів ВР в Щирецькому кар'єрі, які б створили умови сейсмічної їх дії, щоб інтенсивність СВХ в районі дороги, яка проходить через с. Піски була на порядок меншою 1 бала (0,125–0,2 см/с) за Міжнародною сейсмічною шкалою MSK-64, або за

сейсмічною шкалою для вибухів, тобто, – на рівні струсів, які виникають при проїжджанні біля будинків автомобільного транспорту. Тому були проведені додаткові сейсмовимірювання масових швидкостей коливань, збуджених дією руху 40-тонного автомобіля зі швидкістю 60 км/год біля будинку №106, де були встановлені сейсмоприймачі. Одержані сейсмо- та спектрограми наведені на рис. 5.4, 5.5.

Резерв для зменшення інтенсивності СВХ міститься в розробленні оптимальної схеми КУП, коли кожна свердловина на блоці ініціюється окремо з оптимальним інтервалом уповільнення (не менше $\frac{1}{2}$ періоду коливань хвилі), а фактично при експериментальному вибуху згідно схеми комутації свердловин з різницею у 10 мс підривались суміжні свердловини №8 і №20, №7 і №19 тощо, а такий малий проміжок часу (10 мс) між підриваннями свердловин, як показали заміри параметрів СВХ, майже в 1,5 рази менше $\frac{1}{2}$ періоду коливань хвилі і дає підстави стверджувати, що фактично відбувається одночасне підривання двох свердловин зі зростанням сейсмоефекту вибуху.

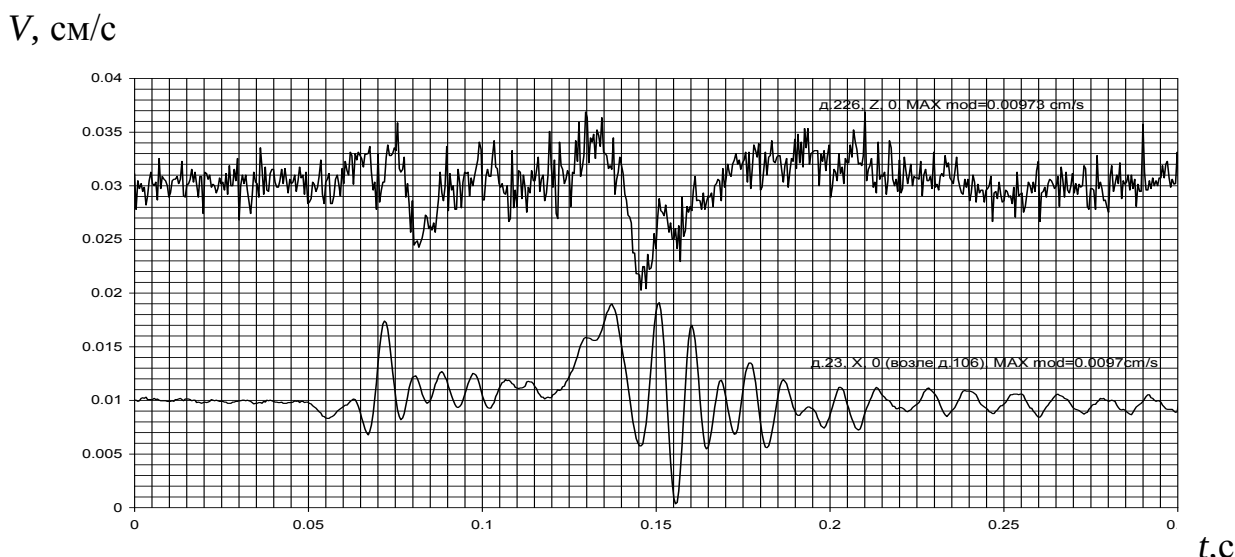


Рис. 5.4. Осцилограма сейсмічних коливань, збуджених проїжджанням 40-тонного автомобіля на відстані 20 м від будинку №106 с. Піски

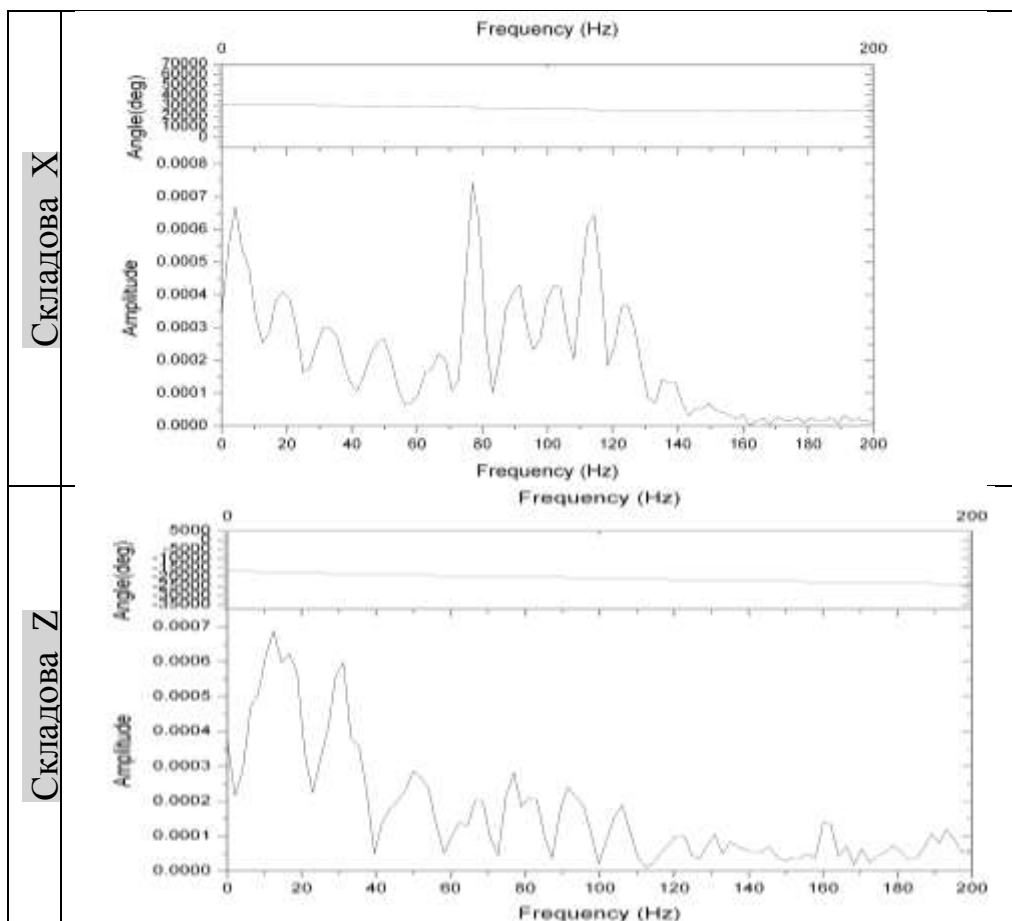


Рис. 5.5. Спектрограми сейсмічних коливань збуджених проїжджанням 40-тонного автомобіля на відстані 20 м від будинку №106 с. Піски зі швидкістю 60 км/год

Стосовно динамічних характеристик хвиль у віддалених районах розташування будівель над порожнинами встановлено, що під час масових вибухів, на прикладі Щирецького кар'єру, швидкість коливань ґрунту становить від 0,019 до 0,028 см/с, що майже на порядок менше інтенсивності коливань в 1 бал (не менше 0,2 см/с). Місцеве населення, яке не знає про проведення вибуху, може таку бальність і не відчувати. Ці коливання знаходяться на рівні таких, які можуть виникнути при проїзді автомобіля вулицею.

Розв'язанням прямої задачі експериментального характеру за даними сейсмічних вимірювань в умовах Щирецького гіпсового кар'єру були одержані емпіричні коефіцієнти пропорційності і показник степеня затухання за методом динамічної подібності, наведеним в розд.4 (табл.4.2). Використовуючи останні

та значення допустимої швидкості коливань ґрунту в основі фундаменту будівлі ($U_{\text{доп}}$, см/с), визначеної відповідно ДСТУ 4704:2008, розраховувались сейсмобезпечні параметри масових вибухів у кар'єрах для навколишніх житлових будівель. Максимально допустима величина маси свердловинних зарядів ВР в групі ($Q_{\text{доп}}$, кг) при одночасному їх підриванні визначалась за формулою:

$$Q_{\text{доп}} = (U_{\text{доп}} / K)^{3/n} \cdot r_c^3; \quad (5.7)$$

де $U_{\text{доп}}$ – допустима швидкість коливань ґрунтової основи наземної будівлі в поверхневій хвилі визначена відповідно ДСТУ 4704:2008, см/с.

Розрахунок допустимих мас заряду в одній групі на прикладі Щирецького гіпсового кар'єру проводимо з використанням ф-ли (5.7), підставляючи значення коефіцієнтів K та n з табл. 4.2, одержаних для умов Щирецького кар'єру:

для профілю з розташуванням в с. Піски поверхневої будівлі і карстової порожнини під нею використовувалась залежність виду:

$$Q_{\text{доп}} = (U_{\text{доп}} / 13,5)^{3/1,7} r_c^3, \text{ кг}; \quad (5.8)$$

а для профілю з розташуванням в с. Піски поверхневої будівлі без карстової порожнини – залежність виду:

$$Q_{\text{доп}} = (U_{\text{доп}} / 13)^{3/1,7} r_c^3, \text{ кг}. \quad (5.9)$$

Формула (5.8) стосується лише будівель, під якими карстові порожнини розташовані вище лінії НГСТ.

Використавши ф-лу (5.8-5.9), табл. 4.2 та значення допустимої швидкості

коливань ґрунту в фундаменті будівлі ($U_{\text{доп}}=0,3$ см/с), визначені у відповідності ДСТУ4704:2008, проведемо розрахунки сейсмобезпечних параметрів масових вибухів у кар'єрі. Розраховані допустимі маси заряду в одній групі по відношенню до охоронних об'єктів с. Піски при багаторазових масових вибухах в Щирецькому кар'єрі (табл.5.1), а функціональна залежність $Q_{\text{доп}} = f(r_c)$ для даних умов наведена на рис. 5.6, у тому числі з урахуванням рекомендованої конструкції свердловинних зарядів ВР [136, 137]. Методика розрахунку величини $Q_{\text{доп}}$ була апробована також в умовах гранітного кар'єру [138, 141].

Таблиця 5.1

Допустимі маси заряду в одній групі в Щирецькому гіпсовому кар'єрі

Відстань від блоку, що підривається, до охоронного об'єкту, м	Допустима маса заряду в одній групі, кг		
	рекомендовані конструкції		традиційні конструкції
	для будівель з карстовими порожнинами під ними	для будівель без карстових порожнин під ними	для будівель з карстовими порожнинами під ними
900	220	380	150
950	260	390	170
1000	300	450	200
1050	350	525	230
1100	400	600	265
1150	460	690	300
1200	520	780	345
1250	590	880	400
1300	660	990	440
1350	730	1090	490
1400	800	1200	530
1450	900	1350	600
1500	1000	1500	670

Примітка: 1. Допустимі маси зарядів, визначені для сезону робіт літо і зима. 2. Для сезону робіт весна і осінь допустимі маси зарядів повинні бути зменшені в 1,2 раза

При визначенні допустимої маси зарядів (табл.5.1) за допустиму швидкість коливань ґрунту прийнято величину $U_{\text{доп}}=0,3$ см/с, виходячи з того, що протягом всього періоду проведення сейсмоконтролю при масових вибухах в Щирецькому кар'єрі на території с. Піски не були порушені будівлі і карстові порожнини при вимірюваннях швидкості зміщення частинок ґрунту 0,019 – 0,03 см/с.

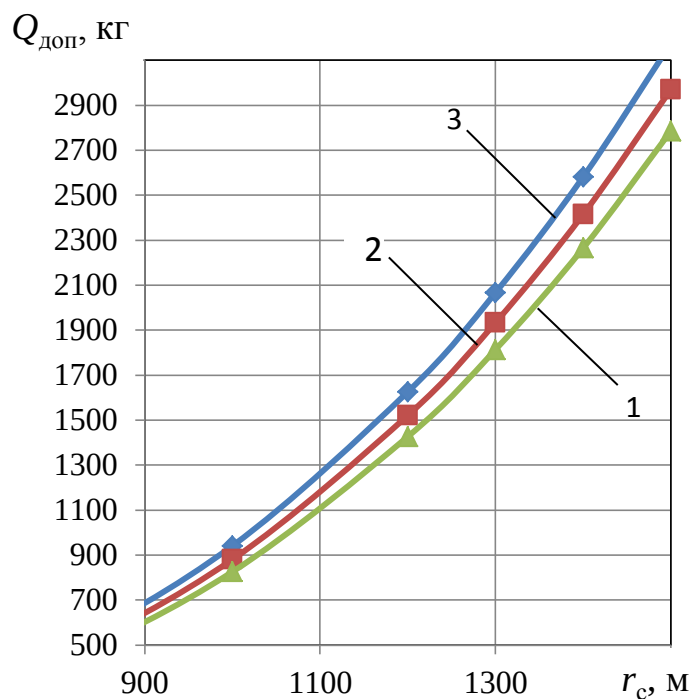


Рис. 5.6. Залежності допустимої маси заряду в одній групі від відстанні до охоронних об'єктів: 1 – для традиційних конструкцій свердловинних зарядів ВР і будівель з карстовими порожнинами під ними; для розроблених конструкцій свердловинних зарядів ВР: 2 – для розроблених автором конструкцій свердловинних зарядів ВР і будівель з карстовими порожнинами під ними; 3 – для розроблених автором конструкцій свердловинних зарядів ВР і будівель без карстових порожнин під ними

Наведемо приклад розрахунку спільної динамічної і статичної дії на стінку карстової порожнини під будинком №106:

1. Гірський тиск на стінку карстової порожнини під дією власної ваги порід визначається за формулою (5.2):

$$P_K = \gamma \cdot h = 1900 \frac{20}{5} = 7600, \text{ кг/м}^2 = 0,076, \text{ МПа.}$$

2. Швидкість коливань ґрунту на стінках карстової порожнини визначається за формулою (5.3):

$$U_K^x = U_R^x \cdot e^{-1,7 \cdot h/\lambda} = 0,03 \cdot e^{-1,7 \cdot 20/160} = 0,0243, \text{ см/с,}$$

де $U_R^x = 0,03$ – максимальне значення швидкості коливання ґрунту релєївської хвилі на земній поверхні біля будинку 106 (табл.5.2), розташованого над карстовою порожниною, одержане з осцилограми масового вибуху.

3. Напруга на стінці карстової порожнини визначається за формулою (5.4):

$$\sigma_K = 2,43 \cdot 10^{-4} \cdot 1,4 \cdot 10^3 \cdot \frac{2300}{9,81} = 80, \text{ кг/м}^2 = 8 \cdot 10^{-4}, \text{ МПа.}$$

Таким чином, на стінку карстової порожнини діють: сейсмічна хвиля – динамічна дія і тиск гірського масиву – статична дія.

Приймаючи відношення динамічних сил до статичних як 1,8, можливо розрахувати напругу від сейсмічних дій хвиль на стінки карстової порожнини

$$\sigma_g = 8 \cdot 10^{-4} \text{ МПа} \cdot 1,8 = 14,4 \cdot 10^{-4}, \text{ МПа.}$$

У зв'язку з цим можливо зробити висновок, що гірський масив на стінки карстової порожнини, розташованої вище лінії НГСТ, тисне в 52 рази ($0,076 \text{ МПа} / 0,00144 \text{ МПа} = 52$) сильніше за дію сейсмічних хвиль на приведених відстанях $250\text{--}280 \text{ м/кг}^{1/3}$.

Наведені розрахунки на основі використання даних сейсмовимірювальної апаратури показали, що масові вибухи в Щирецькому кар'єрі не впливають на стійкість карстових порожнин, а цей фактор також забезпечує стійкість житловим будинкам, що знаходяться над карстовими порожнинами на денній поверхні ґрунтового масиву.

При розробленні рекомендацій щодо сейсмобезпечних параметрів буропідричних робіт в умовах гіпсових кар'єрів спочатку визначаються маси вибухівки в суцільних і розділених карстовими порожнинами свердловинах за методом, наведеним у розд.3, необхідні для якісного подрібнення гірської породи. Отримане значення маси заряду ВР порівнюється з гранично допустимим значенням. Якщо проектне значення маси заряду ВР на інтервал уповільнення не перевищує граничних значень, то проект масового вибуху затверджується і приймається до виконання. В іншому випадку проект масового вибуху переглядається до тих пір, поки умови його безпечного здійснення будуть виконані. Як було відмічено вище, відповідно до чинних нормативних документів, загальним критерієм сейсмічної безпеки промислових і цивільних об'єктів, при якому забезпечується їх збереження під час масових вибухів, є допустима швидкість сейсмічних коливань ґрунту під фундаментом поверхневої будівлі і напруження на карстові порожнини під ними. Допустима швидкість сейсмічних коливань ґрунту визначена відповідно до ДСТУ 4704:2008. Для визначення сейсмічно безпечних параметрів масових вибухів в гіпсових кар'єрах нами використані результати експериментального визначення емпіричних коефіцієнтів K і n (табл. 4.2), які встановлені для гірничо-геологічних умов 3-х кар'єрів. Саме тут в основному і знаходяться поверхневі будівлі і карстові порожнини під ними, які потребують захисту від негативного

впливу сейсміки масових вибухів і статичних дій. Тому аналітичні емпіричні вирази (4.5, 4.6, 4.9, 4.10) для гірничо-геологічних умов районів розташування житлових масивів сіл Дубівці, Пилипче і Піски біля гіпсових кар'єрів ВАТ «Івано-Франківськцемент», ПП «Скала-Інтер» та Щирецький кар'єр ВАТ «Миколаївцемент» відповідно були використані для розроблення нижченаведених рекомендацій.

Виконання промислових досліджень для розроблення практичних рекомендацій здійснено на базі основних наукових напрямів з гірничої сейсміки, що містять результати теорії та експериментів, які враховують вплив природних і технологічних чинників [56, 62, 105, 113, 127, 139, 140].

Розроблення рекомендацій та впровадження результатів дослідження проводились на основі аналізу масових вибухів, які виконувались на гіпсових кар'єрах, і для яких були одержані сейсмо- і спектрограми для гірничо-геологічних умов [142]. При цьому у відповідності до ДСТУ 4704:2008 [123] визначали допустимий рівень значення амплітуд швидкостей коливань всіх діапазонів частот із застосуванням методики, наведеної в розд.4. Аналізувались схеми комутації щодо визначення допустимих мас заряду в одній групі в залежності від відстані, за експериментально встановленими емпіричними формулами.

Аналогічно викладеному в попередньому підрозділі проведемо розрахунки допустимої маси заряду в одній групі в залежності від відстані до найближчих будівель при багаторазових масових вибухах в умовах гіпсових кар'єрів «Івано-Франківськцемент» та ПП «Скала-Інтер».

Передумовою виконання робіт було те, що в с. Дубівці, яке розташоване біля кар'єру ВАТ «Івано-Франківськцемент», у власників будинків, що знаходяться в зоні 380-2550 м від місця вибуху, були скарги на виникнення тріщин будівель після масових вибухів. Для дослідження ситуації були вивчені умови проведення попередніх масових вибухів.

Визначення сейсмічної дії масового вибуху системи свердловинних зарядів ВР на житлові будинки с. Дубівці проводилось із застосуванням методики багатоканальної реєстрації коливань, наведеної в розд.4. Реєстрація та обробка інформації (аналіз амплітудно-частотних параметрів сейсмовибухових хвиль) по профілю встановлення сейсмоприймачів від 2-х сеймостанцій з 5-ти стандартних сейсмоприймачів проводились із застосуванням швидкодіючих АЦП типу Е-140 та Е-440, підімкнених до персональних комп'ютерів типу ноутбук.

Характеристика вибуху №1, проведеного на горизонті +217 м, блок №60:

- типи вибухових матеріалів: ЗАРС-120 (592 кг), ЗАРС-85 (185 кг), грамоніт ГР 79/21(40 кг), електродетонатори короткоуповільненої дії ЕДКЗ - ПМ (15 мс);

- маса вибухових зарядів: загальна – 876,2 кг (74 свердловини діам. 150 мм, глиб. – 3,5 м, вага заряду в сверд. – 12,1 кг), на одне уповільнення в максимальній групі – 193 кг, інтервал уповільнення всіх 7 груп – 15 мс;

- загальний час ініціювання зарядів – 90 мс, при загальній масі ВР 876,2 кг середня маса заряду ВР, яка вибухає за 1 мс, становила 9,7 кг;

- схема короткоуповільненого масового вибуху порядна, з кількістю груп 7 шт.

Характеристика умов встановлення сейсмовимірювальної апаратури:

- профіль встановлення сейсмоприймачів у південно-західному напрямку в зоні 500–2650 м, місце та відстань (від епіцентру вибуху):

біля буд.№6 по вул. залізничній (сеймостанція №1):

- пункт 1, відстань – 500 м від висаджуваного блоку до місця встановлення сейсмоприймачів №217 СМ-3(З) на ґрунтовій основі біля будинку №6 по вулиці Залізничній;

- пункт 2, відстань – 570 м від висаджуваного блоку до місця встановлення сейсмоприймачів №182 СМ-3(З) на земельній ділянці на відстані 10 м від залізничного переїзду та 70 м від фундаменту будинку №6 по вулиці Залізничній;

територія шкільного стадіону (сейсмостанція №2):

- пункт 3, відстань – 2450 м від висаджуваного блоку до місця встановлення сейсмоприймача №166 СМ-3(Z) на ґрунтовій основі;
- пункт 4, відстань – 2550 м, сейсмоприймач №22 СМ-3В(Z);
- пункт 5, відстань – 2650 м, №31 СМ-3В(Z).

Характеристика вибуху №2, проведеного о 15 год. 50 хв. на горизонті +217 м, блок №61:

- типи вибухових матеріалів: ЗАРС-120 (480 кг), грамоніт ГР 79/21 (720 кг), електродетонатори короткоуповільненої дії ЕДКЗ – ПМ (15 мс);
- маса вибухових зарядів: загальна – 1224 кг (30 свердловин діам. 150 мм, глиб. – 5 м, вага заряду в сверд. – 40,8 кг), на одне уповільнення в максимальній групі – 612 кг, з інтервалом уповільнення 2-х груп – 15 мс;
- загальний час ініціювання зарядів 15 мс, таким чином, при загальній масі ВР 1224 кг середня маса заряду ВР, яка вибухає за 1 мс, становила 81,6 кг;
- схема короткоуповільненого масового вибуху порядна, з кількістю груп 2 шт. (табл. 5.2).

Використавши формулу (5.8), табл. 5.2 та значення допустимої швидкості коливань ґрунтової основи будівлі ($U_{\text{доп}}=0,7$ см/с), визначені у відповідності ДСТУ4704:2008, проведемо розрахунки сейсмобезпечних параметрів масових вибухів у кар'єрах, що впливають на навколишні будівлі с. Дубівці.

Передумовою виконання робіт у гіпсовому кар'єрі ПП «Скала-Інтер» було те, що в с. Пилипче, що розташоване біля нього, у власників будинків, які знаходяться в зоні понад 620 м від місця вибуху, виникли також скарги щодо утворення тріщин будівель після масових вибухів. Розробка гіпсу у кар'єрі ПП «Скала-Інтер» проводиться уступаами висотою 10,5-22,0 м з використанням свердловинних зарядів ВР діаметром 160 мм. У північно-східній і західній частинах кар'єру на різних відстанях (найближче – на відстані 620 м) від неробочого борту кар'єра розташований житловий масив с. Пилипче. Найближчим часом планується відпрацювання 1-го горизонту +216 м у

північно-західному напрямку, тобто в протилежній стороні від житлового масиву с. Пилипче.

Таблиця 5.2

Результати сейсмовимірювань та допустимі швидкості коливань

№ пункту	№ датчика	Дані з осцилограм				Допустимі норми (з урахуванням коефіцієнту тріщинуватості)		Відстань від епіцентру вибуху, м	
		$U_{\text{мак}}$, см/с (бали)		Домінуючі f , Гц		$U_{\text{доп}}$ см/с (бали)	f , Гц	виб.№1 876,2 кг	виб.№2 1224 кг
		виб.№1	виб.№2	виб.№1	виб.№2				
1	217	0,5 (3бал)	3,0 (5бал)	10;17;	10;17;	0,5; 0,7 (3бали)	5;15;	500	380
2	182	0,39 (2бал)	1,19 (4бал)	10;17	10;17	0,6; 0,7 (3бали)	11;15	570	450
3	166	0,0137 (1бал)	0,0775 (1бал)	5;9;18	5;9;18	0,5;0,7 (3бали)	5;11	2450	2350
4	22	0,0107 (1бал)	0,0442 (1бал)	8;18	8;18	0,5; 0,6 (3бали)	8;10:1 8	2525	2450
5	31	0.0087 (1бал)	0,0549 (1бал)	7	7	0,6; 1,0 (3бали)	11;46	1650	2550

Під час масового вибуху 11.05.12 р. здійснювались сейсмометричні заміри інтенсивності коливань земної поверхні від підривних робіт, за профільною лінією «підриваємий блок – с. Пилипче» на відстанях 790, 700, 600 та 500 м. Було підірвано 96 свердловинних зарядів ВР, заряджених ігданітом за врубовою схемою. Маса заряду ВР в одній свердловині – в середньому 150 кг, а максимальна в 4-х групах – 600 кг. Загальна маса зарядів – 14255 кг. Загальний час ініціювання всіх зарядів – 635 мс. Витрата ВР при масовому вибуху протягом 1 мс становить $14255/635=22,4$ кг/мс (табл. 5.4).

Використавши ф-лу (5.8), табл. 5.2 та значення допустимої швидкості коливань ґрунтової основи будівлі ($U_{\text{доп}}=0,4$ см/с), визначені у відповідності ДСТУ4704:2008, проведемо розрахунки сейсмобезпечних параметрів масових

вибухів у кар'єрі та визначимо їх вплив на навколишні будівлі с. Пилипче (табл. 5.4).

Таблиця 5.3

Результати вимірювань параметрів СВХ

Відстань від місця встановлення сейсмоприймача до блоку, що підривається, м.	500	600	700	790
Максимальні швидкості коливань U^Z , см/с	0,66	0,58	0,39	0,35
Період коливань ґрунту, с	0,06	0,06	0,062	0,062
Інтенсивність коливань ґрунту в балах за сейсмічною шкалою при вибухах	3	3	2	2
Місце встановлення сейсмоприймача	ґрунт по профілю		ґрунтова основа буд.	
			господаря Ткачука	господаря Петруника

Таблиця 5.4

Результати розрахунку сейсмобезпечних параметрів

r , м	500	600	700	800	900	1000
Q , кг	200	350	560	840	1200	1600

5.5 Методика розрахунку техніко-економічного ефекту від впровадження розроблених рекомендацій при виконанні буровибухових робіт на гіпсових кар'єрах

Економічний ефект від впровадження результатів досліджень на кар'єрах досягається за рахунок підвищення якості подрібнення гірської маси, зниження енергоємності буріння свердловин, підвищення продуктивності гірничо-транспортного та дробарно-сортувального обладнання, зниження витрат на

ремонт об'єктів, що охороняються, від сейсмічного впливу промислових вибухів.

Величина річного економічного ефекту, грн.

$$E_{\Gamma} = ((C_1 + EK_1) - (C_2 + EK_2)) \cdot A, \quad (5.10)$$

де C_1, C_2 – собівартість продукції, відповідно, до та після впровадження, грн.; K_1, K_2 – питомі капітальні витрати на одиницю річного обсягу, відповідно, до і після впровадження, грн.; E – нормативний коефіцієнт порівняльної ефективності капітальних витрат, прийнятий в гірничорудній промисловості, який дорівнює 0,15; A – обсяг впровадження по випуску готової продукції за рік, тис. м³.

При впровадженні рекомендацій на гіпсових кар'єрах капітальні витрати були відсутні, тому

$$E_{\Gamma} = (C_1 - C_2) \cdot A. \quad (5.11)$$

Загальний економічний ефект визначається за рахунок сумарного зниження витрат за наступними технологічними операціями:

а) від зниження енергоємності процесу буріння за рахунок зменшення кількості свердловин (на 10 %) при розширеній сітці їх розташування на уступі кар'єра, грн.

$$E_{EB} = (V_1 - V_2) \cdot C_E, \quad (5.12)$$

де V_1, V_2 – об'єм буріння за базовим варіантом і варіантом, що рекомендується, п.м.;

C_E – собівартість 1 кВт·год електроенергії (для промислових підприємств $C_E=1,43$ грн.).

V_1 – базовий варіант (ВАТ «Івано-Франківськцемент») дорівнює

9200 п.м., що пробурюється за 460 годин (річний об'єм), для СБШ-250 – $\Pi_6=20$ м/год;

б) від витрат ВР за рахунок застосування розосереджених проміжків, грн.

$$E_{BP} = (C_1 - C_2) \cdot A, \quad (5.13)$$

де C_1 , C_2 – вартість 1 т ВР, грн, A – об'єм ВР, що витрачається, т.

в) від зменшення виходу негабариту, грн.

$$E_H = (V_1 - V_2) \cdot C_H, \quad (5.14)$$

де V_1 , V_2 – річний обсяг негабаритної фракції, відповідно, до і після впровадження, м^3 ;

г) від підвищення продуктивності екскаваторів при навантаженні гірської маси в транспортні засоби, грн.

$$E_E = (C_1 - C_2) \cdot A, \quad (5.15)$$

де C_1 , C_2 – собівартість навантаження 1 м^3 гірської маси, відповідно, до та після впровадження;

д) від підвищення продуктивності автотранспорту

$$E_T = (C_1 - C_2) \cdot A, \quad (5.16)$$

де C_1 , C_2 – зниження собівартості транспортування 1 м^3 гірської маси з кар'єру на каменеподрібнювальний завод, відповідно, до та після впровадження, грн.;

е) від підвищення продуктивності дробарки на 1-ій стадії подрібнення на каменеподрібнювальному заводі, грн.

$$E_d = (C_1 - C_2) \cdot A, \quad (5.17)$$

де C_1, C_2 – зниження собівартості подрібнення 1 м^3 гірської маси, відповідно, до та після впровадження;

ж) від зниження витрат на ремонт житлових будинків та інших об'єктів, що охороняються, від сейсмічного впливу масових вибухів E_C при значенні швидкості зміщення нижче допустимої, грн. За даними адміністрації села E_C прийнята 5700 грн.

Очікуваний сумарний річний економічний ефект по 3-х кар'єрах, розрахований за наведеною вище методикою становить:

$$E_{Г1} + E_{Г2} + E_{Г3} = 280372,6 + 176684 + 708504 = 1165560,6 \text{ грн.} \quad (5.18)$$

Акт впровадження і розрахунків наведені в додатку А.

Висновки до розділу 5

1. Запропоновано емпіричні коефіцієнти пропорційності та показник степеня затухання для різних типів хвиль за методом динамічної подібності, одержані розв'язанням прямої задачі експериментального характеру за даними сейсмічних вимірювань в умовах гіпсових кар'єрів. Аналіз і оцінка амплітудно-частотних характеристик різних типів хвиль та їх параметрів, одержаних при сейсмометричних вимірюваннях, дозволили визначити у відповідності з рекомендаціями ДСТУ 4704:2008 сейсмобезпечні норми для житлових будівель навколишніх населених пунктів і розрахувати напругу від дії домінуючих сейсмічних хвиль на стінки карстових порожнин на відносній до заряду відстані $150-180 \text{ м/кг}^{1/3}$.

2. Розроблено спосіб прогнозування стійкості наземних споруд та карстових порожнин, з урахуванням сейсмічної сили від дії прямих

поверхневих (Релеївських) та об'ємних хвиль, спричинених кар'єрними вибухами, за допустимою швидкістю коливань цих хвиль і статичних сил за вертикальним гірським тиском від власної ваги поверхневої будівлі.

3. Вперше розроблено та перевірено в промислових умовах методологію оцінювання статичної та сейсмічної стійкості стелини порожнини з розташованою над нею будівлею, на основі чого за одержаними емпіричними залежностями для конкретних гірничо-геологічних умов визначено допустимі значення маси зарядів ВР та ступінь уповільнення, які не створюють перевищень визначених автором допустимих зусиль як на конструкції будівель, так і на карстові порожнини під ними.

4. Результати дисертаційних досліджень використано для розроблення рекомендацій щодо проектування сейсмобезпечних параметрів масових вибухів у гіпсових кар'єрах ВАТ «Івано-Франківськцемент», ПП «Скала-Інтер» та Щирецький кар'єр ВАТ «Миколаївцемент», для яких визначено оптимальні значення максимальної маси заряду ВР, що підривається одночасно в групі, та які не перевищують визначених у відповідності ДСТУ 4704:2008 рівнів стійкості для будівель і СНіП 2.02.01-83 та ДБН В.2.1-10-2009 для карстових порожнин під ними.

5. Реалізація результатів дослідження при проведенні вибухових робіт з застосуванням прийнятого статичного і динамічного критеріїв оцінювання стійкості та норм для будівель і карстових порожнин під ними, розташованих поблизу границь кар'єрного поля, підтвердила їх достовірність, оскільки за період роботи кар'єрів після впровадження розроблених рекомендацій не було зафіксовано будь-яких пошкоджень і провалів житлових будівель у селах Піски, Дубівці і Пилипче, а також нормалізувався психологічний стан мешканців цих сіл.

6. Впровадження результатів дослідження під час проведення підривних робіт свердловинними зарядами ВР на трьох кар'єрах дозволило досягти очікуваного річного економічного ефекту в розмірі 1165560,6 грн.

Матеріали даного розділу опубліковано в роботах [126, 129, 130, 131, 132, 134, 137, 138, 137].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідницькою роботою, у якій вперше на основі результатів аналітичних і промислових досліджень запропоновано вирішення актуального для гіпсових кар'єрів науково-практичного завдання підвищення ефективності і сейсмобезпеки буропідривних робіт в умовах закарстованих породних масивів, на основі нового, розробленого автором способу їх відбивання свердловинними зарядами, розділеними конструктивно карстовою порожниною, з одночасним забезпеченням допустимих сейсмічних навантажень як на ґрунтову основу біля фундаменту поверхневої будівлі, так і статичних, від тиску її маси на карстову порожнину під будівлею тільки у разі розташування її вище лінії НГСТ.

При виконанні досліджень у дисертаційній роботі отримано наступні наукові й практичні результати:

1. Моніторинг потужності, витраченої буровим станком у процесі буріння блоку, що підлягає підриванню, є джерелом достовірної інформації для визначення структури колонок свердловин у закарстованих масивах порід, результати якого можливо використовувати для розроблення практичних рекомендацій щодо визначення конструкцій свердловинних зарядів ВР і параметрів буропідривних робіт, застосування яких дозволить зменшити негативний руйнівний і сейсмічний впливи масових вибухів на навколишнє природне середовище.

2. Аналітичними дослідженнями фізики й механіки зустрічного поширення детонаційних хвиль від двох зарядів, розділених карстовою порожниною, встановлено, що забезпечення оптимальної передачі потенційної енергії в руйнівну роботу всередині конструкції свердловини створюється тоді, коли кожен подовжений заряд підривається з такими мілісекундними інтервалами уповільнення, при яких виникають умови змикання стелі й підосви карстової порожнини.

3. Удосконалено методи розрахунку сейсмобезпечних і оптимальних параметрів сітки свердловин та інтервалів уповільнення нижнього й верхнього детонаторів всередині свердловинних зарядів ВР, розділених карстовою порожниною, дозволяють забезпечити якісне руйнування закарстованих масивів порід, вихід негабариту зменшився з 11,5 % на 9 %, та допустимі норми сейсмічних навантажень у зонах розташування наземних будівель і карстових порожнин під ними.

4. Вперше встановлено закономірності зміни сейсмобезпечної маси заряду ВР в групі в залежності від відстані від місця вибуху до будівель, розташованих як над карстовими порожнинами, так і без них, при цьому в умовах, якщо карстова порожнина знаходиться вище лінії НГСТ, при однакових відстанях 1200 і 1400 м від місця вибуху до будівлі над карстовою порожниною допустима маса заряду ВР в групі зменшується з 1630 до 1520 кг і з 2580 до 2400 кг відповідно по відношенню до будівель, розташованих в масиві без карстових порожнин.

5. Реалізація результатів дослідження при проведенні вибухових робіт з застосуванням прийнятого статичного і динамічного критеріїв оцінювання стійкості та норм для будівель і карстових порожнин під ними, розташованих поблизу меж кар'єрного поля, підтвердила їх достовірність, оскільки за період роботи кар'єрів після впровадження розроблених рекомендацій не було зафіксовано будь-яких пошкоджень і провалів житлових будівель у селах Піски, Дубівці і Пилипче, а також нормалізувався психологічний стан мешканців цих сіл.

6. Очікуваний економічний ефект від впровадження в умовах гіпсових кар'єрів ВАТ «Івано-Франківськцемент», ПП «Скала-Інтер» та Щирецький кар'єр ВАТ «Миколаївцемент» рекомендацій щодо безпечного проведення підривних робіт поблизу житлових масивів складає 1165560,6 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гірничий закон України [Текст]: затв. Президентом України 6.10.1999 р., №1127 – XIV// газета «Орієнтир» від 1 грудня 1999 року, №225. – 1999. – 8 с. – (Законодавчий акт).
2. Решение международной конференции [«Промышленная безопасность и эффективность новых технологий в горном деле»], (М., 23 – 25 мая 2000 г.) [Текст]: сб. материалов (доклады, статьи, решение).–М.: Моск. гос. горн. ун-т. – 2001. – С. 629–634.
3. Вовк А. А. Проблемы развития взрывного дела в Украине [Текст]/ А.А. Вовк // Проблемы гидрогеомеханики в горном деле и строительстве. – К.: Знання. – 1996. – Ч. 2. – С. 3–9.
4. Кутузов Б.Н. Приоритетные направления технического перевооружения горных предприятий в области буровзрывных работ [Текст] / Б.Н. Кутузов // Промышленная безопасность и эффективность новых технологий в горном деле: сб. матер. междунар. конференции, 23 – 25 мая 2000 г. (доклады, статьи, решение). – М.: МГГУ. – 2001. – С. 445–455.
5. Вовк А.А. Становление и развитие в Украине исследований по прикладной геодинамике взрыва [Текст]/ А.А. Вовк // Вісник нац-го техн. ун-та України «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – 2008. – Вип. 17. – С. 9–24.
6. Исследование сейсмостойкости охраняемых объектов при взрывах на карьерах [Текст] / В.Д. Воробьев, Л.И. Демещук, В.Н. Кобасов [и др.] // Вісник нац-го техн. ун-та України «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – 2007. – Вип. 15. – С. 30–36.
7. Защита инженерных сооружений на территориях со сложными инженерно-геологическими условиями [Текст] /Р.А. Тимченко, Р.Я. Терещенко, Д.А. Кришка [и др.] // Разраб. рудн. местор-й. – 2004. – №86. – С. 54–57.

8. Колосов В.А. Состояние и перспективы развития горнодобывающей промышленности Украины [Текст] / В.А. Колосов //Разраб. рудн. местор-й. – 2004. – №85. – С. 37–41.

9. Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах [Текст] / Э.И. Ефремов, П.В. Бересневич, В.Д. Петренко [и др.]. – Дніпропетровськ: Січ, 1996. – 180 с.

10. Бойко В.В. Проблеми сейсмічної безпеки вибухової справи у кар'єрах України [Текст] / В.В. Бойко. – К.: ТОВ «Видавництво Сталь», 2012. – 235 с.

11. Оценка поражающих факторов при крупномасштабных взрывах [Текст] / В.В. Адушкин, Л.М. Перник, В.Н. Костюченко [и др.] // Горн. журнал. – 2000. – №4. – С. 54.

12. Эткин М.Б. Системный подход к обеспечению безопасности взрывных работ при их проектировании [Текст] / М.Б. Эткин, А.Е. Азаркович // Горн. журнал. – 2002. – №9. – С. 65–72.

13. Борисов Е.К. Безопасность зданий, расположенных в зоне сейсмического действия промышленных взрывов [Текст] дис. ... доктора техн. наук / Е.К. Борисов. – Владивосток, 2002. – 201 с.

14. Взрывные явления. Оценка и последствия: В 2-х кн. Кн. 1. Пер. с англ. [Текст] / У. Бейкер, П. Кокс, П. Уэстайн [и др.]; под ред. Я.Б. Зельдовича, Б.Е. Гельфанда. – М., Мир, 1986. – 319 с.

15. Безопасность взрывных работ в промышленности [Текст] / Б.Н. Кутузов, Ф.М. Галаджий, С.А. Давыдов [и др.]. – М., Недра, 1977. – 344 с.

16. Цейтлин Я.И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов [Текст] / Я.И. Цейтлин, Н.И. Смолий. – М., Недра, 1981. – 192 с.

17. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах [Текст] / В.Н. Мосинец. – М., Недра, 1976. – 271 с.

18. Богацкий В.Ф. Сейсмическая безопасность при взрывных работах [Текст] / В.Ф. Богацкий, В.Х. Пергамент. – М., Недра, 1978. – 128 с.

19. Азаркович А.Е. Взрывные работы вблизи охраняемых объектов [Текст] / А.Е. Азаркович, М.И. Шуйфер, А.П. Тихомиров. – М., Недра, 1984. – 213 с.
20. Богацкий В.Ф. Охрана инженерных сооружений и окружающей среды от вредного действия промышленных взрывов [Текст] / В.Ф. Богацкий, А.Г. Фридман. – М., Недра, 1982. – 162 с.
21. Миронов П.С. Взрывы и сейсмобезопасность сооружений [Текст] / П.С. Миронов. – М., Недра, 1973. – 168 с.
22. Взрывное дело. Сейсмика промышленных взрывов [Текст] / Научно-техническое горное общество. – М., Недра, 1983, №85 /42. – 256 с.
23. Мосинец В.Н. Основные научно-технические проблемы сейсмики ближней зоны [Текст] / В.Н. Мосинец, В.Ф. Богацкий // Взрыв. дело. Сейсмика промышленных взрывов. – М., Недра, 1983, – №85/42. – С. 89–101.
24. Звягильский Е.А. Предотвращение провалов земной поверхности над заброшенными шахтами [Текст] / Е.А. Звягильский // Уголь Украины. – 1999. – №5. – С. 23–25.
25. Воробьев В.Д. Исследование сейсмического действия массовых взрывов в различное время года при разработке Песковского месторождения гипса [Текст] / В.Д. Воробьев, А.И. Крючков, А.М. Пасечник, Р.М. Сидор // Вісник нац-го техн. ун-та України «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – К.:НТУУ «КПІ»; ЗАТ «Техновибук», 2008. – Вип. 17. – С. 25–34.
26. Пасечник А.М. Обоснование сейсмостойкости массива пород с полостями с учетом сезонности взрывных работ в карьерах [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А.М. Пасечник. – К., 2014. – 155 с.
27. Костюченко В.Н. Сейсмический эффект при групповых взрывах [Текст] / В.Н. Костюченко, С.В. Кондратьев, Г.Г. Кочарян // Взрыв. дело. Сейсмика промышленных взрывов. – М.: Недра, 1983. – №85/42. – С. 18–31.
28. Мельник Г.В. Регулирование спектра сейсмоколебаний при короткозамедленном взрывании [Текст] / Г.В. Мельник // Взрыв. дело. Сейсмика промышленных взрывов. – М.: Недра. – 1983. – №85/42. – С. 48–51.

29. Мельник Г.В. Исследование управления сейсмическим спектром промышленных взрывов и прогнозирование их сейсмоопасности [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.02.07 / Мельник, Геннадий Викторович; Институт геофизики им. С.И. Субботина АН УССР. – К., 1982. – 21 с.

30. Харкевич А.А. Спектры и анализ. 4-е изд. [Текст] / А.А. Харкевич. – М., Физматгиз, 1962. – 236 с.

31. Поздняков Б.В. Распределение амплитуд сейсмозрывных колебаний [Текст] / Б.В. Поздняков // Взрывное дело. Сейсмика промышленных взрывов. – М.: Недра, 1983. – №85/42. – С. 31–39.

32. Цейтлин Я.И. Об энергетическом критерии опасности действия взрывных волн промышленных взрывов [Текст] / Я.И. Цейтлин, Р.А. Гильманов // Взрыв. дело. Сейсмика промышленных взрывов. – М.: Недра, 1983. – №85/42. – С. 61–73.

33. Кишкина С.Б. Сейсмический эффект массовых химических взрывов на карьерах Курской магнитной аномалии [Текст]: дис. ... канд. физ.-мат. Наук / С.Б. Кишкина. – М., 2002. – 137 с.

34. Вовк А.А. О временных параметрах сейсмозрывных волн [Текст] / А.А. Вовк, А.А. Кузьменко // Прикладна гідромеханіка. – К.: ИГ НАН України, 2002. – №2. – Том 4 (76). – С. 9–13.

35. Бойко В.В. Оценка сейсмобезопасности сооружений при воздействии на них взрывных волн с учетом их спектральных характеристик [Текст] / В.В. Бойко, А.А. Кузьменко, Т.В. Хлевнюк // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ»; ЗАТ «Техновібух», 2008. – Вип. 16. – С. 3–13.

36. Густов С.В. Зависимости частотных характеристик сейсмических волн от параметров массовых взрывов [Текст] / С.В. Густов, Л.В. Суровицкий, Ю.И. Виноградов // Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2012. – Вип. 3/2012 (74). – С. 107–109.

37. Нагорный В.П. Определение амплитудно-частотного спектра при взрыве цилиндрического заряда ВВ [Текст] / В.П. Нагорный, И.И. Денисюк, В.А. Поляковский // Изв. вузов. Горн. журнал, 2007. – №1. – С. 77–81.

38. Нагорный В.П. Исследование циклического импульсного действия взрыва на горную породу с применением теории спектров [Текст] / В.П. Нагорный, И.И. Денисюк, Я.А. Рудюк // Изв. вузов. Горн. журнал, 2009. – №5. – С.72–76.

39. Сидоренко В.Д. Моніторинг сейсмічних коливань при масових підриваннях свердловинних зарядів у кар'єрах Півд. ГЗК [Текст] / В.Д. Сидоренко, Є.О. Несмашний, В.М. Здещиць // Вісник КТУ. – Кривий Ріг: КТУ, 2003. – №1. – С. 7–10.

40. Кузьменко А.А. Сейсмическое действие взрыва в горных породах [Текст] / А.А. Кузьменко, В.Д. Воробьев, И.И. Денисюк, А.А. Дауётас. – М.: Недра, 1990. – 173 с.

41. Kuzmenko A.A. Seismic effects of blasting in rock [Text] / A.A. Kuzmenko, V.D. Vorobev, I.I. Denisyuk, A.A. Dauetas. – New Delhi, Bombay, Calcutta: Oxford. IBN Publishing Co. Pvt. Ltd, 1993. – 169 p.

42. Повышение эффективности действия взрыва в твердой среде [Текст] / В.М. Комир, В.М. Кузнецов, В.В. Воробьев, В.Н. Чебенко. – М.: Недра, 1988. – 209 с.

43. Вовк О.А. Исследование влияния симметрии источника на параметры сейсмических волн [Текст] / О.А. Вовк, М. Кугель // Прикладна гідромеханіка. – К.: ИГ АН України, 2002. – №2. Том 4. – С. 14–22.

44. Спивак А.А. Влияние параметров взрывного источника на сейсмическое действие подземного взрыва [Текст] / А.А. Спивак // Взрыв. дело. Сейсмика промышленных взрывов. – М.: Недра, 1983. – №85/42. – С. 84–88.

45. Кучерявый Ю.Ф. Спектры сейсмоколебаний от промышленных взрывов и их трансформация в ближней зоне [Текст] / Ю.Ф. Кучерявый // Взрыв. дело. Сейсмика промышленных взрывов. – М.: Недра, 1983. – №85/42. – С. 101–107.

46. Бойко В.В. Особенности механизма образования источника сейсмоизлучения при взрывном разрушении анизотропных горных масс [Текст] / В.В. Бойко, Н.С. Ремез, Т.В. Хлевнюк // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – К.: НТУУ «КПІ»: ЗАО «Техновибух», 2002. – Вип. 7. – С. 77–83.

47. Вовк А.А. Основные этапы развития взрывного дела в Украине [Текст] / А.А. Вовк // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ». ЗАТ «Техновибух», 2006. – Вип. 14. – С. 66–81.

48. Бойко В.В. Критерії оцінки небезпечної дії вибухових хвиль на будівлі, ослаблені тріщинами [Текст] / В.В. Бойко, Т.В. Хлевнюк, К.Н. Ткачук, Л.О. Мітюк // Проблеми охорони праці в Україні. Зб. наук. праць. – К.: ННДІОП, 2003. – Вип. 7. – С. 97–104.

49. Обоснование применимости закона подобия при исследовании сейсмического эффекта взрыва на карьерах [Текст] / А.А. Кузьменко, А.А. Вовк, В.В. Бойко и др. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ», ПрАТ «Техновибух», 2011. – Вип. 21. – С. 5–12.

50. Оника С.Г. Прогноз и управление сейсмикой массовых взрывов на железорудных карьерах при их приближении к охраняемым объектам [Текст]: дис. ... докт. техн. наук / С.Г. Оника. – Кривой Рог: КТУ, 1996. – 407 с.

51. Густафссон Р. Шведская техника взрывных работ [Текст] ./ Р. Густафссон. Пер. с англ. под ред. проф., д-ра техн. наук Г.П. Демидюка. – М.: Недра, 1977. – 264 с.

52. Thoenen J.R. Seismic Effects of Quarry Blasting – [Text] / J.R. Thoenen, S.I. Windes. – V.S.: Bureau of Mines. Bulletin 442. – Government Printing Office. – Washington, 1942. – 317 p.

53. Бойко В.В. О некоторых особенностях сейсмозффекта при взрывных работах [Текст] / В.В. Бойко, А.А. Кузьменко, В.А. Лемешко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ»: ЗАТ «Техновибух», 2007. – Вип. 15. – С. 36–41.

54. Вовк О.А. Исследование параметров движения поверхностных волн для повышения сейсмобезопасности поверхностных объектов [Текст] / О.А. Вовк, Н.А. Шевчук, // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – Вип. 26. – С. 5–15.

55. Вовк А.А. Параметры поверхностных сейсмических волн при массовых взрывах [Текст] / А.А. Вовк, Л.Н. Леванкова // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. Праць. – К.: НТУУ «КПІ»: ЗАТ «Техновибукх», 2006. – С. 56–66.

56. Бойко В.В. О критериях сейсмической опасности промышленных взрывов [Текст] / В.В. Бойко, А.А. Кузьменко, Т.В. Хлевнюк // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ»: ЗАТ «Техновибукх», 2004. – Вип. 12. – С. 45–52.

57. Боровиков В.А. Моделирование действия взрыва при разрушении горных пород [Текст] / В.А. Боровиков, И.Ф. Ванягин. – М.: Недра, 1990. – 231 с.

58. Ремез Н.С. Оценка сейсмической безопасности по данным моделирования процессов взаимодействия волн при короткозамедленном взрывании цилиндрических зарядов [Текст] / Н.С. Ремез, В.В. Бойко, Ю.А. Ященко // Проблеми охорони праці в Україні. Зб. наук. праць. – К.: ННДПБОП, 2009. – Вип. 17. – С. 41–48.

59. Бойко В.В. Управление спектром колебаний на основе математического моделирования короткозамедленных взрывов [Текст] / В.В. Бойко, Д.А. Ремез // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ»: ЗАТ «Техновибукх», 2010. – Вип. 19. – С. 28–34.

60. Ремез Н.С. Моделювання взаємодії поверхневої сейсмовибухової хвилі з основою споруди, що охороняється [Текст] / Н.С. Ремез, Ю.С. Ященко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ». ЗАТ «Техновибукх», 2011. – Вип. 20. – С. 5–11.

61. Sharpe J.A. The Production of Elastic Waves by Explosion Pressures [Text] / J.A. Sharpe. Part 1. Theory and Empirical Fields Observations // Geophysics, 1942. – 7, №2. – P. 144–154.

62. Бойко В.В. Розробка способу прогнозування сейсмічного ефекту короткосповільненого підривання з урахуванням суперпозиції хвиль в гірському масиві [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.09 / В.В. Бойко; [Нац. техн. університет України «КПІ» МОН України]. – К., 2010. – 20 с.

63. Чала О.М. Оцінка і прогнозування сеймостійкості бортів кар'єру в умовах багатоблокових масових вибухів [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.03 / О.М. Чала; [Нац. техн. університет України «КПІ» МОН України]. – К., 2011. – 20 с.

64. Хлевнюк Т.В. Підвищення надійності оцінки сейсмобезпеки будівель різного технічного стану при техногенних вибухах [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.03 / Т.В.Хлевнюк; [Нац. техн. університет України «КПІ» МОН України]. – К., 2009. – 20 с.

65. Доможиров Д.В. Совершенствование технологии взрывных работ для снижения сейсмо-акустического эффекта на карьерах [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / Доможиров Дмитрий Викторович; МПУ.– Магнийогорск, 2001. – 19 с.

66. Гриб Г.В. Оценка влияния природных факторов на сейсмический эффект массовых взрывов [Текст] / Г.В. Гриб, А.Ю. Пазынич, Н.Н. Гриб // Изв. Самарского научн. центра РАН. – Самара: ТИСВФУ, 2013. – №3(2). Т. 15. – С. 626– 630.

67. Седунова Т.Т. Оценка сейсмичности территорий, прилегающих к карьерам [Текст] / Т.Т. Седунова, Г.А. Воротеляк, З.С. Добровольская // Вісник КТУ. – Кривий Ріг, 2007. – Вип. 17. – С. 221–224.

68. Авербух А.Г. Количественные оценки влияния регулярной трещиноватости горных пород на скорость распространения и отражения

сейсмических волн [Текст] / А.Г. Авербух, С.Ю. Граф // Экопозиция. Нефть. Газ. – М.: ОАО ЦГЭ, 2014. – №2(34). – С. 1–5.

69. Коноваленко В.Я. Оценка устойчивости уступов блочной структуры из наклонных трещин с учетом обводненности и действия сейсмических нагрузок [Текст] / В.Я. Коноваленко // Горный информац.- аналит. бюл. – М.: Горная книга, 2011. – №5. – С. 49–57.

70. Воробьев В.Д. Взрывные работы в скальных породах [Текст] / В.Д. Воробьев, В.В. Перегудов. – К.: Наук. думка, 1984. – 240 с.

71. Зурков П.Э. О результатах исследований сейсмического эффекта взрывов на угольном карьере Томусинский 7-8 [Текст] / П.Э. Зурков, Н.Ф. Богацкий, В.Т. Пономарев / Вопр. инженер. сейсмологии горн. взрывов. – 1968. – Вип. 3. – С. 3–12.

72. Воробьев В.Д. Учет анизотропии массива при выборе сейсмобезопасных параметров взрывных работ [Текст] / В.Д. Воробьев // Добыча угля открытым способом, 1982. – №5. – С. 6–7.

73. Бойко В.В. Сейсмобезопасные схемы взрывания скважинных зарядов ВВ для гранитных карьеров [Текст] / В.В. Бойко, В.Д. Воробьев, Л.П. Ходос, 1979. – 4 с. (Информ. УкрНИИНТИ, №44).

74. Воробьев В.Д. Учет сейсмоанизотропии пород при взрывной отработке уступов на карьерах [Текст] / В.Д. Воробьев, В.В. Захаров, И.Н. Ковтун и др. // Разраб. рудн. месторождений, 1989, вип. 47. – С. 32–38.

75. Кошель В.І. Стійкість горизонтальних гірничих виробок при гравітаційних і динамічних навантаженнях [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.09 / Кошель, Володимир Іванович; НТУУ «КПІ». – К., 2011. – 20 с.

76. Виноградова Е.Ю. Оценка сейсмического воздействия взрывных работ на действующие тоннели при их реконструкции [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.20 / Е.Ю. Виноградова; Санкт – Петербург, 2009. – 17 с.

77. Зависимость сейсмического действия взрыва в массиве горных пород от технологических условий ведения буровзрывных работ [Текст] / Г.В. Гриб,

А.Ю. Бозынич, Н.Н. Гриб, Е.Е. Петров // Изв. Самарского научн. центра РАН, 2012. – №1(8). Т.14. – С. 2112–2117.

78. Грибанова Л.П. Влияние глубины расположения взрывающего блока в карьере на интенсивность сейсмических волн [Текст] / Л.П. Грибанова, В.В. Кудинов, В.М. Ткаченко // Взрыв. дело. Сейсмика промышленных взрывов. – М.: Недра, 1983. – №85/42. – С. 127–132.

79. Славский В.Б. Влияние горно-геологических условий на сейсмичность промышленных взрывов на карьере Ковдорского ГОКа [Текст] / В.Б. Славский, В.Н. Захаров, В.А. Александров // Взрыв. дело. Сейсмика промышленных взрывов. – М.: Недра, 1983 – №85/42. – С. 150–154.

80. Влияние глубины расположения взрывающих блоков на параметры сейсмических волн [Текст] / В.В. Бойко, А.А. Кузьменко, Т.В. Хлевнюк, Л.В. Лавренков // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ». ЗАТ «Техновибух». – 2006. – Вип. 13. – С. 70–74.

81. Исследования влияния конструкции скважных зарядов водоземлюльсионных взрывчатых веществ на параметры сейсмических колебаний при массовых взрывах в карьерах [Текст] / А.М. Ромашко, В.А. Сокуренок, И.Э. Пеева, Я.С. Долударева // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук: КДПУ ім. Михайла Остроградського, 2011. – Вип. 1/2011(7). – С. 80–88.

82. Малеев Е.В. Направления сокращения сейсмического воздействия на окружающую среду при массовых взрывах [Текст] / Е.В. Малеев // Збагачення корисних копалин. – Дніпропетровськ: ИГТМ НАН України ім. М.С. Полякова, 2014. – Вип. 58(99) – 59(100). – С. 36–45.

83. Кудинов В.В. Совершенствование технологии сейсмобезопасного производства массовых взрывов на глубоких карьерах [Текст] / В.В. Кудинов // Горн. журнал. – 1983. – №3. – С. 31–34.

84. Обеспечение сейсмобезопасных условий производства буровзрывных работ вблизи охраняемых объектов [Текст] / В.А. Артемов, Ю.И. Виноградов, Е.Ю. Суровицкая и др. // Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого

виробництва. – Кременчук: КДПУ ім. Михайла Остроградського, 2011. – Вип. 1/2011(7). – С. 97–102.

85. Густов С.В. Влияние диаметра заряда на коэффициент, характеризующий удельный сейсмический эффект в уравнении Садовского [Текст] / С.В. Густов, Л.В. Суровицкий // Вісник КДПУ ім. Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2012. – Вип. 4/2012(75). – С. 61–63.

86. Норов Ю.Д. Перераспределение энергии взрыва по длине скважинного заряда при дроблении разнопрочных горных пород [Текст] / Ю.Д. Норов, Ш.Ш. Заиров // Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук: КДПУ ім. Михайла Остроградського, 2012. – №2/2012(10). – С. 30–34.

87. Клишин И.В. Разработка конструкций скважных зарядов ВВ при обрушении горных пород на карьерах [Текст] / И.В. Клишин, В.У. Пашко // Горный информ. - аналит. бюллетень. – М.: 2012. – №9. – С. 95–98.

88. Повышение сейсмической безопасности массовых взрывов в карьерах [Текст] / В.М. Кошир, А.М. Ромашко, В.А. Сокуренок, С.В. Назаренко // Вісник КДПУ ім. Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 5/2008(52). Ч.2. – С. 140–143.

89. Баранов Е.Г. Расчет параметров скважных зарядов ВВ [Текст] / Е.Г. Баранов, В.П. Куринной // Повышение эффективности разрушения горных пород. – К.: Наук. думка, 1991. – С. 24–28.

90. Машуков И.В. Расчет сейсмобезопасных расстояний при массовых взрывах с учетом схем взрывания скважных зарядов с применением неэлектрической системы инициирования [Текст] / И.В. Машуков, В.В. Чаплыгин // Вестник Сибирского гос. индустр. ун-та, 2015. – №2(12). – С. 4–8.

91. Выбор рациональных способов инициирования скважинных зарядов [Текст] / Э.И. Ефремов, Б.Н. Кутузов, П.В. Швидько и др. // Горн. журнал. – М.: Недра, 2000. – №8. – С. 25–28.

92. Кутузов Б.Н. Обеспечение сейсмобезопасности взрывов при неэлектрическом инициировании зарядов [Текст] / Б.Н. Кутузов, В.К. Совмен, Б.В. Эквист // Горн. журнал. – 2004. – №2. – С. 41–43.

93. Эквист Б.В. Проведение экспериментальных работ по оценке работоспособности электрических детонаторов с электронной задержкой ЭДЭЗ, сейсмического воздействия и качества взрыва с их применением [Текст] / Б.В. Эквист // Горный информ.- аналит. бюллетень, – 2008. – №9. – С. 75–80.

94. Кутузов Б.Н. Сравнительная оценка сейсмического воздействия взрыва скважинных зарядов при использовании системы неэлектрического инициирования и электродетонаторов с электронным замедлением [Текст] / Б.Н. Кутузов, Б.В. Эквист, П.А. Брагин // Горн. журнал. – М.: Недра, 2008. – №12. – С. 44–46.

95. Граевский М.М. Техничко-экономическое сопоставление электрических и неэлектрических систем инициирования зарядов ВВ [Текст] / М.М. Граевский, Б.Н. Кутузов // Горн. журнал. – М.: Недра, 2000. – №5. – С. 54–59.

96. Скважинные заряды с воздушными промежутками [Текст] /М.С. Акаев, Б.Г. Трегубов, А.А. Крутилин, А.Г. Трофимович. Отв. ред. Е.П. Рябченко. – Новосибирск: Наука СО АН СССР, 1974. – 91 с.

97. Угольцева Д.А. Подсчет закарстованности на Шубинском месторождении строительного гипса [Текст] / Д.А. Угольцева // Геология в развивающемся мире. Сб. науч. трудов. – Пермь: ПГНИУ. Том 2. – 2013. – С. 41–44.

98. Тангаев И.А. Буримость и взрываемость горных пород [Текст] / И.А. Тангаев. – М.: Недра, 1978. – 184 с.

99. Жариков С.Н. Взаимосвязь удельных энергетических характеристик процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения массива горных пород [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.20 / Жариков Сергей Николаевич; Ин-т горного дела УрО РАН. – Екатеринбург, 2011. – 19 с.

100. Крючков А.И. Математическая модель процесса шарошечного бурения скважин на блоке [Текст] / А.И. Крючков, Н.И. Жукова, Л.И. Евтеева // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ», 2006. – Вип. 14. – С. 59 – 65.

101. Соболевський Р.В. Управління якістю бурових робіт для підвищення ефективності алмазно-канатного різання / Р.В. Соболевський, В.О. Шлапак, О.В. Камських // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук, 2015. – № 5. – С. 106 – 111.

102. Крючков А.І. Рівняння Гамільтона-Якобі при моделюванні детермінованого руху [Текст] / А.І. Крючков // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ», 1999. – Вип. 1. – С. 48 – 51.

103. Крючков А.И. Энергетические характеристики горных пород при разрушении [Текст] / А.И. Крючков // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ», 2001. – Вип. 6. – С. 13 – 17.

104. Крючков А.І. Визначення параметрів міцності гірських порід у кінетичній теорії руйнування аналітичним методом [Текст] / А.І. Крючков, Н.І. Жукова // Проблеми охорони праці в Україні. Зб. наук. праць. – К.: ННДІОП, 2000. – Вип. 3. – С. 78–82.

105. Крючков А.І. Взаємозв'язок енергоємності та продуктивності процесу буріння [Текст] / А.І. Крючков, Н.І. Жукова // Проблеми охорони праці в Україні. Зб. наук. праць. – К.: ННДІОП, 1999. – Вип. 2. – С. 132–136.

106. Войтенко Ю.І. Про енергоємність руйнування гірських порід та шляхи її зменшення [Текст] / Ю.І. Войтенко, А.М. Шукуров // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – Вип. 31. – С. 11 – 25.

107. Екабори Т. Научные основы прочности и разрушения материалов: Пер с англ. [Текст] / Т.Екабори. – К.: Наук. думка, 1978. – 352 с.

108. Журков С.Н. Вопросы современной физики прочности твердых тел [Текст] / С.Н. Журков // Чтения памяти А.Ф. Иоффе. – Л.: Наука, 1984. – С. 14–21.

109. Морозов В.Н. Энтальпия породобразующих минералов как показатель прочности горных пород [Текст] / В.Н. Морозов, А.П. Дмитриев, Г.Я. Новик, В.Н. // Доклад АН СССР. – М., 1992. – №5 (т.245).

110. Оценка буримости пород по удельной энергоемкости шарошечного бурения [Текст] / И.А. Тангаев, Я.М. Додис, И.Е. Шумсков, К.Ш. Шауханов // Горн. журнал. – 1974. – №4. – С. 56–59.

111. Жукова Н.І. Обґрунтування енергозберігаючої технології бурових робіт на кар'єрах будівельних матеріалів [Текст] / Н.І. Жукова // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ». – 2003. – Вип. 8. – С. 49–54.

112. Физика взрыва [Текст] / Ф.А. Баум, А.П. Орленко, К.П. Станюкович и др.; под общ. ред. К.П. Станюковича. – М.: Наука, 1975. – 231 с.

113. Яшкин А.З. Классификация методов контурного взрывания [Текст] / А.З. Яшкин // Горн. журнал, 1990. – №6. – С. 33–35.

114. Воробьева Л.Д. Влияние величин радиального зазора и материала-заполнителя на динамическое нагружение среды при взрыве [Текст] / Л.Д. Воробьева, В.Е. Проценко // Вісник КДПУ. – Кременчук: КДПУ. – 2008. Вип. 6/2008 (53). Ч.1. – С. 111–113.

115. Заряды с воздушными полостями при взрывах на выброс [Текст] / Н.В. Мельников, Л.Н. Марченко, Н.П. Сеинов и др. // Взрыв. дело. – М.: Недра, 1972. – №71/28. – С. 5–6.

116. Боровиков Н.А. Технология, механизация и организация строительства горных выработок [Текст] / Н.А. Боровиков, В.Д. Фисунов, В.А. Фисунов. – Кемерово, 1988. – 155 с.

117. О влиянии конструкции удлиненного заряда ВВ на выход переизмельченных фракций при разрушении горных пород [Текст] / В.В. Воробьев, Н.В. Долударев, А.М. Пеев, М.В. Помазан // Вісник КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2006. – Вип. 6/2006 (41). Ч.1. – С. 82–84.

118. Патент на изобретение № ІАР 03941. Способ разрушения массива разнородных горных пород на пластовых месторождениях. // Норов Ю.Д.,

Мислибоев И.Т., Заиров Ш.Ш. Зарегистрирован в государственном реестре изобретений Республики Узбекистан 23.04.2009 г.

119. Пат. 93235 Україна, МПК F42D 1/08 E21C 37/00. Спосіб вибухового руйнування складноструктурних масивів гірських порід [Текст] / В.В. Бойко, С.Ю. Богуцький, Д.В. Хлевнюк, Н.І. Жукова; власник ИГМ НАН України. – №201403413; заявл. 03. 04. 2014; опубл. 25. 09. 2014, Бюл. №18. – 3 с.

120. Закономерности взаимодействия сейсмозрывных волн с закарстованным массивом горных пород [Текст] / Л. Д. Воробьева, Н.Н. Ткач, А.М. Пасечник, Н.И. Жукова // Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. Наук.-виробн. журнал. – 2009. – Вип. №1/2009 (3). – С. 63–70.

121. Вплив екрануючих властивостей карстової порожнини на поширення сейсмічних хвиль від промислових вибухів [Текст] / І.М. Подоед, В.М. Кабасов, А.М. Пасічник, Н.І. Жукова // Проблеми охорони праці в Україні. Зб. наук. праць. – К.:ННДІОП. – 2010. – Вип. 19. – С. 81–87.

122. Бойко В.В. Національний стандарт України. Вибухи промислові. Методи визначення фактичної сейсмостійкості будівель і споруд [Текст] /В.В. Бойко, В.Є. Воротеляк, Г.А. Воротеляк, А.О. Кузьменко // ДСТУ 7116: 2009. – К.: Держспоживстандарт України. – 2010. – 6 с.

123. НПАОП О.ОО-1.66-13 Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення [Текст]. – К.: ДП «Редакція журналу. «Охорона праці», 2013. – 359 с.

124. Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні [Текст]. – Х.: ТОВ Видавництво «Лідер», 2013. – 120 с.

125. Бойко В.В. Національний стандарт України. Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки [Текст] / В.В. Бойко, В.Є. Воротеляк, Г.А. Воротеляк, А.О. Кузьменко та ін. // ДСТУ 4704: 2008. – К.: Держспоживстандарт України. – 2009. – 11 с.

126. Сейсмобезпека будівель та карстових порожнин під ними від проведення підривних робіт у кар'єрах [Текст] / Н.І. Жукова. В.В. Бойко, А.О. Кузьменко, О.М. Чала // Вісник Кременчуцького Національного

університету ім. Михайла Остроградського. – Кременчук: КНУ. – 2015. – Вип. 2/2015(91). – С. 82–89.

127. Крючков А.І. Закономірність розподілу об'ємів кусків гірської породи при її руйнуванні [Текст] / А.І. Крючков, Н.І. Жукова // Проблеми охорони праці в Україні. Зб. наук. праць. – К.: ННДІОП. – 2001. – Вип. 4. – С. 125–130.

128. Пасечник А.М. Сейсмическое действие взрыва в нарушенных массивах горных пород [Текст] / А.М. Пасечник, Н.И. Жукова // Проблеми охорони праці в Україні. Зб. наук. праць. – К.: ННДІПБОП. – 2012. – Вип. 22. – С. 65–70.

129. Сейсмоустойчивость горных выработок и полостей при ведении взрывных работ [Текст] / В.Д. Воробьев, А.И. Крючков, А.М. Пасечник, Н.И. Жукова // Уголь Украины, 2010. – №6. – С. 9–11.

130. Пасечник А.М. Влияние динамических нагрузок на устойчивость горного массива при взрывах в карьерах [Текст] / А.М. Пасечник, Н.И. Жукова // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ». – 2003. – Вип. 19. – С. 43–50.

131. Скоростинська О.П. Забезпечення сейсмостійкості охоронних об'єктів і карстових порожнин під ними при проведенні вибухових робіт в кар'єрах [Текст] / О.П. Скоростинська, Н.І. Жукова, В.В. Бойко // Тези доповідей VII Міжнар. науково-техн. конф. «Енергетика. Екологія. Людина» Секція «Перспективи розвитку гірничої справи і підземного будівництва». Зб. наук. праць. 27-29 травня 2015 р. – К.: НТУУ «КПІ». – 2015. – Вип. 6. – С. 87–92.

132. Взаимодействие сейсмовзрывных волн с грунтовым основанием охраняемого объекта [Текст] / Н.Ю. Ревякина, Н.С. Ремез., Н.Н. Богданова, Н.И. Жукова // «Будівельні конструкції». Зб. наук. праць. – К.: ДП НДІБК. – 2011. – Вип. 75. Кн. 1. – С. 652-659.

133. Жукова Н.И. Обоснование сейсмобезопасных параметров взрыва в скальных породах с покрывающими грунтами [Текст] / Н.И. Жукова, В.Д.

Воробьев, А.И. Крючков // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ». – 2011. – Вип. 20. – С. 32–44.

134. Разработка алгоритма динамического взаимодействия сейсмозрывных волн с карстовой полостью [Текст] / В.Д. Воробьев, А.И. Крючков, А.М. Пасечник, Н.И. Жукова // Зб. наук. праць Національного гірничого унів-та. – Дніпропетровськ: НГУ. – 2009. – № 33, Т.1. – С. 87–95.

135. Математическая модель распространения сейсмозрывных волн в неоднородном слоистом массиве горных пород [Текст] / В. Д. Воробьев, А. И. Крючков, А.М. Пасечник, Н.И. Жукова // Научное обеспечение совершенствования методов производства открытых и подземных горных работ. Сб. научн. тр. – Кривой Рог: ГП «НИГРИ». – 2009. – С. 93–99.

136. Жукова Н.І. Розробка конструкцій свердловинних зарядів на основі критерію енергоємності буріння масивів гірничих порід з пустотами [Текст] / Н.І. Жукова // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». Зб. наук. праць. – 2014. – Вип. 23. – С. 40-47.

137. Жукова Н.І. Удосконалення сейсмобезпечних параметрів вибухових робіт при розробці закарстованих гіпсових родовищ [Текст] / Н.І. Жукова // Тези доповідей VII Міжнар. наук.-техн. конференц. «Енергетика. Екологія. Людина». «Ресурсозбереження і екологічна безпека технологічних процесів промислового і цивільного будівництва» (15-17 травня 2015 р.). – К.: НТУУ «КПІ». – 2015. – С. 36–37.

138. Жукова Н.І. Дослідження сейсмічного впливу масових вибухів на Кошіївському гранітному кар'єрі [Текст] / Н.І. Жукова, Ю.С. Олійник // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ». – 2015. – Вип. 28. – С. 76–84.

139. Жукова Н.И. Основные направления исследований в горной сейсмике при разработке месторождений скальных пород с природными и искусственными полостями [Текст] / Н.И. Жукова // «Перспективи розвитку гірничої справи та підземного будівництва». Матер. VI Міжнар. науково-

техн.конф. «Енергетика. Екологія. Людина». Зб. наук.. праць. 22-24 травня 2014 г. – К.: НТУУ «КПІ». ІЕЕ. – 2014. – С.18–21.

140. Пат. 93234 України, МПК E21C 41/26. Спосіб сейсмобезпечного короткосповільненого підривання в тріщинуватих гірських породах [Текст] / В.В. Бойко, С.Ю. Богуцький, Д.В. Хлевнюк, Н.І. Жукова (Україна). – Заявл. 03.04.2014; опубл. 25.09.2014, Бюл. №18. – 4 с.

141. Марчук А.Л. Обґрунтування величини перекривання зон дроблення при визначенні відстаней між свердловинними зарядами [Текст] / А.Л. Марчук, Д.А. Новиков, Н.І. Жукова // Всеукр. Наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів». – Житомир: ЖДТУ. – 2015. – С. 34–37.

142. Жукова Н.І. Розрахунок внутрішньосвердловинних уповільнень у розосереджених зарядах при обґрунтуванні сейсмобезпечних параметрів вибухів у закарстованих породах [Текст] / Н.І.Жукова // Міжнар. наук.-техн. конф. «Енергетика. Екологія. Людина». Секція 6 (С6) «Ресурсозбереження і екологічна безпека технологічних процесів промислового і цивільного будівництва». – К.: НТУУ «КПІ». – 28.04.2016. – С. 35-36.

ДОДАТОК А

(АКТ впровадження та розрахунок економічного ефекту від використання результатів дисертаційних досліджень)

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Зам.директор НВПІ “СКТБ
ГЕОФІЗИК”,
 **М.А. Бондаренко**
“ 24 ” грудня 2016 р.

АКТ

про використання результатів дисертаційних досліджень Жукової Н.І.
«Обґрунтування сейсмобезпечних параметрів буропідричних робіт на кар’єрах в умовах закарстованих породних масивів» на науково-виробничому підприємстві НВПІ «СКТБ Геофізик»

м. Київ

«24 » грудня 2016 р.

Комісія у складі: від НВПІ «СКТБ Геофізик» - головний конструктор Криворучко В.С., науковий співробітник Мошкун О.М.; від ІЄЕ Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” – виклад кафедри інженерної екології Жукова Наталія Іванівна склали цей акт у наступному:

1. НВПІ «СКТБ Геофізик» засвідчує, що ним були прийняті до впровадження результати дисертаційних досліджень **Жукової Н.І. «Обґрунтування сейсмобезпечних параметрів буропідричних робіт на кар’єрах в умовах закарстованих породних масивів»**, і, зокрема:

– запропоновано спосіб побудови геологічної структури колонки кожної свердловини, пробуреної на блоці, який підлягає підриванню, за моніторингом потужності, витраченої обертачому процесі буріння, та визначення енергоємності для складання паспорту свердловинних зарядів;

– запропоновано метод розрахунку параметрів сітки розміщення свердловинних зарядів ВР, в т.ч. конструкцій, розділених карстовою порожниною, маси нижнього й верхнього зарядів та інтервалів уповільнення їх детонаторів;

– розроблено спосіб прогнозування стійкості наземних споруд та карстових порожнин з урахуванням сейсмічної сили від дії прямих поверхневих (Релеївських) та об’ємних хвиль, спричинених кар’єрними вибухами як за допустимою швидкістю коливань цих хвиль, так і статичних сил за вертикальним гірським тиском від власної ваги поверхневої будівлі;

запропонований спосіб вибухового руйнування закарстованих породних масивів на основі нових подовжених зарядів вибухової речовини, розділених повітряним проміжком в карстовій частині свердловини (патент України на корисну модель №93235), які відповідають геологічній структурі колонок

кожної свердловини, на підставі якого розроблено «Доповнення до типових проектів проведення буровибухових робіт у кар'єрах ВАТ «Івано-Франківськцемент», ПП «Скала-Інтер», Щирецький кар'єр ВАТ «Миколаївцемент», і які при їх використанні показали ефективне руйнування саме корінних порід, які складають блок, а за рахунок зменшення маси заряду ВР в свердловинах з карстовими порожнинами на 10-15% – зниження сейсмічної дії за межами кар'єрного поля, поблизу яких розташовані житлові масиви сіл Дубівці, Пилипче і Піски відповідно.

2. Впровадження результатів дисертаційних досліджень виконано для розробки рекомендацій щодо проектування сейсмобезпечних масових вибухів у гіпсових кар'єрах ВАТ "Івано-Франківськцемент", ПП «Скала-Інтер» та Щирецький кар'єр ВАТ «Миколаївцемент», у яких визначено оптимальні параметри максимальної маси заряду ВР, що підривається одночасно в групі, та які не перевищують визначений у відповідності ДСТУ 4704:2008 рівнів стійкості для будівель і СНиП 2.02.01-83 й ДБН В.2.1.-10-2009 для карстових порожнин під ними.

3. Від упровадження результатів дисертаційної роботи **Жукової Н.І.** очікуваний, сумарний по 3-м кар'єрам, економічний ефект становить **1165560,6 грн на рік**. *Розрахунок техніко-економічного ефекту від впровадження результатів досліджень на 3-х гіпсових кар'єрах додається.*

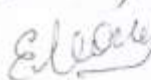
Комісія встановила, що запропоновані результати дисертаційних досліджень **Жукової Н.І.** «Обґрунтування сейсмобезпечних параметрів буропідривних робіт на кар'єрах в умовах закарстованих породних масивів», мають практичну цінність і дозволяють одержати очікуваний економічний ефект від упровадження у виробництво на 3-х кар'єрах у сумі 1165560,6 грн на рік.

Члени комісії

Від НВПІ «СКТБ Геофізик»:

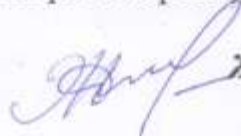


Криворучко В.С.



Мошкун О.М.

Від ІЕЕ Національного технічного
університету України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”:



Жукова Н.І.

Розрахунок економічного ефекту від використання результатів дисертаційних досліджень

РОЗРАХУНОК

очікуваного економічного ефекту з 01.10. 2014 р до 01.10 2015р. на гірничих підприємствах, для яких НВПІ «СКТБ Геофізик» розробило рекомендації з використанням результатів дисертаційних досліджень Жукової Н.І. **«Обґрунтування сейсмобезпечних параметрів буропідливних робіт на кар'єрах в умовах закарстованих породних масивів»**

Економічний ефект від впровадження результатів досліджень на кар'єрах досягається за рахунок підвищення якості подрібнення гірської маси, зниження енергоємності буріння свердловин, підвищення продуктивності гірничо-транспортного та дробарно-сортувального обладнання, зниження витрат на ремонт об'єктів, що охороняються, від сейсмічного впливу промислових вибухів.

Величина річного економічного ефекту, грн.

:

$$E_{\Gamma} = ((C_1 + EK_1) - (C_2 + EK_2)) \cdot A, \quad (A.1)$$

де C_1, C_2 – собівартість продукції, відповідно, до та після впровадження, грн.;

K_1, K_2 – питомі капітальні витрати на одиницю річного обсягу, відповідно, до і після впровадження, грн.;

E – нормативний коефіцієнт порівняльної ефективності капітальних витрат, прийнятий в гірничорудній промисловості рівним 0,15; A – обсяг впровадження по випуску готової продукції за рік, тис. м³.

При впровадженні рекомендацій на гіпсових кар'єрах капітальні витрати були відсутні, тоді

$$E_{\Gamma} = (C_1 - C_2) \cdot A., \quad (A.2)$$

Загальний економічний ефект визначається за рахунок сумарного зниження витрат за наступними технологічними операціями:

а) від зниження енергоємності процесу буріння за рахунок зменшення кількості свердловин (на 10 %) при розширеній сітці їх розташування на уступі кар'єра (грн.)

$$E_{EB} = (V_1 - V_2) \cdot C_E, \quad (A.3)$$

де V_1, V_2 – об'єм буріння за базовим варіантом і варіантом, що рекомендується, п.м.;

C_E – собівартість 1 кВт·год електроенергії (для промислових підприємств $C_E=1,43$ грн.);

V_1 – базовий варіант (ВАТ «Івано-Франківськцемент») дорівнює 9200 п.м., що пробурюється за 460 годин (річний об'єм), для СБШ-250 – $\Pi_6=20$ м/год;

Економічна ефективність даного процесу, грн.:

$$E_{EB} = (9200 - 8280) \cdot 1,43 = 1315,6;$$

б) від витрат ВР за рахунок застосування розосереджених проміжків, грн.

$$E_{BP} = (C_1 - C_2) \cdot A, \quad (A.4)$$

де C_1, C_2 – вартість 1 т ВР, грн. (за базовим варіантом – граммоніт 79/21, $C_1=2600$ грн., за варіантом, що рекомендується – ігданіт, $C_2=750$ грн.);

A – об'єм ВР, що витрачається, т.

При питомій витраті ВР, що дорівнює $0,78$ кг/м³,

$$A_2 = (150000 \cdot 0,78) - 10\% = 117000 - 11700 = 105300 \text{ кг} = 105,3 \text{ т};$$

$$A_1 = 150000 \cdot 0,78 = 117000 \text{ кг} = 117 \text{ т, тоді}$$

$$E_{BP1} = C_1 \cdot A_1 = 2600 \cdot 117000 = 304200 \text{ грн.};$$

$$E_{BP2} = C_2 \cdot A_2 = 750 \cdot 105,3 = 78975 \text{ грн.};$$

$$E_{BP} = 304200 - 78975 = 225,2 \text{ т.грн.};$$

в) від зменшення виходу негабариту, грн.

$$E_H = (V_1 - V_2) \cdot C_H, \quad (A.5)$$

де V_1 , V_2 – річний обсяг негабаритної фракції, відповідно, до і після впровадження, м^3 ;

V_1 – базовий варіант складає $11,5\% = 150000 \cdot 11,5 = 17250 \text{ м}^3$;

$V_2 = 150000 \cdot 9,1 = 13650 \text{ м}^3$;

$$E_H = (17250 - 13650) \cdot 7,12 = 25632 \text{ грн.};$$

г) від підвищення продуктивності екскаваторів при навантаженні гірської маси в транспортні засоби, грн.

$$E_E = (C_1 - C_2) \cdot A, \quad (A.6)$$

де C_1 , C_2 – собівартість навантаження 1 м^3 гірської маси, відповідно, до та після впровадження, тоді

$$E_E = (1,05 - 0,96) \cdot 150000 = 13500 \text{ грн.};$$

д) від підвищення продуктивності автотранспорту

$$E_T = (C_1 - C_2) \cdot A, \quad (A.7)$$

де C_1, C_2 – зниження собівартості транспортування 1 м³ гірської маси з кар'єру на каменеподріблювальний завод, відповідно, до та після впровадження, грн., тоді

$$E_T = (0,73 - 0,69) \cdot 150000 = 6000 \text{ грн.};$$

е) від підвищення продуктивності дробарки на 1-її стадії подрібнення на каменеподріблювальному заводі, грн.

$$E_D = (C_1 - C_2) \cdot A, \quad (A.8)$$

де C_1, C_2 – зниження собівартості подрібнення 1 м³ гірської маси відповідно, до та після впровадження

$$E_D = (1,97 - 1,95) \cdot 150000 = 3000 \text{ грн.};$$

ж) від зниження витрат на ремонт житлових будинків і інших об'єктів, що охороняються, від сейсмічного впливу масових вибухів E_C при значенні швидкості зміщення нище допустимої, грн. За даними адміністрації села E_C прийнята 5700 грн.

Річний очікуваний економічний ефект по кар'єру ВАТ «Івано-Франківськцемент» складає:

$$\begin{aligned} E_{Г1} &= E_{ЕБ} + E_{ВР} + E_H + E_E + E_T + E_D + E_C = \\ &= 1315,6 + 225225 + 25632 + 13500 + 6000 + 3000 + 5700 = 280372,6 \text{ грн.} \end{aligned}$$

По кар'єру ПП «Скала-Інтер»

$$E_{ЕБ} = (7800 - 7020) \cdot 1,43 = 1120 \text{ грн.};$$

$$E_{BP}=202800 - 52650=150,2 \text{ т.грн.};$$

$$E_H=[(100000 \cdot 12,5) - (100000 \cdot 11,7)] \cdot 6,83=5464 \text{ грн.};$$

$$E_E = (1,17 - 1,13) \cdot 100000=4000 \text{ грн.};$$

$$E_T = (0,69 - 0,64) \cdot 100000=5000 \text{ грн.};$$

$$E_D = (2,04 - 2,0) \cdot 100000=4000 \text{ грн.};$$

$$E_C=6900 \text{ грн (прийнято за узгодженням).}$$

Очікуваний річний економічний ефект по кар'єру ПП «Скала-Інтер» складає:

$$E_{Г2}=1120+150200+5464+4000+5000+4000+6900=176684 \text{ грн.}$$

По Щирецькому кар'єру ВАТ «Миколаївцемент»:

$$E_{EB} = (4600 - 41400) \cdot 1,43=6578 \text{ грн.};$$

$$E_{BP}=858000 - 210000=648 \text{ т.грн.};$$

$$E_H=[(500000 \cdot 14,6) - (500000 \cdot 10,9)] \cdot 5,06=10626 \text{ грн.};$$

$$E_E = (2,01 - 1,97) \cdot 500000=20000 \text{ грн.};$$

$$E_T = (0,86 - 0,84) \cdot 500000=10000 \text{ грн.};$$

$$E_D = (2,35 - 2,34) \cdot 500000=5000 \text{ грн.};$$

$E_C=8300$ грн (прийнято за узгодженням).

Очікуваний річний економічний ефект по Щирецькому кар'єру складає:

$$E_{Г3}=6578+648000+10626+20000+10000+5000+8300=708504 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект по 3-х кар'єрах складає:

$$E_{Г1}+ E_{Г2}+ E_{Г3}=280372,6+176684+708504=\mathbf{1165560,6 \text{ грн}}$$

ДОДАТОК Б

СЕРТИФИКАТ ПРО ЗАТВЕРДЖЕННЯ ТИПУ АЦП



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

СЕРТИФИКАТ
об утверждении типа средств измерений
PATTERN APPROVAL CERTIFICATE
OF MEASURING INSTRUMENTS

RU.C.34.004.A № 19224

Действителен до
" 01 " декабря 2009 г.

Настоящий сертификат удостоверяет, что на основании положительных результатов испытаний утвержден тип преобразователей напряжения измерительных Е14

описание средства измерений

ЗАО "Л Кард", г.Москва

наименование предприятия-изготовителя

который зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под № 28131-04 и допущен к применению в Российской Федерации.

Описание типа средства измерений приведено в приложении к настоящему сертификату.

Заместитель
Руководителя



В.Н.Крутиков
15.12.2009 г.

Продлен до
" " " г.

" " 200 г.

Заместитель
Руководителя

ДОДАТОК В

ПРОТОКОЛ №1

за результатами вимірювань параметрів сейсмічних хвиль, створених масовими вибухами на Добрянському і Щирецькому кар'єрах ВАТ «Миколаївцемент»

НВПІ «СКТБ ГЕОФІЗИК» на основі г/д №343МУК/09 проведені 13.05.2010р. сейсмометричні виміри (заміри) параметрів сейсмовибухових хвиль (СВХ) при масових вибухах в Добрянському і Щирецькому кар'єрах ВАТ «Миколаївцемент». Робота за даним договором виконується на основі того, що НВПІ «Спеціальне конструкторсько-технологічне бюро Геофізик» має Дозвіл №15.01.30.ПР Державного департаменту з нагляду з охорони праці (Держнаглядохоронпраці) на такі види діяльності.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА БУРОВИБУХОВИХ РОБІТ

Таблиця В.1

Показники буровибухових робіт по кар'єрах

Показники	Демне-Добрянський кар'єр вапняку		Щирецький кар'єр гіпсу
	Вибух №1	Вибух №2	Вибух №3
Корисна копалина	Вапняк літотамнієвий		Гіпс
Об'ємна маса, т/м ³	2,2		2,1
Швидкість поширення хвиль, м/с			
поздовжня	3040		2600
поперечна	1740		1400
поверхнева	970		--
Вологість, %	11		--
Горизонт блоків, м	304	277	269,8
Призначення	розрихлення	поглиблення зумпфа	розрихлення
Тип ВР	ігданіт	ігданіт	ігданіт
Діаметр свердловини, мм	160	160	160
Кількість свердловин	41	120	20
Сітка свердловин, м	4,8х4,8	3х3	4,7х4,7
ЛНО по підшві, м	5,3	--	5,0
Глибина свердловини, м	11,5-12,5	2,0	15,5
Об'єм підірваної гірської маси, м.куб.	10190	1800	6380
Питомі витрати ВР, кг/м ³	0,6	0,8	1,4
Кількість ступеней уповільнення	40 27х65мс, 13х40	14 14х0,025 мс	11 11х430мс

Продовження таблиці В.1

Довжина заряду, м	8,3	0,6	12,5
Кількість рядів	3	8	2
Схема КУП	посвердловинна	трапеційдально - врубова	посвердловинна
Уповільнювачі УНС-ПА, мс	40; 65	25	40; 65
Уповільнювачі УНС-С, мс	450 - 21	450 - 16	450 - 15
Маса заряду в одній групі, кг	300	186	226
Загальна маса зарядів, кг	6150	1488	4400
Час ініціювання всього блоку, мс	570	350	425
Відношення маси зарядів до часу ініціювання блоку, кг/мс	10,8	4,8	10,35

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОХОРОННИХ ОБ'ЄКТІВ

Охоронними об'єктами в зоні дії масового вибуху № 1 є крайні житлові будинки с. Добряни, розташовані в північній стороні відносно кар'єру вапняків і являють собою одноповерхові споруди приватного сектору. У деяких із них є незначні тріщини, викликані як просадними явищами, так і підсилені знаходженням будівлі в промисловій зоні гірничовидобувного підприємства.

Критерієм сейсмонебезпечності при ВР для споруд є швидкість зміщення ґрунту в їх основі. Пошкодження споруди настає у випадку, коли швидкість зміщення ґрунту (U , см/с) перевищує допустиму величину швидкості зміщення конструкцій споруди ($U_{\text{доп}}$, см/с).

У відповідності з нормативними документами технічним станом і строком експлуатації досліджуваних житлових будинків с. Добряни, також враховуючи психологічну дію на населення систематичне повторення вибухів, за допустиму величину швидкості зміщення ґрунту в основі житлових будинків приймаємо 1 см/с без урахування спектрального складу сейсмічних коливань.

У селі Піски житлові будинки, віддалені від кар'єру на відстань 1300–1700 м, і які також являють собою, в основному, одноповерхові споруди приватного сектору, зазнають впливу сейсмовибухових хвиль, що виникають в результаті ВР з розрихлення гіпсу в Щирецькому кар'єрі. Будівлі с. Піски подібні до житлових будинків с. Добряни, і їх теж можна віднести до розряду з допустимими швидкостями зміщення ґрунту від вибухів 1 см/с. Але ґрунтовий масив, на якому споруджені ці будівлі, є унікальним у сейсмологічному відношенні, оскільки він здатний до утворення в ньому карстових порожнин під дією водяних потоків на глибині 25 – 30 м від земної поверхні.

Подібна ситуація з сейсмобезпекою будівель не регламентована на даний час жодним нормативним документом. Складність ситуації – в тому, що при зміні гідрогеологічних умов у цій місцевості якісь додаткові впливи

(непродумане будівництво, вплив вибухових робіт і т.ін.) можуть спричиняти негативні наслідки.

Тому, важливою є задача з керівництвом Щирецького кар'єру та спеціалістами-підривниками ЗАТ «Західукрвибухпром» розробити технологію проведення масових вибухів в Щирецькому кар'єрі, щоб інтенсивність СВХ в районі с. Піски була на порядок меншою 1 бала за Міжнародною сейсмічною шкалою MSK-64, або за сейсмічною шкалою для вибухів, тобто на рівні струсів, які виникають при проїжджанні біля споруди автосамоскиду.

3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РОБІТ І ВИМІРЮВАЛЬНА АПАРАТУРА

Для запису параметрів СВХ, які виникали при масових вибухах в Добрянському і Щирецькому кар'єрах 13.05.2010 р., використовувалась наступна апаратура: сейсмоприймачі – СМ-3 і СМ-3В, регістратор – аналогоцифровий перетворювач АЦП-440 і ПК типу ноутбук. Апаратура пройшла повірку в ДП «Укрметртестстандарт» України і видано свідоцтво на відповідність кожного засобу вимірювальної техніки вимогам експлуатаційної документації.

Під час запису параметрів СВХ, які виникали від дії масових вибухів № 1 і № 2, сейсмоприймачі встановлювались по лінійному профілю довжиною 400 м в напрямку: блок – крайні відносно кар'єру жилі будинки с. Добряни.

В с. Піски сейсмоприймачі встановлювались вздовж вулиці села біля будинків, в т.ч. тих, які були зазначені спеціалістами інституту прикладних проблем екології, геофізики і геохімії як такі, що знаходяться в зоні карстоутворення чи біля цієї зони. Цей профіль практично є лінією, перпендикулярною до напрямку: блок в Щирецькому кар'єрі – с. Піски.

Всі сейсмоприймачі встановлювались на ґрунті.

Дію коливань ґрунту на об'єкти, що охороняються, можливо оцінити модулем вектора швидкості коливань

$$|U| = \sqrt{(U^x)^2 + (U^z)^2}, \quad (B.1)$$

де U^x – максимальна швидкість коливань по горизонтальній (радіальній) складовій по напрямку: місце вибуху – пункт спостереження; U^z – вертикальна складова швидкості коливань.

Колівання по Y- складовій – незначні по величині і суттєво не впливають на величину вектора швидкості.

Інтенсивність коливань по X-складовій знаходиться з Z-складовою у співвідношенні $U^x = 1,25U^z$. Таким чином, при експериментальних роботах достатньо одержати дані тільки по вертикальній складовій, що є простіше і надійніше, так як не потребує строгої орієнтації приладу по відношенню до місця вибуху і крім того, забезпечує стабільні результати, і по вищенаведеному співвідношенню вирахувати X- складову.

Необхідною умовою використання формули (1) є наявність значень швидкості коливань по всіх складових в один і той же час (в границях $\frac{1}{2}$ періоду) коливального процесу.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Отримано сейсмограми коливань ґрунту при вибухах № 1, 2 і 3, з яких, видно, що максимальні амплітуди коливань ґрунту належать поверхневим низькочастотним (3 – 4 Гц) хвилям, а в об'ємних високочастотних (16 – 30 Гц) хвилях амплітуда коливань в 1,5 – 3,0 рази менша в порівнянні з поверхневими.

Незважаючи на те, що частота коливань ґрунту в поверхневих хвилях R практично співпадає з частотою власних коливань будівель, резонансних явищ не спостерігається, розкачка охоронних будівель відсутня. Це пояснюється короткою дією коливального процесу ґрунту в поверхневій хвилі (біля 1с) на охоронні об'єкти.

За результати спектрального аналізу коливань ґрунту відповідно при вибухах № 1 і № 3 видно, що енергоємними частотами коливань в районі с. Добряни і с. Піски, як і при вибуху № 2, є діапазон низькочастотних коливань 1 – 5 Гц, що пов'язано як з типом ВР, конструкцією заряду, так і з віддаленістю вказаних сіл від місць вибухових робіт, високочастотні коливання інтенсивно затухають.

Отримані динамічні характеристики СВХ в районі с. Добряни і с. Піски свідчать, що в с. Добряни, під час вибуху № 1 (на горизонті +304м), швидкість коливань ґрунту по найбільш інтенсивній складовій коливань – горизонтальній – становить 0,037см/с, що майже в шість разів менше інтенсивності коливань в 1 бал (одному балу відповідають швидкості коливань не менше 0,2 см/с), а допустима швидкість коливань ґрунту в основі будівлі становить 1,0 см/с. Резонансних явищ не спостерігалось, тому що коливальний процес в поверхневій хвилі відбувався не більше 1с.

Під час вибуху № 2 на горизонті +277 по углубці зумпфа, коли відстань від блоку, що підривається, до будівель с. Добряни була на 600м меншою, швидкість коливань ґрунту по горизонтальній (радіальній) складовій склала 0,08 см/с, тобто в 2 рази більше ніж при вибуху № 1, але вона, як і в попередньому випадку, більш ніж в десять разів менша від допустимої норми (1,0см/с) для подібних будівель с. Добряни.

Таким чином, на основі сейсмометричних замірів і відсутності яких небудь видимих порушень будівель можна стверджувати, що масові вибухи в Добрянському кар'єрі 13.05.2010 р були безпечні по відношенню до будівель с. Добряни з запасом міцності останніх не менше 10-20 разів.

В с. Піски під час масового вибуху в Щирецькому кар'єрі 13.05.2010 р. по розрихленню гіпсу швидкість коливань ґрунту біля будинків впродовж вулиці становила від 0,019 до 0,03 см/с, що від 10 до 6 разів менше 1 балу коливань по Міжнародній шкалі MSK – 64 (1 бал прирівнюється до не менше, як 0,2 см/с). Ці коливання знаходяться на рівні коливань, які можуть виникнути при проїзді

великовантажного автомобіля. Багато це, чи мало зараз, після першого опробування сказати неможливо. Ситуація неординарна, непередбачувана і в більшій мірі залежить не від міцності будинків, і не стільки від мінімальних сейсмовибухових коливань, скільки від зміни гідрогеологічних умов масиву ґрунту, в якому відбуваються карстоутворюючі процеси.

Завдання спеціалістів, які ведуть розробку Щирецького кар'єру – не перевищувати, а навіть знижувати рівень коливань ґрунту в районі с. Піски. Резерв для зменшення інтенсивності сейсмовибухових хвиль у спеціалістів підричників зараз є. Так, по проекту масового вибуху 13.05.2010 р. заплановане посвердловинне підривання зарядів, а фактично згідно схеми комутації свердловин з різницею у 15 мс підриваються свердловини №8 і №20, №7 і №19 і т.ін., а такий малий проміжок часу (15 мс) між підриваннями свердловин, як показали заміри параметрів СВХ, майже в 2 рази менше $\frac{1}{2}$ періоду коливань хвилі, що дає підстави стверджувати, що фактично йде одночасне підривання двох свердловин.

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Результати проведених 13.05.2010 р. експериментальних вимірів, що виконувались на відстанях 1165-1175 метрів від підриваємих блоків №№13,14, біля житлових будинків *села Добрян* та 1300-1450 метрів від підриваємого блоку №1 біля житлових будинків № № 95, 102, 103, 107, 115 і 120 *села Піски* показали: рівень сейсмічних коливань ґрунту, які були створені цими масовими вибухами в *Добрянському та Щирецькому кар'єрах* у зазначену дату, відповідають допустимим нормам і не можуть бути причиною появи тріщин в будинках.

2. Подрібнення гірського масиву характеризується, як передрібнений (вихід негабаритних фракцій становив виб.№1-1%, виб. №2-0%). Для раціонального подрібнення гірського масиву до рівня 5% виходу негабаритних фракцій на нашу думку необхідно зменшувати питомі витрати з одночасним переходом на інтервали сповільнення не 65мс, а на рівні 35 – 45мс.

3. Маса зарядів повинні бути рівномірно розміщені по ступенях сповільнення, крім перших і останніх ступенів, в яких маси зарядів повинні бути, як мінімум на 30% менші, ніж в інших ступенях.

Це правило відноситься як до кар'єру вапняку, так і ще в більшій мірі – гіпсу.

4. В Щирецькому кар'єрі необхідно змінити схему комутації зарядів з тим, щоб фактично перейти на посвердловинне ініціювання зарядів.

5. При наступних замірах параметрів СВХ керівництву кар'єрів необхідно виділити великовантажний автомобіль для замірів коливань ґрунту, викликаних його проїздом.

ДОДАТОК Д

ПРОТОКОЛ №3

за результатами вимірювань параметрів сейсмічних хвиль, створених масовими вибухами на Щирецькому кар'єрі ВАТ «Миколаївцемент»

НВПІ «СКТБ ГЕОФІЗИК» на основі г/д №343МУК/09 проведені 25.06.2010р. сейсмометричні виміри (заміри) параметрів сейсмовибухових хвиль (СВХ) при масових вибухах в Щирецькому кар'єрі ВАТ «Миколаївцемент». Робота за даним договором виконується на основі того, що НВПІ «Спеціальне конструкторсько-технологічне бюро Геофізик» має Дозвіл №15.01.30.ПР Державного департаменту з нагляду з охорони праці (Держнаглядохоронпраці) на такі види діяльності.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА БУРОВИБУХОВИХ РОБІТ

Таблиця Д.1

Показники буровибухових робіт

Показники	Щирецький кар'єр гіпсу	
	Вибух №6	Вибух №7
Корисна копалина	гіпс	
Об'ємна маса, т/м ³	2,1	
Вологість, %	11	
Горизонт блоків, м	258,3	269,0
призначення	роз рихлення	роз рихлення
Тип ВР	ігданіт	ігданіт
Діаметр свердловини, мм	160	160
Кількість свердловин	36	21
Сітка свердловин, м	2 х 2	3,3 х 3,3
ЛНО по підшві, м	5,3	5
Глибина свердловини, м	1,5	17,5
Об'єм підірваної гірничої маси, м ³	200	7600
Питомі витрати ВР, кг/м.куб	0,59	0,7
Кількість ступеней сповільнення	1	14 14x0,025 мс
Довжина заряду, м	8,3	0,6
Кількість рядів	36	8
Схема КСП	миттєво	трапеційдально - врубова

Продовження таблиці Д.1

Маса заряду в одній групі, кг	118,8	509,2
Загальна маса зарядів, кг	118,8	5346,6
Час ініціювання всього блоку,мс	миттєво	395
Відношення маси зарядів до часу ініціювання блоку, кг/мс	118,8	13,5

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОХОРОННИХ ОБ'ЄКТІВ

Охоронними об'єктами, біля яких були встановленні прилади, в зоні дії масових вибухів № 6 і 7 є житлові будівлі №№ 97-а, 95 та 99 с. Піски, які знаходяться на цілику та два над карстом відповідно (по даним звіту) і розташовані на відстані 1550 м в північній стороні відносно кар'єру гіпсу і являють собою одноповерхові споруди приватного сектору. У деяких із них є незначні тріщини, викликані як просадними явищами, так і підсилені знаходженням будівлі в промисловій зоні гірничодобувного підприємства.

Як було встановлено ранише (Протокол №1), за допустиму величину швидкості зміщення ґрунту в основі цих будинків приймаємо 1 см/с без урахування спектрального складу сейсмічних коливань.

3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РОБІТ І ВИМІРЮВАЛЬНА АПАРАТУРА

Для запису параметрів СВХ, які виникали при масових вибухах в кар'єрі 25.06.2010 р., використовувались аналогічні вимірювання, що викладенні в Протоколі №1.

Під час запису параметрів СВХ, які виникали від дії масових вибухів №6 і №7, сейсмоприймачі встановлювались по лінійному профілю довжиною 400 м в напрямку: блок – житлові будинки №№ 97-а, 95 та 99 с. Піски.

В с. Піски два сейсмоприймачі встановлювались в зоні карстоутворення (буд. №97-а) та два- на цілику буд. №99., а три сейсмоприймачі встановлювались по лінійному профілю.

Всі сейсмоприймачі встановлювались на ґрунті.

Дію коливань ґрунту на об'єкти, що охороняються, оцінювали по методиці наведеній в Протоколі №1.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

З сейсмограм коливань ґрунту при вибуху № 6 видно, що амплітуди коливань ґрунту у поверхневих та об'ємних хвилях практично одного рівня, що

пов'язано з тим, що довжина хвилі більша товщини шару наносів. Частота поверхневих хвиль 2,5 – 3Гц, а об'ємних 15 – 25Гц.

Незважаючи на те, що частота коливань ґрунту в поверхневих хвилях *R* практично співпадає з частотою власних коливань будівель, резонансних явищ не спостерігається, розкачка охоронних будівель відсутня. Це пояснюється короткою дією коливального процесу ґрунту в поверхневій хвилі на охоронні об'єкти.

Динамічні характеристики СВХ в районі с. Піски представлені в табл. Д.2, звідки видно, що під час вибуху №6, швидкість коливань ґрунту по найбільш інтенсивній складовій коливань – горизонтальній – становить 0,016 см/с, а допустима швидкість коливань ґрунту в основі будівлі становить 1,0 см/с не враховуючи ефект карстових явищ. Резонансних явищ не спостерігалось, тому що коливальний процес в поверхневій хвилі відбувався не більше 1с.

Таблиця Д.2

Динамічні характеристики СВХ

Тип сейсмоприймача (№)	№ каналу	Складові коливання	Об'ємна хвиля		Поверхнева хвиля		Відстань, м	Примітка
			Швидкість зміщення ґрунту, см/с	Частота коливань ґрунту, Гц	Швидкість зміщення ґрунту, см/с	Частота коливань ґрунту, Гц		
			Вибух 6					
СМ-3(166)	1	Z	0,070	15	0,097	2,5	1250	Проф на карер
СМ-3(196)	2	Z	0,073	16,6	0,078	2,4	1350	
СМ-3В(32)	3	Z	0,010	18	0,079	2,4	1450	
СМ-3В925)	7	X	0,016	16	0,015	2,8	1550	Буд. 98-а
СМ-3(217)	6	Z	0,089	23	0,066	2,7	1550	
СМ-3В(23)	4	X	0,008	14	0,015	2,8	1550	Буд. 99
СМ-3(188)	5	Z	0,007	23	0,076	1,8	1550	
			Вибух 7					
СМ-3(166)	1	Z	0,043	21	0,027	3,5	1250	Проф на карер
СМ-3(196)	2	Z	0,040	23	0,020	3,7	1350	
СМ-3В(32)	3	Z	0,027	23	0,016	2,5	1450	
СМ-3В925)	7	X	0,020	16,6	0,023	2,4	1550	Буд. 98-а
СМ-3(217)	6	Z	0,023	23	0,017	2,4	1550	
СМ-3В(23)	4	X	0,030	16,6	0,023	2,4	1550	Буд. 99
СМ-3(188)	5	Z	0,022	22	0,016	2,5	1550	

За результатами спектрального аналізу коливань ґрунту при вибуху № 6, можна зробити висновок, що енергоємними частотами коливань в районі с. Піски є діапазон низькочастотних коливань 2,5 – 3 Гц, що пов'язано як з типом ВР, конструкцією заряду, так і з віддаленістю вказаних сіл від місць вибухових робіт, високочастотні коливання інтенсивно затухають.

ВИСНОВОК

На основі сейсмометричних замірів і можна стверджувати, що масові вибухи в Щирецькому кар'єрі 26.06.2010 р були безпечні по відношенню до будівель с. Піски, не враховуючи ефект карстових явищ, з запасом міцності останніх не менше 15-20 разів.