

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

**Коробійчук Валентин Вацлавович**

**УДК 622.1:622.83+622.35**

**РОЗРОБКА НАУКОВИХ ОСНОВ ТЕХНОЛОГІЇ СУПУТНЬОГО  
ВИДОБУВАННЯ БЛОКІВ В УМОВАХ ЩЕБЕНЕВИХ ГРАНІТНИХ  
КАР'ЄРІВ**

Спеціальність 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України

**Науковий консультант:** доктор технічних наук, професор  
**Кравець Віктор Георгійович,**  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України (м. Київ), професор кафедри геоінженерії

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Собко Борис Юхимович,**  
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпро), завідувач кафедри відкритих гірничих робіт

доктор технічних наук, професор  
**Четверик Михайло Сергійович,**  
Інститут геотехнічної механіки ім. Н. С. Полякова НАН України (м. Дніпро), завідувач відділу геомеханічних основ технологій відкритої розробки родовищ

доктор технічних наук, професор  
**Темченко Олександр Анатолійович,**  
Криворізький економічний інститут ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана» Міністерства освіти і науки України (м. Кривий Ріг), декан факультету економіки та управління

Захист відбудеться 29 листопада 2018 року о 14.00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.22 у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, Україна, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, ауд. 511.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, Україна, м. Київ, просп. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий «27» жовтня 2018 р.

**Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
к.т.н., доц.**



**В. В. Вапнічна**

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Аналіз досягнень вибухового руйнування гірських порід вказує на можливість раціонального використання енергії вибуху для створення безвідходної і маловідходної технології розробки будівельних матеріалів і підвищення ефективності видобутку гранітних блоків при масових вибухах.

Одним з перспективних напрямків комплексного освоєння родовищ є супутній видобуток природного каменю в діючому кар'єрі з щебеневої сировини, якому до теперішнього часу не приділялося належної уваги.

Більшість щебенивих гранітних кар'єрів України мають ділянки з низькою тріщинуватістю, що дозволяє вести видобуток блоків природного декоративного каменю, при чому на деяких кар'єрах ці ділянки значні за об'ємом, як наприклад, на Лезниківському кар'єрі. Перспектива супутнього видобутку блоків у щебенивих кар'єрах є економічно обґрунтованою, оскільки вартість 1 м<sup>3</sup> щебеню (8–10 дол. США) в десятки разів менша за вартість 1 м<sup>3</sup> блоку природного декоративного каменю (180–600 дол. США) при майже однакових витратах на видобуток.

При селективній розробці щебенивих кар'єрів можливо видобувати супутньо до 20 % блочної продукції шляхом геометризації родовища, розробки нових способів ведення вибухових робіт, удосконалення систем оцінки порушеності масиву і блоків гірських порід при вибухових роботах. Розробка способів супутнього видобутку кондиційних блоків, придатних для виготовлення облицювальних матеріалів, ускладнена через неможливість здійснення кількісної оцінки зниження якості окремоностей, що складають масив гірських порід і формування в них техногенної порушеності, генерованої хвилями напруження при масових вибухах. При супутньому видобутку необхідне знання про ступінь порушення масиву природного каменю залежно від параметрів попередніх неруйнуючих вибухових навантажень, які впливають на нього, оскільки використання сировини для виготовлення облицювальних матеріалів обмежується значною техногенною мікротріщинуватістю в окремостях і зниженням їх граничної міцності при масових вибухах.

Одним з головних питань є відсутність завершеного науково обґрунтованого комплексу розробок і рекомендацій, який би дозволив реалізувати видобуток цієї цінної сировини в умовах діючих кар'єрів. Таким чином, питання розробки наукових основ технології супутнього видобування блоків в умовах щебенивих гранітних кар'єрів є актуальною науково-практичною проблемою, вирішення якої дозволить підвищити економічні, екологічні та технічні показники ефективності виробничої діяльності щебенивих кар'єрів.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Робота виконувалась на кафедрі геоінженерії Інституту енергозбереження та енергоменеджменту КПІ імені Ігоря Сікорського в межах науково-дослідних робіт – «Наукові основи ресурсозберігаючих технологій гірництва та геотехнічного будівництва» (№ ДР 0115U005398), «Розробка методики геометризації покладів пірофілітових сланців з урахуванням різновекторності проведення гірничих робіт» (№ ДР 0111U00527), «Геостатистичний аналіз просторового розподілу якісних показників покладів будівельної нерудної сировини» (№ ДР 0114U005625), в яких

автор брав участь як виконавець, «Розробка наукових основ технології супутнього видобування блоків природного каменю в умовах щебеневого кар'єру» (№ ДР 0114U006144), в якій автор брав участь у якості керівника.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є створення сучасної ефективної технології видобутку блочного каменю з узгодженим сейсмобезпечним веденням вибухових робіт при видобутку щебеневої сировини.

Для досягнення мети в дисертаційній роботі поставлені такі завдання:

- провести аналіз досліджень й перспектив розвитку супутнього видобутку блоків природного каменю в щебених кар'єрах;

- розробити методикау геометризації масивів природного каменю для отримання комплексної моделі родовища та визначити перспективи супутнього видобування блоків облицювального каменю на основі досліджень зниження міцності природного каменю при багаторазовому неруйнівному навантаженні;

- встановити закономірності загасання різних типів сейсмічних хвиль по скельним анізотропним породам, механізм і кількісні показники взаємодії різних типів сейсмічних хвиль з блоками каменю та визначити на їх основі сейсмобезпечні відстані з використанням оновлених критеріїв;

- розробити рекомендації з сейсмобезпечної та ефективної технології ведення вибухових робіт при видобутку граніту на щебінь з одночасним збереженням цілісності блочного масиву при паралельному добуванні блоків з картами ізоліній допустимих масштабів масових вибухів;

- удосконалити технології видобутку блочного каменю на основі: підвищення ефективності його вилучення з масиву було-щебеневої сировини та обґрунтувати способи і параметри невибухової технології видобування блоків природного каменю.

*Об'єкт дослідження* – процеси відкритих гірничих робіт при розробці щебених кар'єрів.

*Предмет дослідження* – способи і параметри ефективної технології супутнього видобутку блочної сировини на діючих щебених кар'єрах в умовах узгоджених сейсмічних впливів.

**Методи досліджень.** У даній науковій роботі використано такий комплекс сучасних наукових методів досліджень: аналіз та узагальнення науково-технічних досягнень з оцінки якості природного каменю; графоаналітичний та геостатичний методи при побудові геологічних моделей родовищ; лабораторні та промислові дослідження, статистичне опрацювання результатів із використанням засобів обчислювальної техніки при розробці методики визначення придатності масивів скельних порід для супутнього видобутку природного каменю; гірничо-геометричний аналіз при встановленні залежностей питомих втрат та об'ємів товарних блоків від кута збійки свердловин для заведення алмазного канату.

**Наукова новизна** одержаних результатів, що виносяться на захист, представлена науковими положеннями, в яких вперше:

- встановлено залежності зміни міцності природного каменю від кратності динамічного багаторазового навантаження та енергії одиничного удару у вигляді поліномів другого ступеня для визначення придатності родовищ щебених кар'єрів до супутнього видобутку блочного каменю;

- визначено, що в межах блочних ділянок кар'єру домінуючою за сейсмічною небезпекою є масова швидкість коливань у поздовжній об'ємній хвилі; максимальні значення цього параметра визначаються переважаючою гармонікою з низькочастотним діапазоном (30–60) Гц, що відрізняється від власних частот гранітних блоків, серед яких переважають коливання в межах 4000...18000 Гц;

- встановлено допустимі значення швидкості коливань ( $v < 15$  см/с) і напружень розтягнення ( $[\sigma_p] \leq 27,7$  МПа) в об'ємній хвилі, які гарантують сейсмостійкість масиву блочного каменю під дією навантажень від масових вибухів за умови, що гармоніки коливань не співпадають з власними частотами окремих скельних блоків;

- розроблено алгоритм розрахунку і побудови ізоліній допустимої маси вибуху для корегування його параметрів (загальна маса зарядів не обмежена, а маса вибухової речовини на одне сповільнення складає величину в межах (250...1250) кг для приведених відстаней (8,9...10,7) м/кг<sup>1/3</sup> в процесі наближення фронту робіт до монолітного масиву кожного горизонту дільниці з видобутку щебеневої продукції кар'єру;

- встановлено, що залежності величини питомих втрат сировини при двостадійній та тристадійній системі видобування від ширини та довжини первинного моноліту, описуються поліномами третього ступеня;

- встановлено залежності питомих втрат та об'ємів товарних блоків від кута збійки свердловин для заведення алмазного канату, просторової локалізації блоків, лінійних розмірів моноліту, які описуються поліномами третього порядку та степеневою функцією, що дозволяє скоротити втрати блоків облицювального каменю на 20 %.

Наукове значення роботи полягає в обґрунтуванні ефективної технології супутнього видобування блоків в умовах щебених гранітних кар'єрів, що спирається на розроблені сейсмобезпечні технології проведення короткоуповільнених вибухів при проектуванні масових вибухів у кар'єрі.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в наступному:

- удосконалено методику аналізу структурних елементів в межах високоміцних родовищ природного каменю на основі чинника вигоди;

- розроблено методики визначення придатності масивів скельних порід для супутнього видобутку природного каменю, прогнозування вмісту в масиві і виходу блочної сировини заданих параметрів, які випробувані та впроваджені в виробництво на кар'єрах ТОВ «Надри», ТОВ «Дизельтехсервіс», ТДВ «Березівський кар'єр», ТОВ «Грабовецький гранкар'єр», ПАТ «Західукрвибухпром»;

- розроблено алгоритм визначення параметрів сейсмобезпечного проведення масових вибухів для проектування схем короткоуповільненого підривання в кар'єрі, який відрізняється від існуючих тим, що маси свердловинних зарядів вибухової речовини, які підриваються одночасно в максимальній групі при інтервалі сповільнення менше 17 мс розраховувались за об'ємною сейсмічною хвилею відповідно експериментальним вимірам та не перевищують визначеного у роботі рівня тріщиноутворення на укосах блочного каменю;

– розроблено технологічні схеми, що дають змогу селективно видобувати блочний природний камінь, та класифікацію системи розробки блочних ділянок природного каменю в щеленевих кар'єрах на основі узгодження вибухової і невибухової технологій видобутку;

– обґрунтовано основні технологічні параметри, такі як кут першої горизонтальної збійки свердловин ( $30 \dots 70^\circ$ ), розміщення клину по-центру та збоку при проведенні капітальних траншей алмазно-канатною установкою в блочних ділянках щеленевого кар'єру.

Обґрунтованість та вірогідність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується обсягом проведених натурних спостережень, використанням методів математичної статистики та обробки результатів вимірювань, відповідністю окремим результатам досліджень інших авторів, застосуванням обґрунтованих математичних моделей, позитивним ефектом упровадження результатів досліджень.

Результати дисертаційної роботи впроваджені на ТОВ «Надри», ТОВ «Дизельтехсервіс», ТДВ «Березівський кар'єр», ТОВ «Грабовецький гранкар'єр», ПАТ «Західукрвибухпром» та у навчальному процесі Житомирського державного технологічного університету, що підтверджується відповідними актами. Сумарний очікуваний економічний ефект становить 2,72 млн. грн. на рік.

**Особистий внесок здобувача** в роботах, які написані у співавторстві, особистий внесок автора полягає у наступному: [1] – написано розділ з технологічних основ виробництва засобів ініціювання та ініціюючих ВР; [2] – наведені експериментальні дослідження параметрів деформації в ґрунтах і гірських породах та викладені технологічні задачі з динаміки руйнування скельних порід; [3, 4] – сформульовано мету та задачі досліджень, взято участь в обґрунтуванні методики, проведенні досліджень та аналізі одержаних результатів; [7; 41] – участь у проведенні дослідів та аналізі одержаних результатів; [9] – проведений гірничо-геометричний аналіз показників; [14, 19, 20] – ідея, виконання експериментальних досліджень та аналіз результатів; [17, 18] – проведений обрахунок даних; [21] – сформульована ідея та методика дослідження; [22] – розроблена методика створення тривимірних моделей природних окремоствей; [23–26] – проведено експериментальні дослідження; [27, 28] – сформульована ідея проведення дослідження; [31] – обґрунтована методика визначення критерію оптимізації геометричних розмірів монолітів природного каменю; [32] – розроблено методику визначення впливу атмосферних факторів на оздоблення будівель; [33, 34] – сформульовано ідею дослідження та взято участь в аналізі одержаних результатів; [35, 36] – розроблено методику контролю якості поверхні природного каменю; [37] – розроблена методика дослідження емпіричного та теоретичного розподілу якісних показників; [40] – розроблено методику контролю якості блочної продукції.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи та окремі її результати обговорювалися на науково-технічних конференціях, семінарах та нарадах, а саме на: Міжнародній науково-практичній конференції «Видобування, обробка та застосування природного каменю» (Магнітогорськ, Росія, 2010 р.), XXXV, XXXVI, XXXVII науково-практичних конференціях, які присвячені Дню науки (Житомир, Україна, 2010–2012 рр.), Всеукраїнській науково-

красназавчій конференції «Мінерально-сировинні багатства України: шляхи оптимального використання» (Володарськ-Волинський, Україна, 2012 р.), Всеукраїнській науково-технічній конференції «Шляхи вирішення проблем експлуатації спеціалізованих автотранспортних засобів» (Кривий Ріг, Україна, 2013), VI, VIII Міжнародній науково-технічній конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» (Київ, Україна, 2014 р., 2016 р.), Міжнародному форумі-конкурсі молодих вчених «Проблеми недропользования» (Санкт-Петербург, Росія, 2014), Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та особливості видобутку, обробки і використання природного каміння» (Київ, Україна, 2014 р., 2015 р.), Міжнародній конференції мехатронних систем і матеріалів (Каунас, Литва, 2015 р.), Міжнародній конференції «Системи управління та інформаційні технології», (Варшава, Польща, 2016 р.), Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток промисловості та суспільства» (Кривий Ріг, Україна, 2016 р.), 16-й Міжнародній багатопрофільній науковій геоконференції «Наука та технології в геології, розвідці та розробці» (Варна, Болгарія, 2016 р.).

**Публікації.** Результати дисертації в повній мірі викладені в опублікованих роботах. За темою дисертації видано 41 наукову працю, з них 2 – монографії, 23 у фахових виданнях, з яких 8 публікацій – у збірниках наукових праць, що включені до переліку міжнародних наукометричних баз даних та 2 публікації – у закордонних збірниках наукових праць, 1 – патент на винахід, 15 – у збірниках матеріалів національних і міжнародних конференцій.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, шість розділів і висновку, викладених на 340 сторінках основного тексту, містить 162 рисунка, 27 таблиць, список використаних джерел із 238 найменувань на 26 сторінках і 6 додатків на 6 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність тематики дослідження та показано зв'язок із науковими програмами, сформульовано мету та основні задачі дослідження, висвітлено наукову новизну і практичну цінність результатів.

У **першому розділі** наведено аналіз сучасного стану досліджень відкритої розробки блочних та щебенемих кар'єрів.

Проаналізовано вплив особливостей розробки родовищ декоративного каменю на основі аналізу напрацювань таких вчених: В. В. Ржевського, К. М. Трубецького, Л. В. Роговського, Г. М. Фейнберга, М. Т. Бакка, Ю. Г. Карасьова, О. Б. Синельникова, С. О. Жукова, Г. Д. Першина, Б. Н. Кутузова, В. Г. Кравця, О. І. Косолапова, В. В. Бойка, К. К. Ткачука, К. Н. Ткачука, Р. Салацнські, Д. Катарзіна, В. Д. Воробйова та інших.

Аналіз підходів до технології розробки родовищ корисних копалин дозволив виділити такі основні напрями досліджень:

1) розробка методологічних основ вибору, вимірювання та класифікації чинників, що впливають на вихід блоків;

2) розробка наукових основ сейсмобезпечної і ефективної технології ведення вибухових робіт при видобутку гранітів на щебінь, які узгоджені з технологією видобування блоків природного каменю;

3) обґрунтування технологій щодо збільшення блочності та зниження втрат каменю при його видобуванні.

Виконані дослідження показали, що при вибуху зарядів ВР в гірських породах генерується техногенна тріщинуватість. Виникнення мікро- і макротріщин в гірських породах при періодичній дії вибухових хвиль призводить до зміни механічних властивостей цих порід. Величина техногенної порушеності залежить від: маси зарядів ВР; розміщення їх у вибухонебезпечному блоці; механічних властивостей гірських порід; методів керування вибухом. Існуючі дослідження потребують: визначення критерію сейсмічної безпеки масових вибухів на блочні масиви з урахуванням їх власних частот коливань та типу домінуючої хвилі; закономірностей взаємодії сейсмовибухових хвиль, від проведення вибухових робіт на ділянці з видобутку гранітів на щебінь з монолітними ділянками блочного каменю. Крім того, відомі дослідження порушень гірських порід, виникнення і розвитку в них мікро- та макротріщин і зниження їх міцнісних характеристик при веденні вибухових робіт проводилися для цілей, які відмінні від мети, поставленої в роботі. Тому в зазначених працях були отримані закономірності, які неможливо було використати для вирішення поставлених завдань.

Необхідно встановити закономірності розвитку мікро- та макротріщин і зниження міцнісних характеристик граніту при багатократному впливі на нього вибухових хвиль малої амплітуди, а також розробити ефективний спосіб, що знижує дію вибуху на гірську породу і забезпечує супутній видобуток кондиційних окремоостей, придатних для виробництва облицювальних матеріалів.

На основі проведеного аналізу сучасних досягнень науки й практики відкритої розробки гранітних родовищ сформульовані наведені вище мета й основні задачі дослідження.

**У другому розділі** наведено принципи формування технологічних комплексів та класифікацію систем розробки блочних ділянок природного каменю в умовах щебеневої кар'єрів. Розроблено схему виділення природно-технологічних зон в робочому просторі кар'єра, яка передбачає районування кар'єру за блочністю з подальшим визначенням меж природно-технологічних зон видобутку блоків та було-щебеневої сировини. Виділено системи тріщин блочного та щебеневого масиву з подальшим погоризонтним районуванням. Районування кар'єру за блочністю дозволить об'єднати ділянки щебеневої сировини та блочної корисної копалини в єдину технологічну зону.

Розроблено узагальнену методику геометризації масивів природного каменю на основі інформаційно-комп'ютерних технологій для отримання комплексної моделі родовища. Розглянуто зв'язок анізотропних властивостей з кристалічною структурою природного каменю та його генезисом як гірської породи. Запропоновано методику визначення анізотропності механічних властивостей природного каменю на основі цифрової обробки відеозображень та ультразвукового методу. На цій основі визначено оптимальний напрямок ведення видобувних робіт, який забезпечить мінімізацію витрат праці й енергії на



відокремлення блоків від масиву природного каменю, а також збільшить відсоток виходу блоків природного облицювального каменю.

Для вивчення природної блочності проведено структурні дослідження на діючому щебеневому Лезниківському кар'єрі і вивчено документацію 50 розвідувальних свердловин, пробурених на схід від кар'єру. Побудовано об'ємну модель та гіпсометричні плани на прикладі Лезниківського родовища. Встановлено, що в межах гранітної інтрузії виділяється природна блочність двох структурних рівнів (мегаблочність і моноблочність). Блочність першого порядку (мегаблоки) визначається постійною сіткою тріщинних зон двох орієнтацій і крупними пластовими тріщинами. Це дозволило виділити межі ділянок для видобутку блоків облицювального каменю, встановити їх блочність, що на практиці доводить існування ділянок, які придатні для видобування блочного облицювального каменю в межах щебеневого кар'єра.

Проведено дослідження граніту неруйнуючим методом для встановлення взаємозв'язку між характеристиками міцності та поширенням ультразвукової хвилі. Визначено степінь порушеності техногенною мікротріщинуватістю блочних ділянок в умовах Лезниківського щебеневого кар'єру. Відібрано 131 зразок свіжої породи для випробування на стискання за стандартними методиками. Дані показують, що найбільш міцні породи знаходяться в західній частині кар'єра, менш міцні зразки були відібрані з дна кар'єру, де видобувається було-щебенева сировина.

Для розробки експрес методики з визначення міцності природного каменю в масиві неруйнівними методами бралися зразки, які відповідали торговій марці Marple Red за кольором. Залежність розповсюдження швидкості ультразвукових хвиль від міцності граніту на стискання (рис. 1) описуються лінійною функцією:

$$v = 477P + 1961,7, \text{ м/с}, \quad (1)$$

де  $v$  – швидкість розповсюдження поверхневої хвилі, м/с;  $P$  – міцність зразка на стискання, МПа.

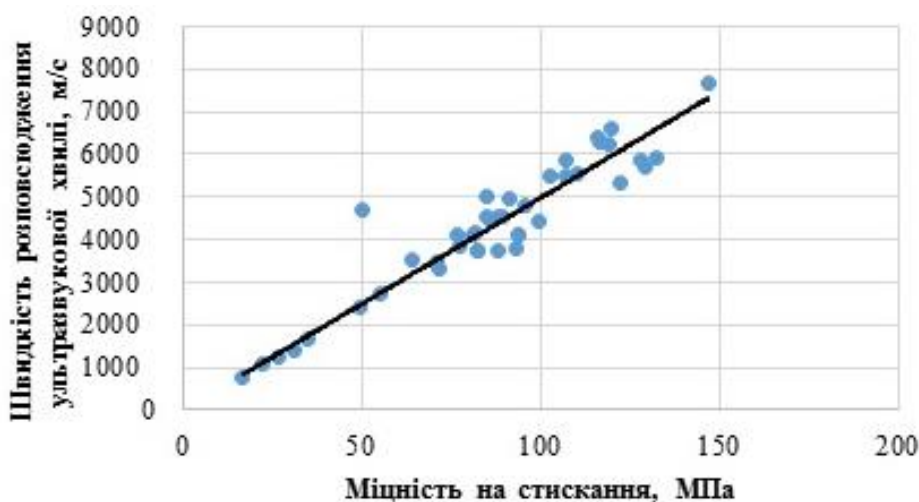


Рис. 1. Залежність швидкості поширення ультразвукової хвилі від міцності граніту на стискання в свіжій породі

Залежність розповсюдження швидкості ультразвукової хвилі від міцності граніту на згинання (рис. 2) описуються поліномом другого порядку:

$$v = -9,94P^2 + 505,6P + 1861 \text{ м/с}, \quad (2)$$

де  $v$  – швидкість розповсюдження поверхневої хвилі, м/с;  $P$  – міцність зразка на згинання, МПа.

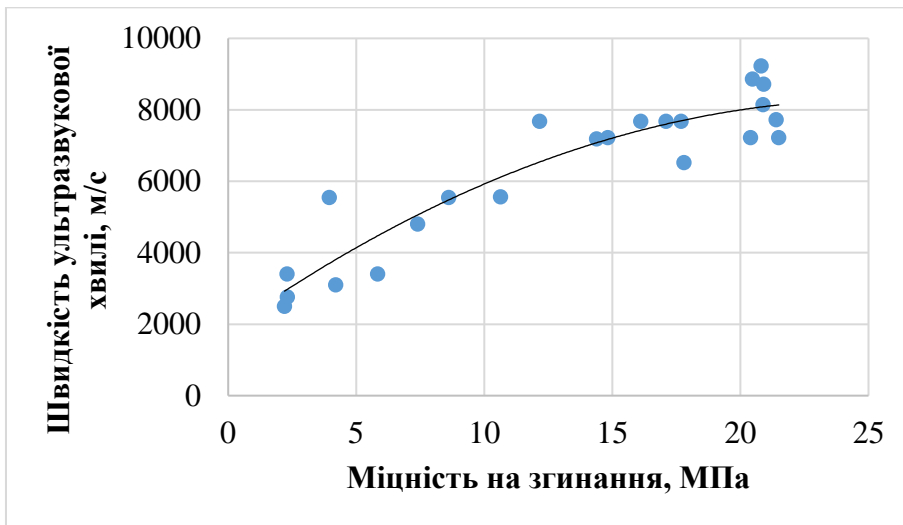


Рис. 2. Залежність швидкості поширення ультразвукової хвилі від міцності Лезниківського граніту на згинання

Натурні дослідження зміни міцності природного каменю при багаторазовому неруйнівному навантаженні дозволили встановити кількісні закономірності розвитку порушень і зниження міцності природного каменю залежно від кратності навантажень.

Для оцінки величини напруження, яке виникає в породній окремоті при скиданні на неї ударника, розглянуто теоретичну задачу руйнування окремоті, розташованої на піщаній основі при ударі. Методом кінцевих елементів в програмному продукті Ansys AUTODYN розраховано напруження та побудовано цифрові моделі розподілу навантажень в породній окремоті  $m_1$  при скиданні на неї ударника. Одну з моделей зображено на рис. 3.

На основі аналітичних розрахунків отримано (рис. 3) залежність напруження на розтягання від кінетичної енергії удару в точці удару:

$$\sigma_{роз}^{max} = 7,42E_{уд} + 13,675, \text{ МПа}, \quad (3)$$

де  $E_{уд}$  – кінетична енергія удару, Дж.

Залежність напруження на розтягання від кінетичної енергії удару в зразку каменю:

$$\sigma_{роз}^{max} = 2,17E_{уд} + 3,74, \text{ МПа}, \quad (4)$$

де  $E_{уд}$  – кінетична енергія удару, Дж.

Лабораторні випробування на опір гірської породи ударними діями проводились за методикою згідно ГОСТ 30629–2011 «Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытаний» на зразках розміром  $200 \times 200 \times 30$  мм, взятих із 13-ти родовищ природного каменю. Випробування на опір гірської породи ударом показали, що опір ударові гірських порід коливається від 35 до 55 см.

В дисертаційній роботі розглянуто вплив багаторазового неруйнуючого навантаження окремоостей граніту шляхом скидання на них сферичного ударника. Критичне число навантажень  $n$  відповідало такій кількості скидань сферичного ударника з вибраних висот, яке призвело до руйнування зразків у результаті накопичення порушень від попередніх навантажень.

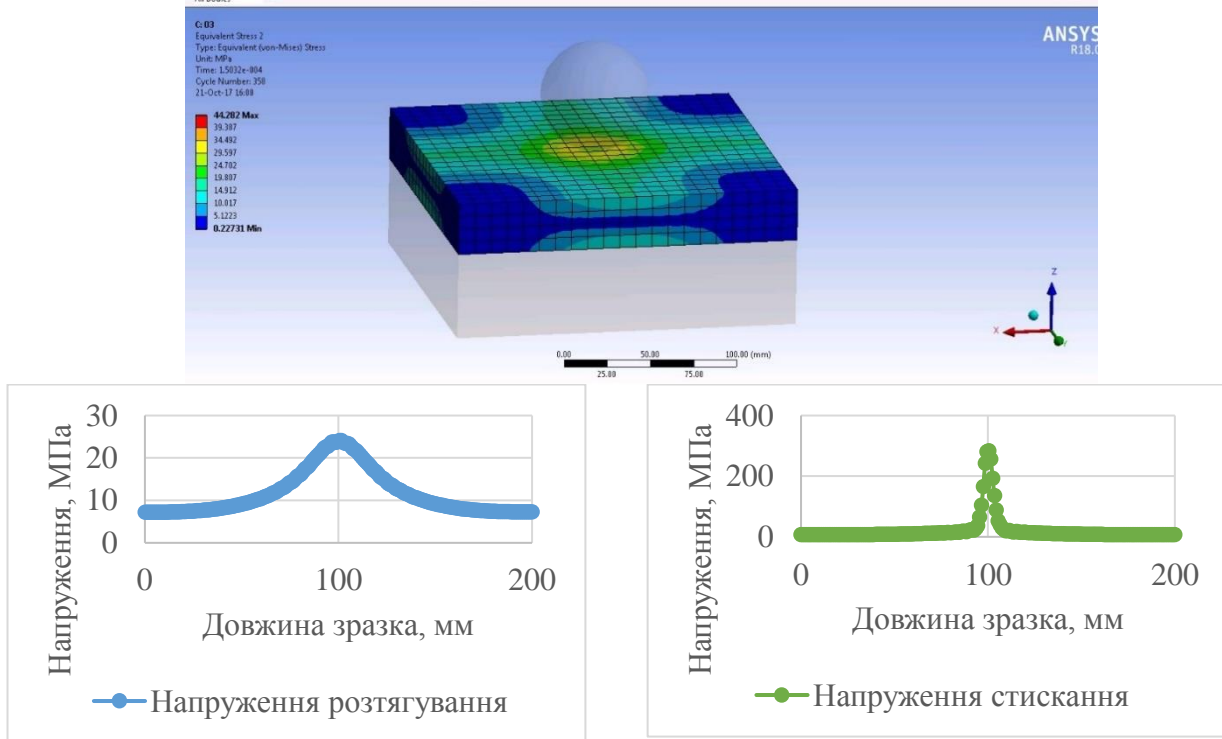


Рис. 3. Цифрова модель розподілу навантажень в породній окремоості  $m_1$  при скиданні на неї ударника з висоти 15 см

При питомій енергоємності удару  $1,47 \text{ кДж/м}^3$  демонструють стійкість до багатократних ударних навантажень зразки Корецького, Жежелівського, Токівського, Лезниківського родовищ гранітів, а також Букинського габро. Найменш стійкими виявилися зразки породи Василівського, Дідковицького, Межиріцького родовищ гранітів

Дослідно встановлено залежність швидкості поширення ультразвукової хвилі від сумарної питомої енергії удару (рис. 4).

Аналіз показників поширення ультразвукових хвиль в зразках природного каменю показав, що деякі зразки руйнувались при втраті міцності на 11–14 %, наприклад, у породах Токівського, Корецького родовищ гранітів. Деякі зразки порід втрачають міцність на 30–42 % (Капустинське, Дідковицьке родовища гранітів, Добринське родовище лабрадориту).

В результаті проведених досліджень встановлено критичну висоту скидання  $H_{кр}$ , яка становила 60 см. За числом навантажень  $n$ , що призводять до руйнування зразків сферичним ударником, в залежності від енергоємності руйнування природний камінь можна поділити на три групи: з високою стійкістю до багаторазових динамічних навантажень –  $147 \text{ кДж}$  і вище при енергії удару  $1,47 \text{ кДж}$  (рис. 5), з середньою стійкістю до багаторазових динамічних навантажень –  $15\text{--}147 \text{ кДж}$  при енергії удару  $1,47 \text{ кДж}$  (рис. 6), низькою стійкістю

до багаторазових динамічних навантажень – нижче 15 кДж при енергії удару 1,47 кДж (рис. 7).

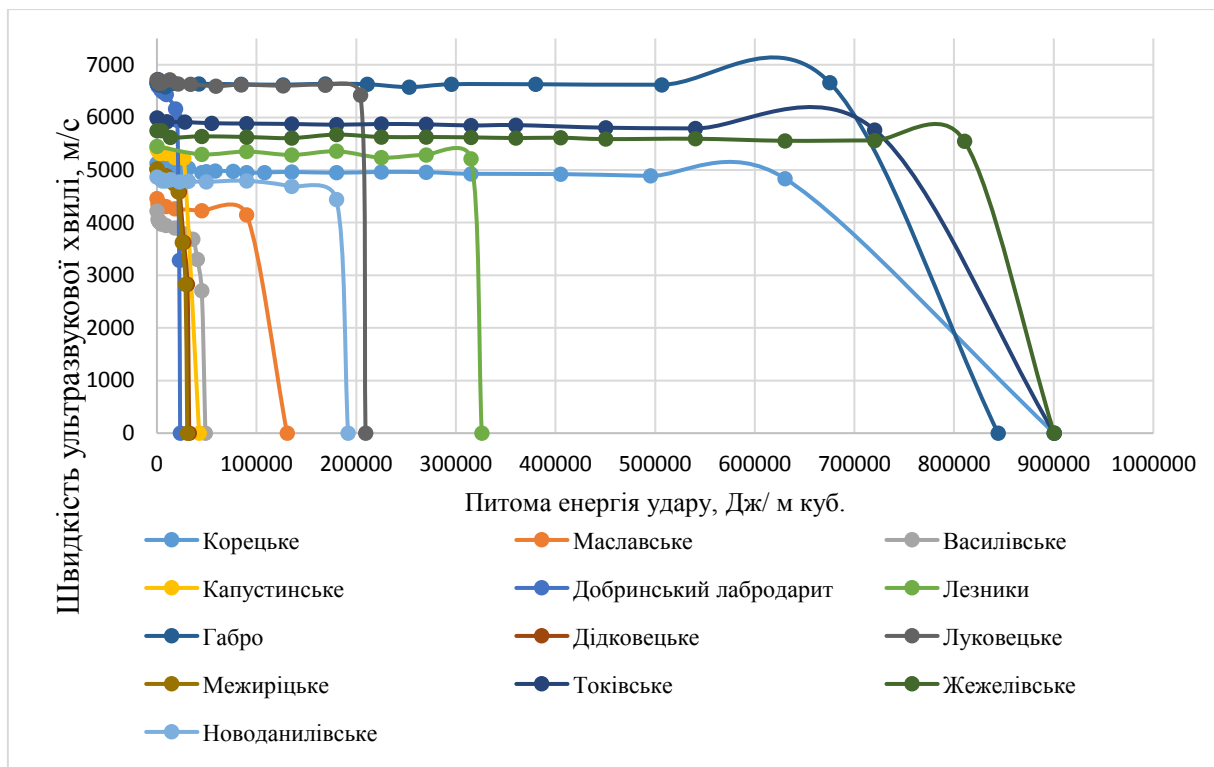


Рис. 4. Залежність швидкості поширення ультразвукової хвилі в зразках природного каменю від сумарної питомої енергії удару за енергоємності одиничного удару 1,47 кДж/м<sup>3</sup>

Зразки гранітів з високою стійкістю до багаторазових динамічних навантажень від енергії одиничного удару, які наведені на рис. 5, містять в собі кварц у межах 23–30 %, польовий шпат та плагіоклаз – 50–65 % та мають середньозернисту структуру. Зразки руйнувались при невеликій втраті міцності.

Залежність енергоємності руйнування зразків Жежелівського граніту від енергоємності одиничного удару:

$$E_{\text{руйн}} = 0,3624P_{\text{руйн}}^2 - 2703,2P_{\text{руйн}} + 5 \cdot 10^6, \text{ Дж}, \quad (5)$$

де  $E_{\text{руйн}}$  – енергоємність руйнування граніту, Дж/м<sup>3</sup>;  $P_{\text{руйн}}$  – енергоємність одиничного удару, Дж/м<sup>3</sup>.

Залежність енергоємності руйнування зразків Корецького граніту від енергоємності одиничного удару:

$$E_{\text{руйн}} = 0,2934P_{\text{руйн}}^2 - 2244,9P_{\text{руйн}} + 4 \cdot 10^6, \text{ Дж}. \quad (6)$$

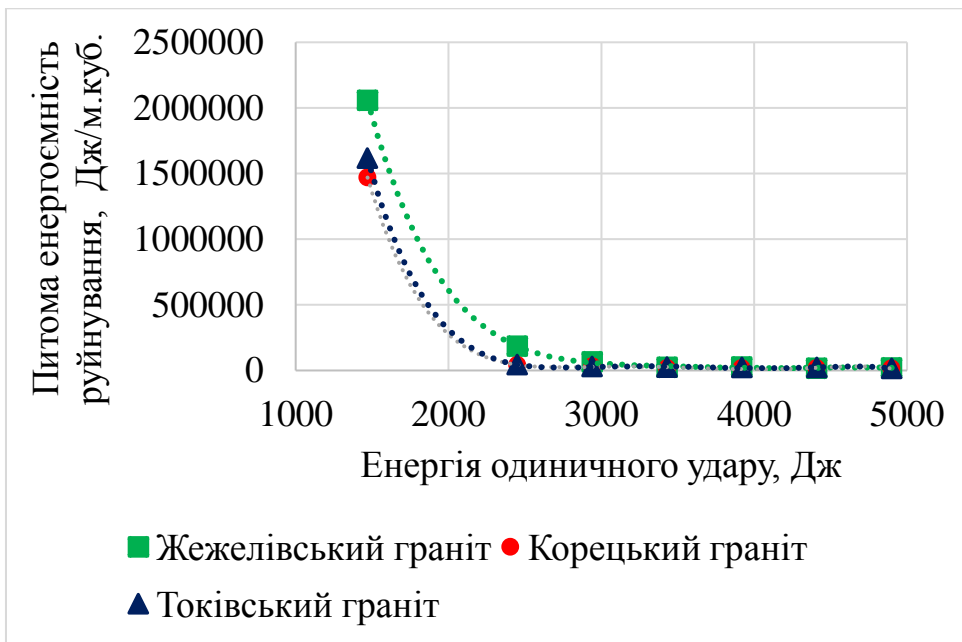


Рис. 5. Залежність енергоємності руйнування зразків природного каменю з високою стійкістю до багаторазових динамічних навантажень від енергії одиничного удару

Залежність енергоємності руйнування зразків Токівського граніту від енергоємності одиничного удару:

$$E_{\text{руйн}} = 0,2671P_{\text{руйн}}^2 - 2044,2P_{\text{руйн}} + 4 \cdot 10^6, \text{ Дж.} \quad (7)$$

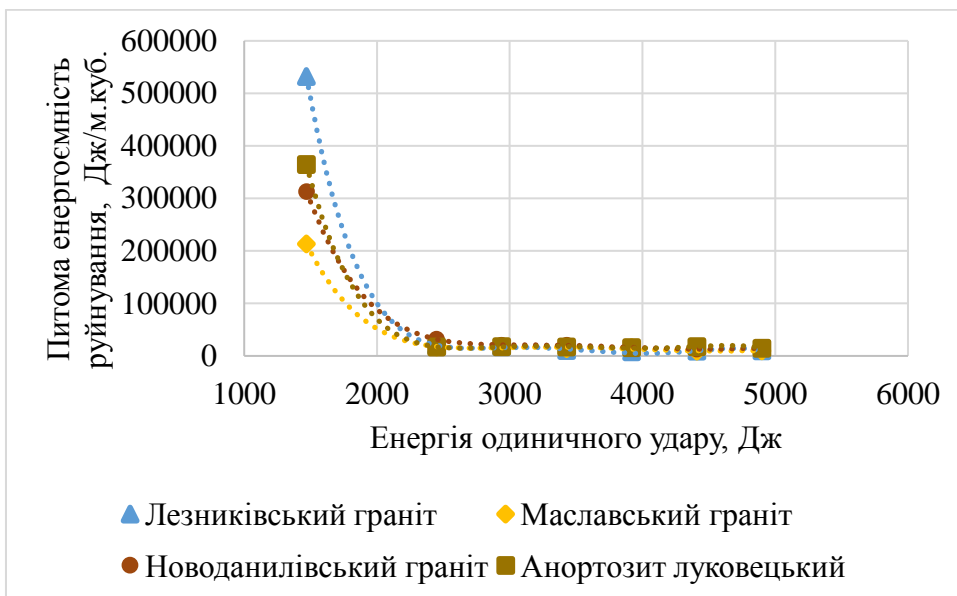


Рис. 6. Залежність енергоємності руйнування зразків природного каменю з середньою стійкістю до багаторазових динамічних навантажень від енергії одиничного удару

Зразки природного каменю з середньою стійкістю до багаторазових динамічних навантажень від енергії одиничного удару містять в собі кварц в межах 10–15 %, польовий шпат та плагіоклаз – 55–80 % та мають середньозернисту структуру. Зразки руйнувалися при втраті міцності на величину 19–24 %.

Залежність енергоємності руйнування зразків Лезниківського граніту від енергії одиничного удару:

$$E_{\text{руйн}} = 0,0958P_{\text{руйн}}^2 - 734,08P_{\text{руйн}} + 1 \cdot 10^6, \text{ Дж.} \quad (8)$$

Залежність енергоємності руйнування зразків Новоданилівського граніту від енергії одиничного удару:

$$E_{\text{руйн}} = 0,053P_{\text{руйн}}^2 - 409,04P_{\text{руйн}} + 7,7 \cdot 10^5, \text{ Дж.} \quad (9)$$

Залежність енергоємності руйнування зразків Луковецького анортозиту від енергії одиничного удару:

$$E_{\text{руйн}} = 0,0644P_{\text{руйн}}^2 - 491,87P_{\text{руйн}} + 9,1 \cdot 10^5, \text{ Дж.} \quad (10)$$

Залежність енергоємності руйнування зразків Маславського граніту від енергії одиничного удару:

$$E_{\text{руйн}} = 0,0355P_{\text{руйн}}^2 - 274,66P_{\text{руйн}} + 5,2 \cdot 10^5, \text{ Дж.} \quad (11)$$

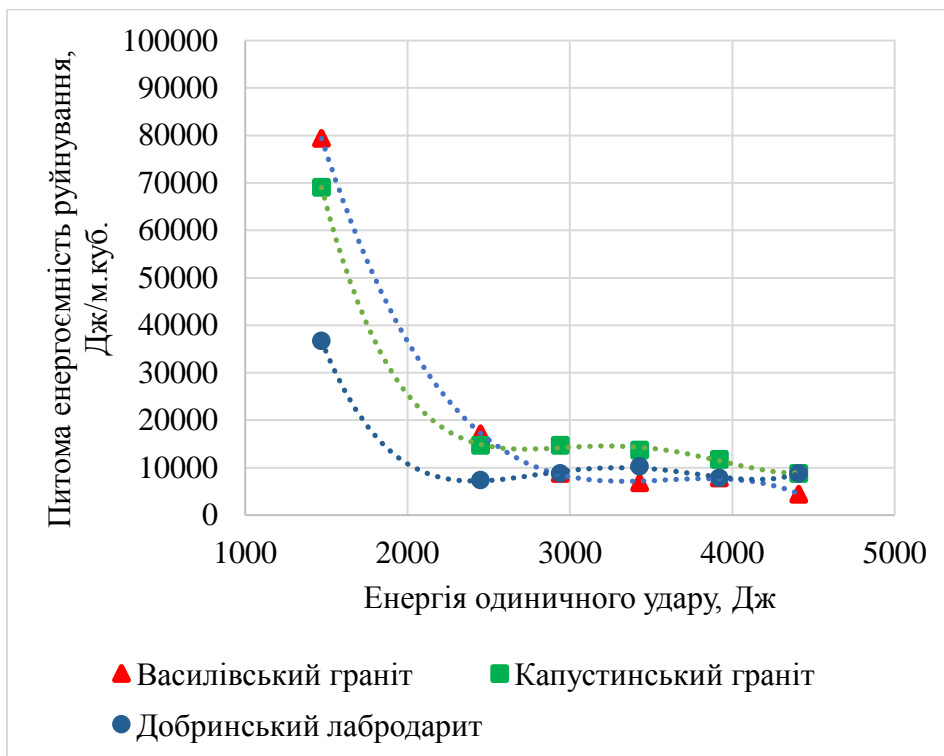


Рис. 7. Залежність енергоємності руйнування зразків природного каменю з низькою стійкістю до багаторазових динамічних навантажень від енергії одиничного удару

Зразки природного каменю з низькою стійкістю до багаторазових динамічних навантажень від енергії одиничного удару містять в собі кварц в межах 18–27 %, польовий шпат та плагіоклаз – 42–90 % та мають середньозернисту (Василівський граніт) та крупнозернисту (Капустинський граніт, Добринський лабрадорит) структуру. Зразки руйнувалися при втраті міцності на 28–41 %. Варто зазначити, що Василівський граніт при вмісті кварцу 20–27 % має найбільший вміст акцесорних мінералів до 22 %, що вплинуло на його ударну міцність.

Залежність енергоємності руйнування Василівського граніту від енергії одиничного удару:

$$E_{\text{руйн}} = 0,0155P_{\text{руйн}}^2 - 113,69P_{\text{руйн}} + 210308, \text{ Дж.} \quad (12)$$

Залежність енергоємності руйнування Капустинського граніту від енергії одиничного удару:

$$E_{\text{руйн}} = 0,0122P_{\text{руйн}}^2 - 89,286P_{\text{руйн}} + 170625, \text{ Дж.} \quad (13)$$

Залежність енергоємності руйнування Добринського лабрадориту від енергії одиничного удару:

$$E_{\text{руйн}} = 0,0069P_{\text{руйн}}^2 - 48,743P_{\text{руйн}} + 91427, \text{ Дж.} \quad (14)$$

Залежності, які отримано експериментально, демонструють загальний характер зниження міцності зразків з природного каменю при різних амплітудах і кількостях навантажень. Виконані дослідження дозволили оцінювати зміну міцності природного каменю, з якого складається масив гірських порід, залежно від амплітудно-часових параметрів багаторазових дій сейсмовибухових хвиль.

Приведена методика для оцінки зменшення міцності гірської породи при багаторазовому динамічному навантаженні її залежно від енергії одиничного удару дозволяє визначити придатність негабариту для виготовлення блоків облицювального каменю, який одержаний після масових вибухів на ділянці з видобутку гранітів на щєбінь. Встановлено, що при питомій енергії удару більше 1,47 кДж/м<sup>3</sup> граніти (Корецьке, Жежелівське, Токівське, Лезниківське родовища гранітів, а також габро) будуть демонструвати стійкість до удару, що дозволяє вести супутній видобуток блоків природного каменю в щєбєневих кар'єрах. Разом з тим такі родовища гранітів, як Василівське, Дідковицьке, Межиріцьке мають незначну стійкість до удару при питомій енергії удару менше 1,47 кДж/м<sup>3</sup> і є не придатними для супутнього видобутку блоків природного каменю в щєбєневих кар'єрах.

**У третьому розділі** викладено нове рішення актуальної наукової задачі розробки сейсдобезпечної та ефективної технології ведення вибухових робіт при видобутку гранітів на щєбінь, які узгоджені з технологією видобування блоків природного каменю, шляхом визначення критерію сейсмічної безпеки за допустимими напруженнями розтягнення й масовій швидкості коливань гранітних порід по підшві на уступах блочного каменю, з урахуванням частотних характеристик сейсмічних хвиль і власних частот окремих блоків. Наведені закономірності розподілу ізоліній сейсмічних хвиль по всій площі кар'єрного поля в т. ч. і в блочних ділянках анізотропного гранітного масиву при масових вибухах з різною приведеною масою.

При визначенні критерію оцінки інтенсивності сейсмічних хвиль від дії масових вибухів спочатку проведені аналітичні дослідження впливу її на хвильову вібрацію кожного блоку щодо визначення періодів їх власних коливань. При цьому розглядалася ділянка, на якій проводиться видобуток штучних блоків, яка представлена окремими монолітними блоками і характеризується системою вертикальних похилих та горизонтальних тріщин.

При розрахунках враховувались: відокремленість блоків тріщинами, його розміри та маса. Власні коливання блоків природного каменю описуються залежністю:

$$\omega = \sqrt{\frac{C_1 \cdot E \cdot J}{m \cdot l^3}}, \text{ c}^{-1}, \quad (15)$$

де  $C_1$  – коефіцієнт пропорційності, який визначається в залежності від його оточення тріщинами, або наявності добувного уступу ( $C_1 = 48$  – блок в масиві відокремлений тріщинами (шарнірно-рухомий);  $C_2 = 3$  – блок, який розробляється (з однієї сторони має вільну поверхню);

$E$  – модуль пружності породи, Па;  $J$  – момент інерції,  $\text{м}^4$ .  $J = \frac{bh^3}{12} = \frac{lh^3}{12}$ ;  $b$  – ширина блоку, м;  $h$  – висота блоку, м;  $l$  – довжина блоку, м;  $m$  – маса блоку,  $m = bahl\rho$ , кг;  $\rho$  – питома вага породи,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Проведені розрахунки для гранітного блоку ( $\rho = 2700 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $E = 4,9 \cdot 10^{10} \text{ Па}$ ) в масиві з параметрами  $5 \times 2 \times 1$  м, для якого момент інерції розраховується за шириною блоку.

На прикладі ділянки кар'єрного поля родовища гранітів ВАТ «Лезниківський кар'єр» (рис. 8) приведені залежності частоти власних коливань блоку, який з однієї сторони має вільну поверхню, від його довжини при різному його об'ємі, та які описуються поліномами другого степеню.

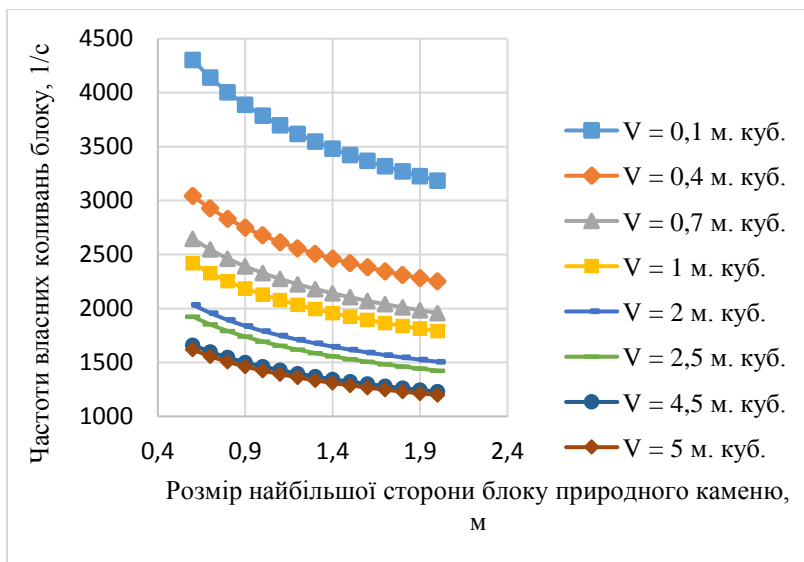


Рис. 8. Залежності частоти власних коливань блоку, який з однієї сторони має вільну поверхню, від його довжини при різному його об'ємі

Вперше визначені залежності частоти власних коливань блоку, що в масиві відокремлений тріщинами (шарнірно-рухомий) від його довжини при різному його об'ємі. Частоти власних коливань блоку лежать в межах від 4000 до 18000  $\text{с}^{-1}$ .

Для з'ясування, чи відбудеться резонансне явище при накладанні власних частот коливань блоків природного каменю в масиві з частотами коливань від вибуху заряду ВР, вперше аналітично встановлено залежність частоти коливань блоків від вибуху різних одиночних свердловинних зарядів у повздовжній пружній хвилі та при висоті уступів  $h = 14\text{--}16$  м. Дослідження показали, що резонансних



явищ при накладанні власних частот коливань блоків природного каменю в масиві з частотами коливань від вибуху не відбудеться.

Проведено дослідження анізотропних властивостей гранітного масиву з визначення руйнівної та сейсмічної дій вибуху навколо одиночного циліндричного заряду ВР. Метод заснований на визначенні радіусів зони руйнування, які викликані дією різних типів хвиль та їх трансформації в пружній області. Зона руйнування цікава як своїми розмірами зруйнованого матеріалу (звідси знаходимо інтенсивність і рівномірність руйнування), так і параметрами ізосейсм на її зовнішній межі, що визначають характер нерівномірного розповсюдження і формування коливань. Маючи цю інформацію, можливо установити взаємозв'язок руйнівної і сейсмічної дії з відомими динамічними, міцнісними і пружними характеристиками порід в масиві.

Дослідним шляхом за допомогою визначення руйнівної та сейсмічної дій вибуху навколо одиночного циліндричного заряду ВР на прикладі Лезниківського кар'єру встановлено, що напрям анізотропії масиву повністю збігається з переважаючим напрямом системи закономірно орієнтованих розкритих тріщин (рис. 9).

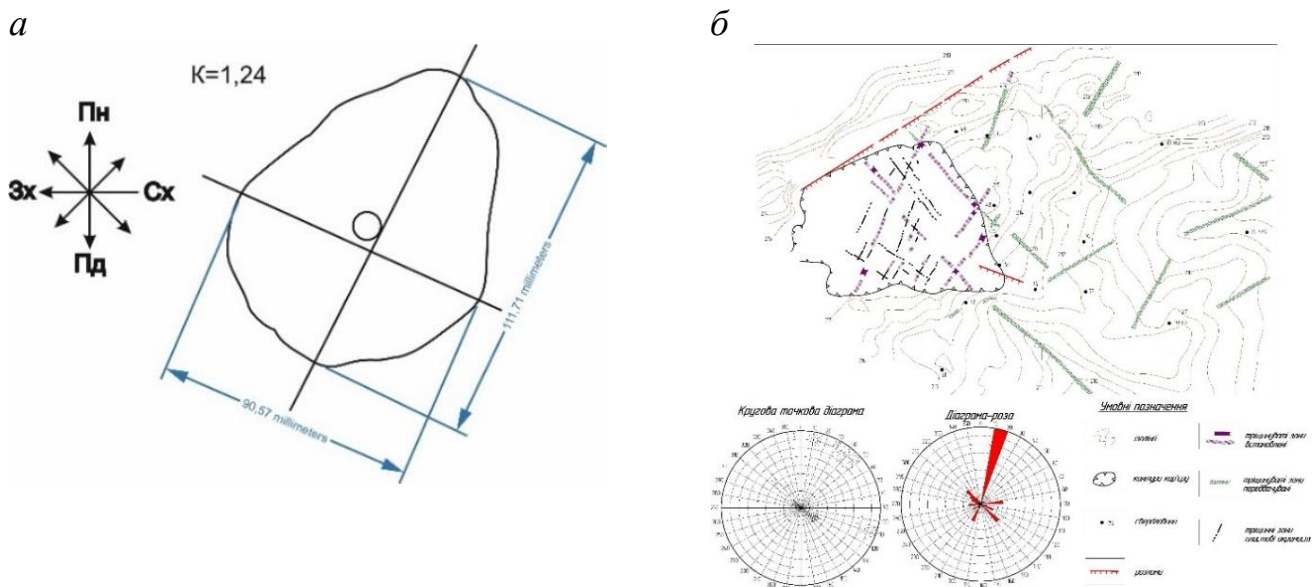


Рис. 9. Схема проведення напівпромислових досліджень на робочому горизонті щебеневого кар'єру ВАТ «Лезниківський кар'єр»

а – схема визначення головних вісей (радіусів) зони руйнування і коефіцієнта анізотропії; б – карта геолого-тектонічних порушень родовища ВАТ «Лезниківський кар'єр» та діаграми з системи закономірно орієнтованих розкритих тріщин

Крім аналітичних і напівпромислових досліджень у даному розділі наведені експериментальні дослідження в промислових умовах на прикладі гранітного кар'єра ВАТ «Лезниківський кар'єр». Визначено показник інтенсивності сейсмічної дії на ділянці з видобутку блоків від проведення вибухових робіт на дільниці з видобутку гранітів на щєбінь. При цьому була використана методика апаратних вимірювань, що розроблена в Інституті гідромеханіки НАН України. Одержані від апаратних вимірів масові швидкості коливань по профільним лініям (наприклад  $V_1$

та  $V_2$  паралельно та перпендикулярно простяганню розкритим тріщинам відповідно), орієнтованим на ділянку з видобутку блоків, в різних азимутальних напрямках, від дії короткоуповільненого масового вибуху свердловинних зарядів. Ініціювання проводилося неелектричною системою ініціювання. Використовуючи залежності ( $V_1$  та  $V_2$ ) масових швидкостей сейсмічних коливань від приведеної до заряду відстані паралельно та перпендикулярно простяганню розкритим тріщинам відповідно, які мають вигляд:

$$V_1 = K_1 \left( R_1 / Q^{1/3} \right)^{-v_1}, \text{ м/с.} \quad (16)$$

$$V_2 = K_2 \left( R_2 / Q^{1/3} \right)^{-v_2} \text{ м/с,} \quad (17)$$

де  $K_1, K_2$  – коефіцієнти пропорційності відповідно паралельному та перпендикулярному простяганню розкритих тріщин  $\text{м}^{n+1}/\text{с} \cdot \text{кг}^{n/3}$ ;  $V_1, V_2$  – значення масових швидкостей коливань, одержані з осцилограм моніторингу промислових вибухів по профільним лініям, в напрямку дільниці з видобутку гранітів на блоки, відповідно паралельному та перпендикулярному простяганню розкритих тріщин  $\text{м/с}$ ;  $v_1; v_2$  – показники ступенів загасання відповідно паралельно та перпендикулярно простяганню розкритих тріщин;  $R_1, R_2$  – радіуси сейсмічних відстаней від епіцентру вибуху відповідно в напрямках паралельному та перпендикулярному простяганню розкритих тріщин,  $\text{м}$ ;  $Q$  – максимальна маса ВР в свердловинних зарядах, які підриваються в групі з інтервалом сповільнення менше 17  $\text{мс}$ ,  $\text{кг}$ .

Визначено коефіцієнти пропорційності  $K_1, K_2$  та показники ступенів загасання  $v_1, v_2$  для гірничо-геологічних умов гранітного кар'єра ВАТ «Лезниківський кар'єр». За даними сейсмо і спектрограмам, отриманих у відповідальних точках профілю та проведеної екстраполяції, з застосуванням метода динамічної подібності Ньютона одержані емпіричні залежності ( $V_1$  та  $V_2$ ) масової швидкості сейсмічних коливань від приведеної до заряду відстані для гірничо-геологічних умов гранітного кар'єра ВАТ «Лезниківський кар'єр», які мають вигляд:

за профільною лінією, яка розташована паралельно простяганню розкритих тріщин:

$$V_1 = 440 \left( R_1 / Q^{1/3} \right)^{-1,56} \text{ см/с ;} \quad (18)$$

за профільною лінією, яка розташована перпендикулярно до простягання розкритих тріщин:

$$V_2 = 1300 \left( R_2 / Q^{1/3} \right)^{-1,95} \text{ см/с.} \quad (19)$$

Для визначення сейсдобезпечної відстані  $R$ , (м) (для допустимих  $V$  значень масових швидкостей коливань, см/с), від епіцентру масового вибуху залежно від полярного кута ( $\varphi$ , градуси) між радіусом зони ізосейм і профілем, паралельним простяганню розкритих тріщин:

$$R = \frac{((K_y (K_1/V)^{\frac{1}{v_1}})(K_1/V)^{1/v_1})^3 \sqrt{Q}}{\sqrt{(K_1/V)^{\frac{2}{v_1}} + \left[ (K_1/V)^{\frac{2}{v_1}} - (K_2/V)^{\frac{2}{v_1}} \right] \cos^2 \varphi}}, \text{ м.} \quad (20)$$

Розрахунки сейсдобезпечної відстані (охоронних ціликів)  $R$ , радіусів  $R_1$  та  $R_2$  осей, в напрямках, паралельному та перпендикулярному простяганню розкритих тріщин відповідно, зони сейсдобезпечності для забезпечення стійкості уступів на дільниці з видобутку блоків на щебінь при допустимих значеннях масових швидкостей коливань  $[V] = 15$  см/с з коефіцієнтом запасу 1,33 та коефіцієнт, який враховує умови вибуху  $K_y = 1$ , приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Дані розрахунку сейсдобезпечної відстані  $R$ , радіусів  $R_1$  та  $R_2$  осей зони сейсдобезпечності для допустимих  $[V] = 15$  см/с значень масових швидкостей коливань

$R$ , м	$R_1$ м	$R_2$ м	$K_y$	$K_1$	$K_2$	$[V]$ , см/с	$v_1$	$v_2$	$Q$ кг	$\varphi$ град
56,18	54,95	62,10	1,00	440	1300	15,00	1,56	1,95	250	90
71,40	69,23	78,24	1,00	440	1300	15,00	1,56	1,95	500	45
81,03	79,24	89,56	1,00	440	1300	15,00	1,56	1,95	750	90
89,96	87,22	98,58	1,00	440	1300	15,00	1,56	1,95	1000	45
96,07	93,95	106,19	1,00	440	1300	15,00	1,56	1,95	1250	90

Приведені за формулами (16–20) розрахунки сейсдобезпечних відстаней (охоронних ціликів)  $R$ , радіусів  $R_1$  та  $R_2$  осей, в напрямку, паралельному та перпендикулярному простяганню розкритих тріщин, відповідно використані для побудови, на плані гірничих робіт кар'єру ВАТ «Лезниківський кар'єр», карти сейсмічного районування кар'єрного поля з видобутку гранітів на щебінь із нанесенням ізоліній допустимих максимальних мас заряду  $BP$  на одне сповільнення. На рис. 10 наведено блок, який підривається масовим вибухом з нанесеними свердловинами та лініями (ізосейсами) допустимих зарядів.

Дія сейсмічних хвиль за масовою швидкістю коливань від промислових вибухів, які проводяться на дільниці кар'єрного поля з розробки гранітів на щебінь, має забезпечити допустиму концентрацію напружень для уступів блочного каменю. В розділі наведено оцінку сейсмічного стану уступів блочного каменю, які характеризуються утворенням радіальних тріщин від дії тангенціальних напружень.



Рис. 10. Блок, який підривається промисловим вибухом з нанесеними свердловинами та лініями (ізосейсмами) допустимих зарядів

Напруження на ділянках блочного каменю можливо одержати, використавши відому залежність Ландау-Лівшиця:

$$\sigma_y = \frac{U_y^x V_{RY}}{q}, \text{ Па}, \quad (21)$$

де  $\sigma_y$  – напруження на уступі блочного каменю, Па;  $V_R$  – швидкість розповсюдження сейсмічних хвиль, м/с;  $\gamma$  – об'ємна маса граніту, кг/м<sup>3</sup>;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Порівнюючи значення граничного опору розриву гранітів на уступах блочного каменю ( $\sigma_q = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}$ ) на приведених відстанях 12,6–24,9 м/кг<sup>1/3</sup> на прикладі кар'єрного поля ВАТ «Лезниківський кар'єр» встановлено, що існує запас міцності, щоб укоси зберігали свою стійкість та цілісність при впливі на них сейсмовибухових хвиль, викликаних вибухом ВР на дільниці з видобутку гранітів на щєбінь.

Виміряно поширення сейсмовибухової хвилі в анізотропному масиві гірських порід та дано оцінку сейсмічної стійкості уступів блочного каменю як за параметром допустимої масової швидкості коливань, так і за напруженнями розтягнення. Приведені розрахунки стійкості ділянок блочного каменю з урахуванням як їх власних частот коливань, так і дії домінуючої сейсмічної хвилі, що виникає внаслідок масових вибухів на дільниці з видобутку гранітів на щєбінь. Результати експериментів порівняні з даними аналітичних розрахунків. Встановлено, що максимальні значення масової швидкості коливань в зоні ділянки блочного каменю припадають на коливання з діапазоном частот від 20 до 35 Гц, що відрізняються від власних частот гранітних блоків, де в зонах їх видобування превалюють височастотні коливання з діапазоном в межах від 4300 до 16000 Гц (рис. 10).

Розроблено алгоритм розрахунку і побудовано карту сейсморайонування кожного горизонту кар'єрного поля на ділянці з видобутку гранітів на щебінь за ізолініями допустимих масштабів вибухів з корегуванням їх параметрів зі зміною фронту розвитку гірничих робіт.

На підставі результатів досліджень, які виконані в дисертаційній роботі розроблено рекомендації щодо утворення умов стійкості уступів блочного каменю від дії масових вибухів ВАТ “Лезниківський кар'єр” на всіх видобувних горизонтах ділянки з видобутку гранітів на щебінь.

**Четвертий розділ** присвячено розробці технології видобування блоків в розвалі підірваної гірської породи та з підшви уступу.

Негабаритні шматки каменю можна використовувати в якості сировини для виготовлення облицювальних виробів з природного каменю. Для цього необхідно визначити міцність та наявність тріщин в окремоті за методиками, які наведені в другому розділі. За необхідності окремість розколюється на менші шматки, які придатні для подальшої обробки каменеобробним інструментом. При цьому згідно технології видобування блоків природного каменю використовувати вибухові матеріали не рекомендується. Тому в цій роботі розглянуто застосування гідромолоту для подрібнення негабариту.

Особливе значення для забезпечення ефективності вторинного дроблення має правильний вибір молота залежно від об'єкта застосування.

В результаті регресійного аналізу отримано залежність маси базової машини (екскаватора) від енергії удару:

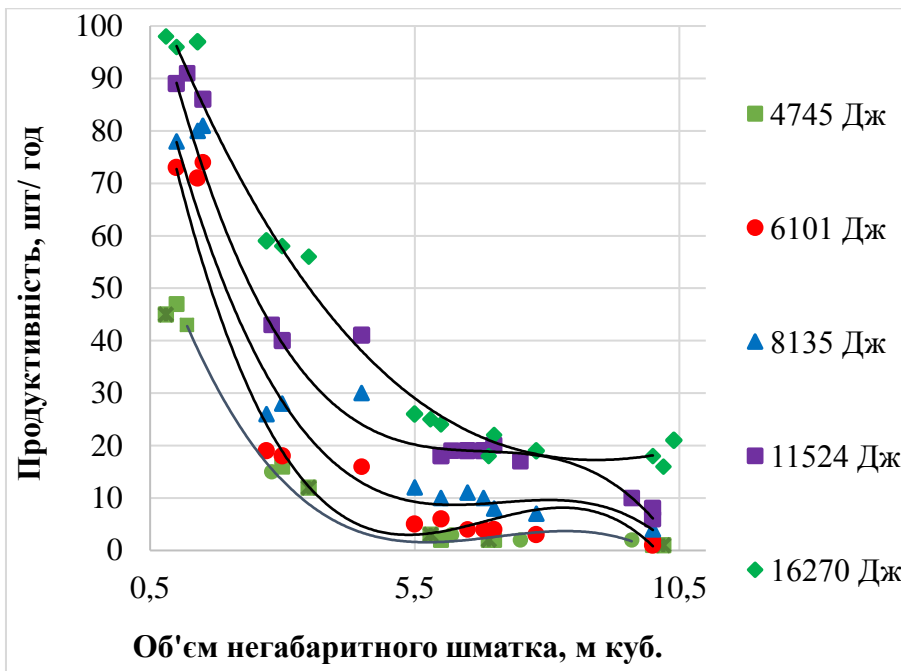
$$m = 3 + 4,6E_{уд}, \text{ тон}, \quad (22)$$

де  $E_{уд}$  – енергія удару гідромолоту, кДж.

Залежності продуктивності гідромолоту від розміру шматка негабариту наведено на рис. 11 для гранітних родовищ.

В дисертаційній роботі пропонується супутнє видобування блоків природного каменю з підшви уступу залежно від напрямку основної сітки тріщин в умовах щебеневого кар'єру наступними типами заходок (рис. 12): повздовжніми, поперечними та діагональними.

В зв'язку з великою висотою уступу та обмеженим доступом до укосу уступу в дисертаційній роботі розглянуто можливість застосування дискових машин на базі гідравлічних екскаваторів. Машини, які оснащені дисковими пилками, широко застосовувалися в колишньому СРСР при видобуванні стінового каменю аж до 1990 р., при цьому блоки вирізалися безпосередньо з масиву. Їх використання було пов'язано із видобутком м'якого каменю.



Останніми роками з'явилася дискова машина для різання міцних порід в масиві, яка встановлюється на гідравлічний екскаватор в якості навісного обладнання. Екскаватор з дисковою пилою може відпрацювати уступ як з підшви уступу, так і з покрівлі. Робочі параметри гідравлічних екскаваторів дозволяють розробляти уступи висотою до 10 м з підшви, вище 10 м з двох положень – з підшви та покрівлі уступу.

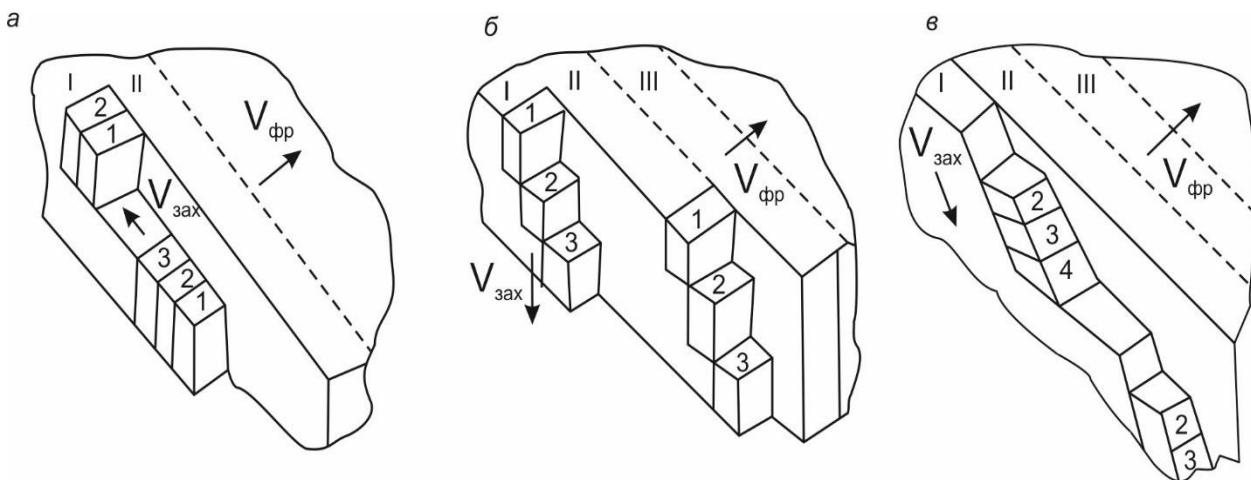


Рис. 12. Типи заходок при видобуванні блоків природного каменю з підшви уступу в умовах щебеневого кар'єру  
*а* – поздовжні заходки; *б* – поперечні заходки; *в* – діагональні заходки

В дисертаційній роботі запропоновано технологічну схему супутнього видобутку блоків природного каменю на ділянках, які розміщені в межах робочої зони щебеневої дільниці кар'єру. У технологічній схемі А (рис. 13, б) виїмання природних блоків дисковою машиною на стадії видобутку корисної маси з масиву закладено принцип поштучного оконтурювання блоків в виїмкових смугах уступу.

Виймкові шари уступу розробляються дисковою машиною зліва направо, знизу вгору. Довжина і глибина розробки кожного виймкового шару уступу встановлюється залежно від:

- наявності в ньому природних блоків;
- місця розташування блоків у виймкових смугах уступу;
- стійкості породного масиву;
- необхідної кількості вільних граней блоків;
- конструктивних параметрів дискової машини.

Для відокремлення блоку з масиву виймкової смуги уступу виконуються наступні технологічні операції: під блоком підрізується площина, потім площини нарізуються зліва та справа. В тильній частині блока бурять шпури для закладення клинів в доступних для розміщення бурового обладнання та людей місцях. Якщо технологічно не можливо бурити, то в цьому випадку тильну сторону підрізають дисковою машиною або відокремлюють гідромолотом. Підбирання гідромолоту здійснюється залежно від висоти блоку та енергії його удару.

Схема В (рис. 13, б) за технологією відокремлення блоків з масиву така сама, як схема А, але роботи ведуться зверху вниз.

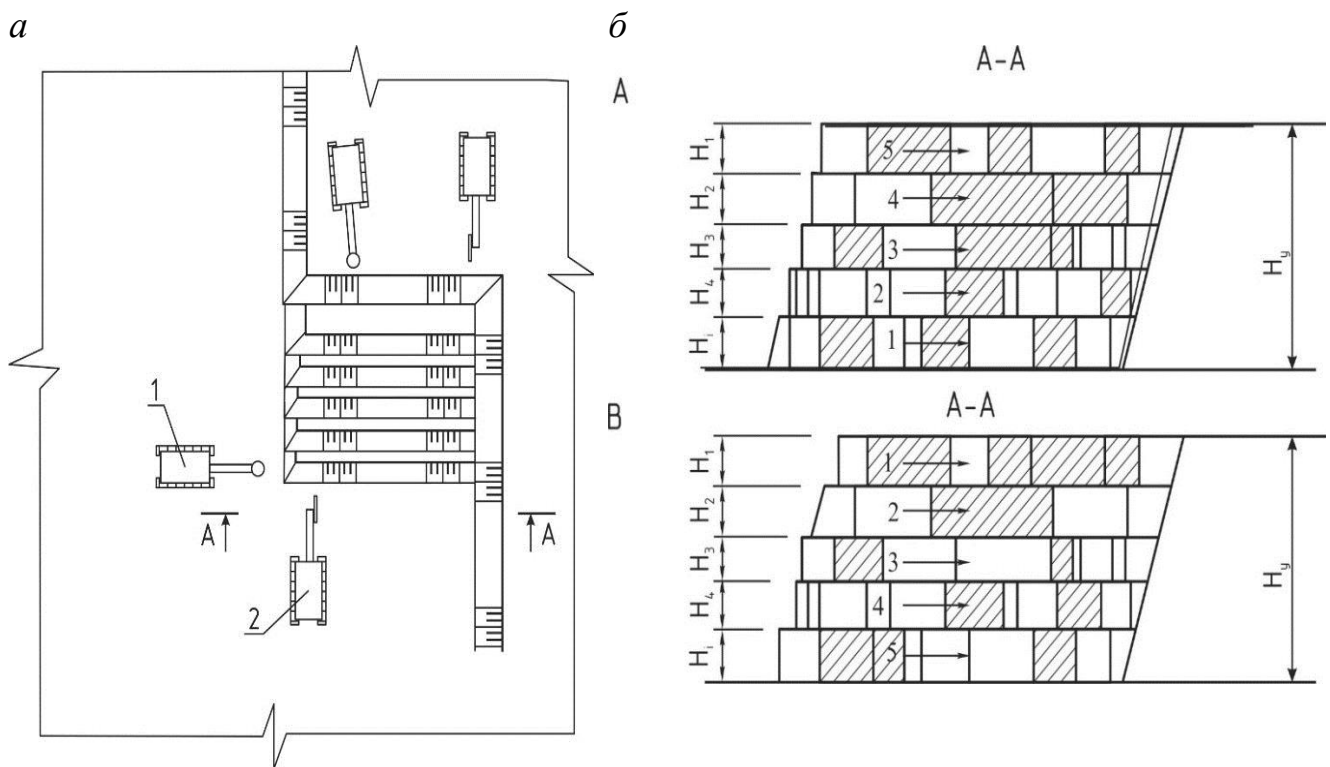


Рис. 13. Технологічні схеми (А, В) розробки уступу з супутнім видобуванням блоків природного каменю:

1 – гідромолот на базі гідравлічного екскаватора; 2 – дискова машина на базі гідравлічного екскаватора

Технологічні схеми А і В комплексного відпрацювання видобувного уступу включають такі технологічні елементи (процеси): різання щілин дисковою пилою, буріння шпурів, роботу гідромолоту, витягання та завалювання природної окремістості.

Реалізація технологічних схем А і В здійснюється дисковою машиною та гідромолотом в послідовності, яка визначається головним критерієм відпрацювання видобувного уступу – максимальне вилучення блочної продукції з масиву гірських порід на стадії видобутку корисної маси комплексом обладнання з мінімальними енерговитратами. Після відокремлення блоку необхідно його перемістити до подошви уступу або завалити. Завалення здійснюється на піщану подушку.

Виконані дослідження дозволяють вибрати тип гідромолоту залежно від об'єму окремоті природного каменю, що дозволить розробити ефективні рішення для розроблених технологічних схем з нижнім відпрацюванням уступу з супутнім видобуванням блоків природного каменю.

**У п'ятому розділі** розроблено невибухову технологію видобування блочного природного каменю окремою ділянкою в щебених кар'єрах, яка заснована на алмазно-канатному різанні. Удосконалена система поточного планування видобування блоків природного каменю.

Встановлені при плануванні робіт комплексу «кар'єр – каменеобробний завод» об'єми видобування блоків природного каменю (зокрема по кварталах і, при необхідності, по категоріях) є основою планування робіт з видобування. Задачею поточного планування робіт видобування є визначення положень гірничих робіт на уступах, які розробляються, за періодами року (кварталами або сезонами).

Як критерій оптимальності моделі прийнято сумарне (з урахуванням значущості різних об'ємів блоків) відхилення фактичних об'ємів видобування блоків від запланованих у виробничій програмі.

Цільова функція моделі має такий вигляд:

$$\sum_{V=0,6}^5 \sum_{T=1}^4 K^V (V_T^{V\Phi} - V_T^{V\Pi\Pi})^2 \rightarrow \min, \quad (23)$$

де  $V$  – об'єм блоків природного каменю  $V = 0,6 \div 5 \text{ м}^3$ ;  $T$  – період часу (квартал):  $T = 1, 2, 3, 4$ ;  $K^V$  – значимість блоків різних об'ємів,  $\sum_V K^V = 1$ ;  $V_T^{V\Phi}$ ,  $V_T^{V\Pi\Pi}$  – фактичний та плановий об'єми видобутку блоків категорії  $V$  в період  $T$ ,  $\text{м}^3$ ;  $m_T^{V\Pi\Pi}$  – плановий вихід блоків категорії  $V$  в період  $T$ ;  $V^{V\max}$ ,  $V^{V\Pi\Pi}$  – річний максимальний та плановий об'єми видобутку блоків природного каменю,  $\text{м}^3$ .

В дисертаційній роботі запропоновано дві схеми видобування блоків природного каменю. В обох схемах спочатку в розрізній траншеї проводять врубіву траншею трапецієподібної форми для розміщення бурового верстата. Основа траншеї має забезпечувати його вільну роботу і становить 2,5–3,5 м залежно від моделі бурового верстата. Горизонтальне буріння проводять за двома схемами: за першою схемою (рис. 14) свердловини для заведення алмазного канату бурять паралельно бровці уступу, за другою схемою (рис. 15) бурять косі свердловини відносно бровки уступу. Варто зазначити, що другий ряд і наступні ряди монолітів в обох схемах будуть відрізнятися від першого ряду. Як правило, другий ряд і наступні ряди мають геометричну форму паралелепіпеда і однакову ширину.



При видобутку блоків за першою схемою (рис. 14) ширина кожного наступного моноліту буде зменшуватися на 0,2–0,4 м, а довжина фронту робіт буде залежати від довжини моноліту і мінімальної його ширини. Мінімальна ширина моноліту визначає висоту готового блоку природного каменю і зазвичай приймається не менше 1 м. Тоді, наприклад, під час відступу 20 см від бічної грані при бурінні свердловин кожного нового моноліту і ширині першого моноліту 2 м, має сенс нарізати тільки 6 блоків в одному ряду.

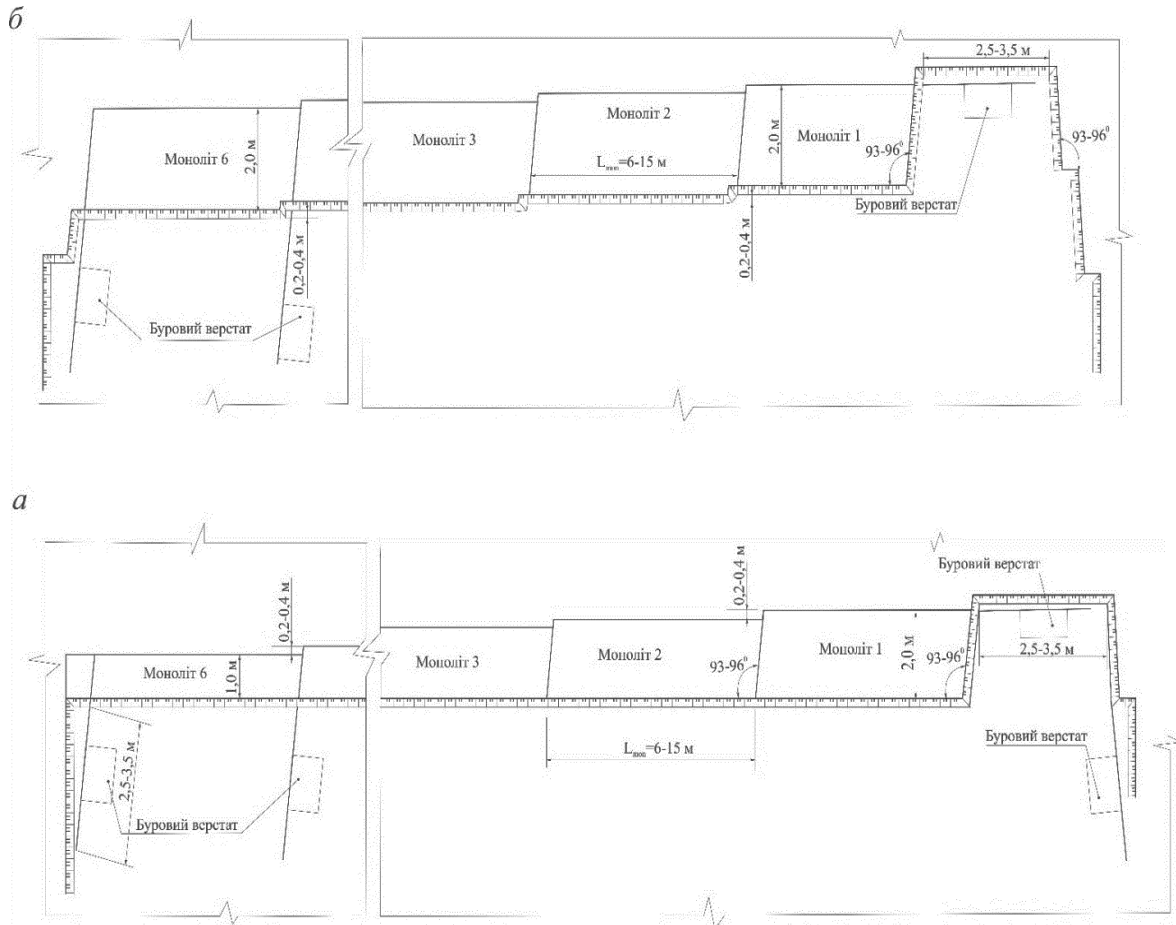


Рис. 14. Схема видобутку блоків алмазно-канатним способом при бурінні горизонтальних свердловин паралельно бровці уступу  
*a* – план першого ряду монолітів; *б* – план наступних рядів монолітів

Друга схема (рис. 15) має ряд переваг порівняно з першою. Насамперед, при випилюванні монолітів з масиву не відбувається зменшення ширини подальшого моноліту. Крім того, довжина моноліту не впливає на довжину фронту робіт – однієї врубної траншеї досить для видобутку блоків одного ряду по всьому фронту. До переваг належать і великі сумарні обсяги видобутку блоків першого ряду (вони можуть перевищувати сумарний обсяг блоків за першою схемою з однаковою за довжиною ділянкою робіт на 35–40 % і більше).

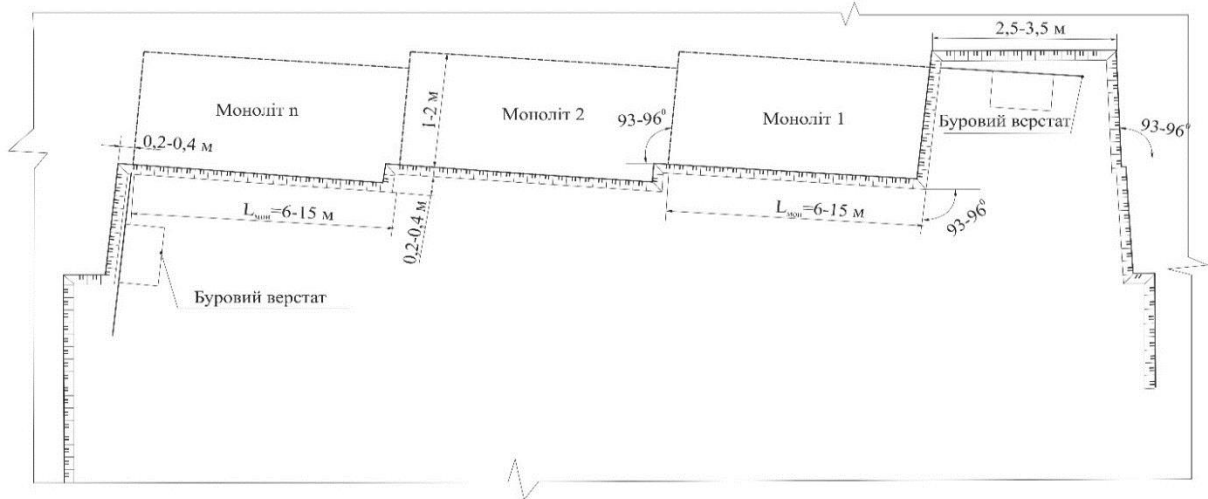
Величину питомих втрат при двостадійній системі видобування залежно від довжини первинного моноліту наведено на рис. 16.

Залежність питомих втрат природного каменю при двостадійній системі видобування блоків від довжини моноліту можливо виразити формулою:

$$V_{\text{пит}} = -0,0031L_{\text{МОН}}^3 - 0,0673L_{\text{МОН}}^2 - 0,499L_{\text{МОН}} + 1,495, \text{ м}^3/\text{м}, \quad (24)$$

де  $V_{\text{пит}}$  – величина питомих втрат природного каменю;  $L_{\text{МОН}}$  – довжина моноліту, м.

б



а

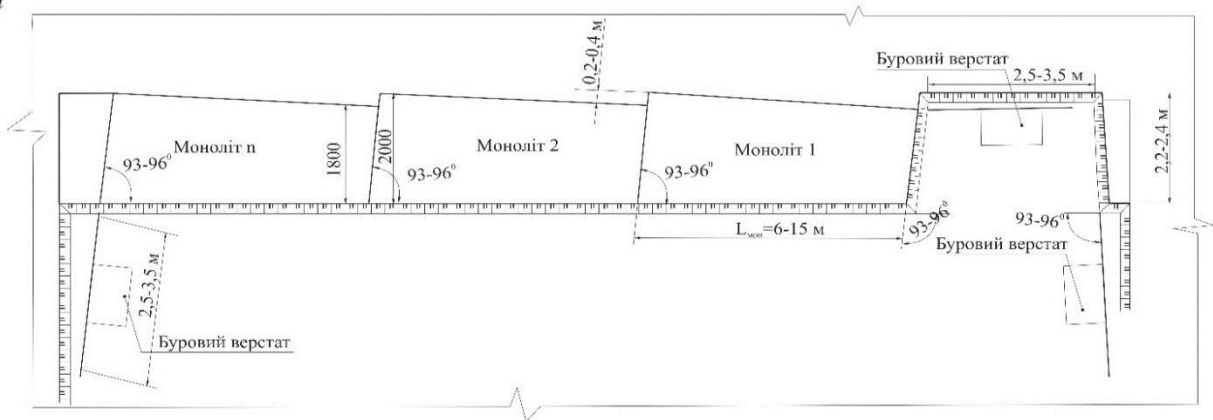


Рис. 15. Схема видобутку блоків алмазно-канатним способом при бурінні горизонтальних свердловин під кутом до бровки уступу  
а – план першого ряду монолітів; б – план подальших рядів монолітів

Залежність питомих втрат природного каменю при тристадійній системі видобування від ширини моноліту.

$$V_{\text{пит}} = K_1 B_{\text{МОН}}^3 + K_2 B_{\text{МОН}}^2 - K_3 B_{\text{МОН}} + K_4, \text{ м}^3/\text{м}, \quad (25)$$

де  $K_1, K_2, K_3, K_4$  – емпіричні коефіцієнти;  $K_1 = -3 \cdot 10^5 L_{\text{МОН}}^2 + 0,0005 L_{\text{МОН}} - 0,0029$ ,  $K_2 = 0,1171 L_{\text{МОН}}^{-1,002}$ ,  $K_3 = 0,1475 \ln(L_{\text{МОН}}) - 0,4143$ ,  $K_4 = 2,8085 L_{\text{МОН}}^{-1,002}$ ,  
 $B_{\text{МОН}}$  – ширина моноліту, м,  $L_{\text{МОН}}$  – довжина моноліту, м

В розділі наведено методологію обґрунтування виробничої потужності кар'єра з видобутку блоків облицювального каменю з огляду на наступні гірничотехнічні чинники: провізну спроможність транспортних комунікацій; інтенсивність гірничих робіт; розміри кар'єрного поля; властивості міцності і блочність масиву; концентрацію і продуктивність видобувних технологічних комплексів в кар'єрі.

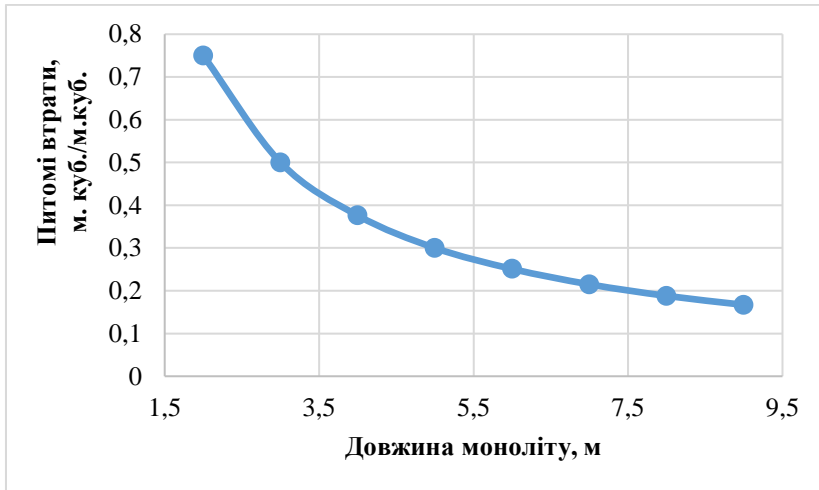


Рис. 16. Залежність величини питомих втрат при двостадійній системі видобування залежно від довжини первинного моноліту

Проведено дослідження можливих шляхів мінімізації втрат при завалюванні монолітів декоративного каменю, що дозволить підвищити коефіцієнт виходу блоків природного каменю з масиву гірської породи.

У шостому розділі обґрунтовано проведення розкривних виробок на блочних ділянках кар'єру невибуховим способом за допомогою алмазно-канатного різання.

В дисертаційній роботі вперше розглянуто технологію проведення капітальних траншей за допомогою канатної машини за двома схемами: з центральним та боковим трикутним врубом.

Проходження траншей трикутним врубом з використанням канатної машини передбачає використання бурових верстатів для буріння збійки свердловин з метою заведення канату та суцільного буріння.

Залежно від кута  $\alpha$  збійки горизонтальних свердловин буде змінюватись кількість заходок (рис. 17).

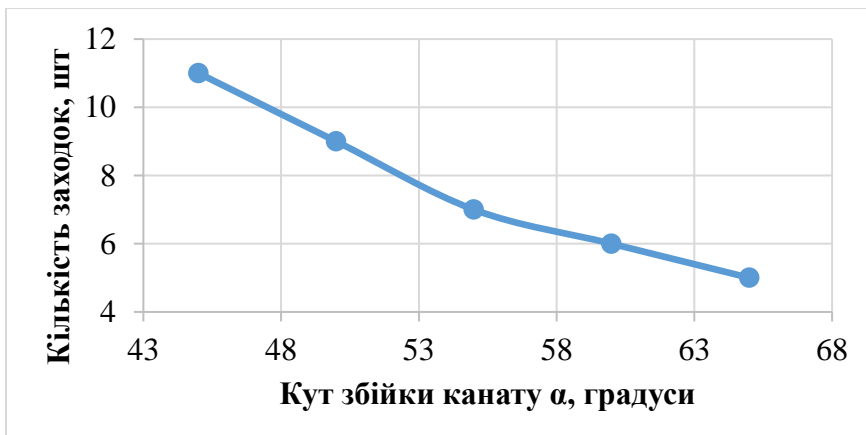


Рис. 17. Залежність кількості заходок від кута збійки горизонтальних свердловин для досягнення проектної глибини 6 м

З графіка видно, що найбільш оптимальним та економічно вигідним буде кут збійки горизонтальних свердловин величиною 65 град, при якому кількість заходок дорівнює п'яти.

Найбільш економічний результат досягається при меншій кількості заходок, але при цьому треба приймати до уваги оптимальні об'єми першого блоку заходки.

Вихід товарних блоків при різному початковому куті збійки свердловин показано на рис. 18.

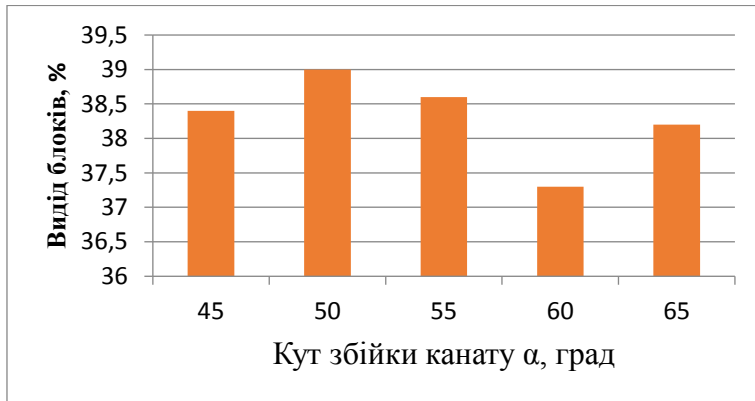


Рис. 18. Вихід товарних блоків при різному початковому куті збійки свердловин

Результати досліджень дозволяють підібрати необхідні параметри невибухової технології при проведенні капітальних траншей на блочній ділянці в щелевеному кар'єрі. Також в даному розділі визначені раціональні способи вилучення монолітів каменю при проведенні капітальних траншей, що дозволить підібрати необхідне обладнання.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення актуальної науково-практичної проблеми з розробки наукових основ технології супутнього видобування блоків в умовах щелевених гранітних кар'єрів шляхом встановлення залежностей природних та технологічних параметрів з розробки сейсдобезпечних технологій виконання промислових вибухів при паралельному видобутку блочної та щелевеної продукції в межах одного родовища гранітів.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у такому:

1. Розроблено схему виділення природно-технологічних зон в робочому просторі щелевених кар'єрів та на основі цього узагальнено методику геометризації масивів природного каменю з метою отримання комплексної моделі родовища.

2. Розроблено методики визначення зниження міцності природного каменю, що надають можливість встановити придатність родовища гранітів до супутнього видобутку блоків природного каменю в щелевених кар'єрах. Дослідження міцності граніту неруйнуючим методом дало можливість встановити взаємозв'язок між характеристиками міцності червоних гранітів та поширенням ультразвукової хвилі у вигляді степеневих функцій.

3. Вперше аналітично обґрунтовано та експериментально підтверджено допустимі значення напружень розтягнення і масової швидкості коливань гранітної основи уступів блочного каменю, скореговані з рівнем небезпеки

тріщиноутворення (сейсмостійкості) в них під час промислових вибухів з урахуванням частотних характеристик коливань сейсмічних хвиль й власних коливань окремих блоків.

4. Вперше аналітично і експериментально виконано оцінку хвильових процесів в умовах промислових вибухів на дільницях з видобутку щебеневої продукції для одержання початкових розрахункових даних на дільниці з видобутку блоків облицювального каменю. На основі досліджених фізико-механічних властивостей та анізотропії гранітного масиву, по якому поширюється сейсмовибухова хвиля, розраховується захисна ціликова зона та параметри підривних робіт, які не перевищують встановлених допустимих напружень розтягнення на всіх ділянках блочного каменю. Доведено, що застосування в певній комбінації розроблених сейсмобезпечних методів технологічного руйнування гірничої маси на щєбінь дає можливість одночасно зберегти цілісність блочного масиву для супутнього видобутку блоків.

5. У результаті регресійного аналізу отримано залежність для визначення маси базової машини (екскаватора) від енергії удару гідромолоту, яка описується лінійною функцією. Встановлено залежності продуктивності гідромолотів з різною енергією удару від розміру шматка негабариту, які описуються поліномами третього степеню, що надасть можливість підвищити продуктивність технологічних процесів з видобутку блоків в розвалі гірської породи та селективному видобутку блоків облицювального каменю з уступу в парі з дисковою машиною.

6. Розроблено технологічні схеми розробки уступу з супутнім видобуванням блоків природного каменю. Визначено процедуру поточного планування видобутку блоків природного каменю в умовах щебених кар'єрів. Запропоновано схеми видобутку блоків алмазно-канатним способом та встановлені залежності сумарного об'єму блоків в першому ряду від довжини фронту робіт, які описуються поліномами другого степеня.

7. Доведено, що найменші технологічні втрати природного каменю будуть при тристадійній схемі видобування природного каменю з максимальною шириною первинного моноліту та встановлено залежність величини питомих втрат при двостадійній та тристадійній системі видобування від ширини первинного моноліту, які описуються поліномами другого степеня.

8. Встановлено залежності зміни кінцевої ширини траншеї та кількості заходок від кута збійки горизонтальних свердловин для досягнення проектної глибини 6 м, які відповідно описуються логарифмічною та експоненціальними функціями. Також встановлено, що при ухилі траншеї 200 проміле мінімальний кут буріння тильної сторони моноліту має бути не менше 12 градусів. В іншому випадку моноліт не зможе перекинутися (необхідно застосовувати його відсунення, де зусилля в півтора рази вище, ніж при його перекиданні).

9. Результати дисертаційної роботи впроваджені на ТОВ «Надри», ТОВ «Дизельтехсервіс», ТДВ «Березівський кар'єр», ТОВ «Грабовецький гранкар'єр», ПАТ «Західукрвибухпром» та у навчальному процесі Житомирського державного технологічного університету, що підтверджується

відповідними актами. Сумарний очікуваний економічний ефект становить 2,72 млн. грн. на рік.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Монографії:*

1. Закусило Р.В. Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин : монографія / Р.В. Закусило, В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук. – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 212 с.

2. Кравець В.Г. Фізичні процеси прикладної геодинаміки вибуху : монографія / В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук, В.В. Бойко. – Житомир : ЖДТУ, 2015. – 408 с.

### *Статті у фахових виданнях:*

3. Коробійчук В.В. Паспортизація кінцевої товарної продукції блочного кар'єру / В.В. Коробійчук, О.А. Зубченко // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Серія : Технічні науки. – Житомир, 2008. – № 3 (46). – С. 142–147.

4. Коробійчук В.В. Вплив довжини сегмента на працездатність дискового інструменту / В.В. Коробійчук, С.С. Іськов // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ : НГУ, 2011. – № 2 (122). – С. 128–131.

5. Коробійчук В.В. Принципи інтерпретації ультразвукових вимірювань в напруженому масиві / В.В. Коробійчук // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування / Технічні науки. – 2011. – № 4 (56). – С. 167–173.

6. Коробійчук В.В. Метод оцінки тиску, що виникає при тепловому розширенні кристалів солей і льоду в порах природного каменю / В.В. Коробійчук // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – 2011. – № 3 (58). – С. 176–179.

7. Галіахметов Д.С. Методика визначення вологості природного каменю делькометричним методом / Д.С. Галіахметов, В.В. Коробійчук // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – 2011. – № 2 (57). – С. 137–140.

8. Коробійчук В.В. Оцінка результатів дослідження залежності параметрів пружних хвиль від тиску в зразках природного декоративного каменю / В.В. Коробійчук // Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія "Гірництво" : Збірник наукових праць. – Київ : НТУУ "КПІ" : ЗАТ "Техновибух", 2012. – Вип. 22. – С. 101–105.

9. Коробійчук В.В. Геометризація супутньої корисної копалини в умовах Лезниківського родовища гранітів та гірничо-геометричний аналіз його показників / В.В. Коробійчук, О.О. Ккісель, В.А. Стріха // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування / Технічні науки. – 2012. – № 2 (58). – С. 175–184.

10. Коробійчук В.В. Дослідження впливу розмірів первинного моноліту природного каменю на питомі втрати природного каменю / В.В. Коробійчук // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування / Технічні науки. – 2012. – № 1 (57). – С. 150–154.

11. Коробійчук В.В. Залежність внутрішньопорового тиску від пружних властивостей природного каменю / В.В. Коробійчук // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – 2012. – № 1 (60). – С. 123–126.

12. Коробійчук В.В. Дослідження зміни кутової швидкості падіння моноліту залежно від його геометричних розмірів та положення в просторі / В.В. Коробійчук // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – 2012. – № 2 (61). – С. 171–174.

13. Коробійчук В.В. Удосконалення системи поточного планування видобування блоків природного каменю / В.В. Коробійчук // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – 2012. – Т. 1, № 3 (62). – С. 122–125.

14. Криворучко А.О. Розробка узагальненої методики геометризації масивів природного каменю з метою отримання комплексної моделі родовища / А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук, С.С. Іськов // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – 2012. – № 4 (63). – С. 190–202.

15. Коробійчук В.В. Дослідження впливу висоти та ширини моноліту, який перекидається, на його руйнування / В.В. Коробійчук // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – 2013. – № 1 (64). – С. 134–138.

*Статті у фахових виданнях, які входять до наукометричних баз:*

16. Коробійчук В.В. Дослідження тріщинуватості Лезниківського родовища гранітів з перспективою видобутку блочної продукції / В.В. Коробійчук // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков : Технологический центр, 2013. – Вып. № 6/5 (66). – С. 23–28. *(Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus, каталогу періодичних видань Ulrich's Periodicals Directory та РИНЦ – Російський індекс цитування).*

17. Коробійчук В.В. Дослідження впливу технологічних параметрів гідромолоту DAEWOO DOOSAN на його продуктивність / В.В. Коробійчук, О.А. Зубченко, В.І. Шамрай // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков : Технологический центр, 2014. – Вып. № 2/7 (68). – С. 41–46. *(Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus, каталогу періодичних видань Ulrich's Periodicals Directory та РИНЦ – Російський індекс цитування).*

18. Шамрай В.І. Дослідження впливу шліфування-полірування природного каменю на його блиск та відтінки світлоти / В.І. Шамрай, В.В. Коробійчук // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков : Технологический центр, 2014. – Вып. № 5/5 (71). – С. 56–60. *(Входить до переліку*

міжнародної наукометричної бази даних *Index Copernicus*, каталогу періодичних видань *Ulrich's Periodicals Directory* та *РІНЦ – Російський індекс цитування*).

19. Криворучко А.О. Визначення оптимального напрямку ведення гірничих робіт при видобуванні блоків з природного каменю / А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук, Р.В. Соколевський, О.В. Камських, І.В. Павлюк // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Серія: Технічні науки. – Житомир, 2016. – №3 (78). – С. 150–163. *(Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, Google Scholar)*.

20. Sobolevskyi R. Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control / R. Sobolevskyi, V. Korobiichuk, S. Iskov, I. Pavliuk, A. Kryvoruchko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – 6/3 (84). – P. 32-40. *(Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних «Scopus»)*.

21. Korobiichuk V. Definition of hue of different types of pokostivskiy granodiorite using digital image processing // V. Korobiichuk, V. Shamrai, O. Iziyomova, O. Tolkach, R. Sobolevskyi // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Issue 4/5 (82). – P. 52–57. *(Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних «Scopus»)*.

22. Sobolevskyi R. Cluster analysis of fracturing in the deposits of decorative stone for the optimization of the process of quality control of block raw material // R. Sobolevskyi, N. Zuievskaya, V. Korobiichuk, O. Tolkach, V. Kotenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Issue 5/3 (83). – P. 21–29 *(Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних «Scopus»)*.

23. Войтенко Ю.І. Ефективність зарядів різних конструкцій при деформуванні та руйнуванні металевих перепон / Ю.І. Войтенко, В.Г. Кравець, А. Шукюров, А.Л. Ган, В.В. Коробійчук // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Серія: Технічні науки. – 2018. – № 1 (81). – С. 223–231. *(Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, Google Scholar)*.

*Статті у закордонних збірниках наукових праць:*

24. Korobiichuk I. The study of corrosion resistance of Pokostivskiy granodiorites after processing by various chemical and mechanical methods / I. Korobiichuk, M. Nowicki, V. Shamrai, G. Skyba, R. Szewczyk // Construction and Building Materials. – 2016. – Volume 114. – P. 241–247.

25. Korobiichuk V. Study of Ultrasonic Characteristics of Ukraine Red Granites at Low Temperatures / V. Korobiichuk // International Conference on Systems, Control and Information Technologies 2016. – Springer International Publishing, 2016. – С. 653–658.



*Патент:*

26. Патент на винахід 86515 Україна, МПК (2009) G 01 B 7/00 G01 N21/00. Спосіб визначення тріщинуватості блоків та виробів з природного каменю / Коробійчук В.В., Ремезова О.О., Подчашинський Ю.О., Соболевський Р.В.; заявник і власник патенту ЖДТУ. – № а2007 10049; заявл. 10.09.07; опубл. 27.04.09, Бюл. № 8.

*Публікації за матеріалами конференцій:*

27. Кальчук С.В. Исследование зависимости параметров горно-капитальных работ на карьерах блочного облицовочного камня от комплекса внутрикарьерного транспорта / С. В. Кальчук, Л.С. Неділько, В.В. Коробійчук // Материалы Международной технической конференции «Теория и практика добычи, обработки и применения природного камня». – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2010. – С. 82–91.

28. Бас А.Ю. Дослідження ефективності буріння природного каменю бурильними верстатами / А.Ю. Бас, В.В. Коробійчук // Тези XXXV-ї науково-практичної міжвузівської конференції, присвяченої Дню університету, 25–26 травня 2010 року: в 2-х т. – Житомир: ЖДТУ, 2010. – Т.1. – С. 114–115.

29. Коробійчук В.В. Проблеми і завдання акустичного контролю будівельних конструкцій з природного каменю / В.В. Коробійчук // Тези XXXVI-ї науково-практичної міжвузівської конференції, присвяченої Дню науки, 12-13 травня 2011 року: в 2-х т. – Житомир : ЖДТУ, 2011. – Т. 1. – С. 152–153.

30. Коробійчук В.В. Особливості організації виробництва на підприємствах з видобутку природного каменю / В.В. Коробійчук // Тези міжвузівської науково-практичної конференції, присвяченої Дню науки, 17-18 травня 2012 року: в 2-х т. – Житомир : ЖДТУ, 2012. – Т. 1. – С. 145–146.

31. Коробійчук В.В. Аналіз технологічних робіт з видобування природного каменю для оптимізації геометричних розмірів монолітів природного каменю / В.В. Коробійчук, В.І. Шамрай // Матеріали п'ятої всеукраїнської науково-краєзнавчої конференції. Мінерально-сировинні багатства України: шляхи оптимального використання. – Володарськ-Волинський, 2012. – С. 94–98.

32. Камських О.В. Дослідження впливу атмосферних факторів на руйнування каменю оздоблення будівель / О.В. Камських, В.В. Котенко, Р.В. Соболевський, В.В. Коробійчук // "Проблема старіння будівель та шляхи її вирішення". Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – Кривий Ріг : Видавничий центр ДВНЗ "КНУ", 2013. – С. 158–164.

33. Коробійчук В.В. Вплив часу руйнування негабаритів на продуктивність гідромолота DAEWOO DOOSAN DXB 90 на Сабарівському родовищі гранітів / В.В. Коробійчук, О.А. Зубченко, В.І. Шамрай // VI Міжнародній науково-технічній конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА». – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – С. 21–24.

34. Коробійчук В.В. Исследование технологических параметров бутобоя с целью повышения производительности дробления негабаритов / В.В. Коробійчук, В.И. Шамрай, Е.А. Зубченко // Сборник научных трудов Международного форума-

конкурса молодых ученых «Проблемы недропользования» Ч. 1. Санкт-Петербург. – 2014. – С. 123–125.

35. Шамрай В.І. Вплив фактурної обробки природного каменю на його декоративність / В.І. Шамрай, Коробійчук В.В. // Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та особливості видобутку, обробки і використання природного каміння». – 23 жовтня 2014 року. – Київ. – С. 53–55.

36. Shamray V.I. The study of the influence of polishing by different methods on the quality indicators of natural stone surfaces / V.I. Shamray, S.K. Kobzar, V.V. Korobiichuk // All Ukrainian Scientific and Practical Conference “Current Trends in Young Scientists’ Researches”. – Zhytomyr. – 2015. – P. 77–80

37. Коробійчук В.В. Исследование гранита (Лезниковское месторождение – MAPLE RED) ультразвуковым методом с целью установления взаимосвязи между прочностными и звуковыми характеристиками / В.В. Коробійчук, Л.В. Шайдецька // Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та особливості видобутку, обробки і використання природного каменіння». – 26 листопада 2015. – Київ. – С. 15–16.

38. Коробійчук В.В. Отдельные случаи добычи монолитов природного камня алмазно-канатными машинами / В.В. Коробійчук // VIII Міжнародній науково-технічній конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА». – К. : НТУУ «КПІ», 2016. – С. 165–168.

39. Korobiichuk V.V. Study of ultrasonic characteristics of Ukrainian red granites at low temperatures / V.V. Korobiichuk // Systems, Control and Information Technology, Book of abstracts. – Warsaw. – 2016. – P. 33.

40. Коробійчук В.В. Декоративність та управління якістю лицувального каменю / В.В. Коробійчук, О.В. Камських, А.О. Криворучко // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Розвиток промисловості та суспільства". 2016. – Кривий Ріг. – С. 52.

41. I. Korobiichuk Peculiarities of natural stone extraction technology with the help of diamond wire machines. [Text] / I. Korobiichuk, V. Korobiichuk. S. Iskov, M. Nowicki, R. Szewczyk // 16 th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining, Book 1. – 2016. – Volume II. – P. 649–657.

### **Особистий внесок здобувача в публікаціях із співавторами:**

В роботах, які написані у співавторстві, особистий внесок автора полягає у наступному: [1] – написано розділ з технологічних основ виробництва засобів ініціювання та ініціюючих ВР; [2] – наведені експериментальні дослідження параметрів деформації в ґрунтах і гірських породах та викладені технологічні задачі з динаміки руйнування скельних порід; [3, 4] – сформульовано мету та задачі досліджень, взято участь в обґрунтуванні методики, проведенні досліджень та аналізі одержаних результатів; [7; 41] – участь у проведенні дослідів та аналізі

одержаних результатів; [9] – проведений гірничо-геометричний аналіз показників; [14, 19, 20] – ідея, виконання експериментальних досліджень та аналіз результатів; [17, 18] – проведений обрахунок даних; [21] – сформульована ідея та методика дослідження; [22] – розроблена методика створення тривимірних моделей природних окремостей; [23–26] – проведено експериментальні дослідження; [27, 28] – сформульована ідея проведення дослідження; [31] – обґрунтована методика визначення критерію оптимізації геометричних розмірів монолітів природного каменю; [32] – розроблено методику визначення впливу атмосферних факторів на оздоблення будівель; [33, 34] – сформульовано ідею дослідження та взято участь в аналізі одержаних результатів; [35, 36] – розроблено методику контролю якості поверхні природного каменю; [37] – розроблена методика дослідження емпіричного та теоретичного розподілу якісних показників; [40] – розроблено методику контролю якості блочної продукції.

### АНОТАЦІЯ

**Коробійчук В.В.** Розробка наукових основ технології супутнього видобування блоків в умовах щєбєневих гранітних кар'єрів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Київ, 2018.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-практичної проблеми розробки наукових основ технології супутнього видобування блоків в умовах щєбєневих гранітних кар'єрів, яка спирається на розроблені сейсдобезпечні технології проведення короткоуповільненого підривання при проектуванні масових вибухів в кар'єрі, що забезпечують припустимий рівень тріщиноутворення на ділянках, які придатні для видобування блочного каменю та на невибухові технології видобування блочного каменю.

В роботі розроблено методику геометризації масивів природного каменю з метою отримання комплексної моделі родовища та визначити перспективи супутнього видобування блоків облицювального каменю на основі досліджень зниження міцності природного каменю при багаторазовому неруйнівному навантаженні. Розроблено класифікацію природного каменю, що враховує питому енергоємність руйнування.

Вперше встановлено і експериментально підтверджено допустимі значення напружень розтягнення і швидкості коливань гранітної основи уступів блочного каменю під дією сейсмічних навантажень з урахуванням його власних частот коливань. Розроблено алгоритм розрахунку і побудови ізоліній допустимих масштабів вибухів з корегуванням їх параметрів в часі наближення фронту робіт до цїликового масиву кожного горизонту дїльниці з видобутку щєбєневої продукції кар'єру. Розроблено технологічні рішення і технічні засоби, які підвищують ефективність виробничих процесів супутнього видобутку природного каменю та

класифікацію системи розробки блочних ділянок природного каменю в щебеневих кар'єрах. Розроблені технологічні схеми видобутку блоків природного каменю та проведення капітальних траншей.

**Ключові слова:** відкриті гірничі роботи, блоки природного каменю, показники якості, сейсміка, геометризація масивів, неруйнівне навантаження, селективне видобування, узгодження технологій.

## АННОТАЦІЯ

**Коробийчук В.В.** Разработка научных основ технологии сопутствующей добычи блоков в условиях щебеночных гранитных карьеров. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.03 – открытая разработка месторождений полезных ископаемых. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» МОН Украины, Киев, 2018.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-практической проблемы обоснованию научных основ технологии сопутствующей добычи блоков в условиях щебеночных гранитных карьеров, которая опирается на разработанные сейсмобезопасные технологии проведения короткозамедленного взрывания при проектировании массовых взрывов в карьере, обеспечивающих допустимый уровень трещинообразования на участках, которые пригодны для добычи блочного камня и на невзрывные технологии добычи блочного камня.

В квалификационной работе разработана схема выделения природно-технологических зон в рабочем пространстве карьера. Она предусматривает районирования карьера по блочности с последующим определением границ природно-технологических зон добычи блоков и буто-щебеночного сырья. Усовершенствована методика анализа структурных элементов в пределах высокопрочных месторождений природного камня на основе фактора выгоды.

В рамках этой работы разработана обобщенная методика геометризации массивов природного камня с целью получения комплексной модели месторождения. Также рассмотрена возможность использования современных информационно-компьютерных технологий для разработки комплексной методики определения оптимального направления ведения горных работ при добыче блоков из природного камня. Рассмотрена связь анизотропных свойств с кристаллической структурой естественного камня и его генезисом как горной породы и предложена методика определения анизотропности механических свойств природного камня на основе цифровой обработки видеоизображений и ультразвукового метода. На основе данного разработана методика определения оптимального направления ведения добычных работ, что обеспечит минимизацию затрат труда и энергии на отделение блоков от массива природного камня, а также увеличит процент выхода готовой продукции.

Проведено исследование гранита неразрушающим методом с целью выявления взаимосвязи между характеристиками прочности и распространением

ультразвуковой волны. Полученные данные показывают, что наименее прочные образцы были отобраны там, где проводится добыча буто-щебеночного сырья.

В квалификационной работе была получена зависимость распространения скорости ультразвуковых волн от прочности гранита на сжатие, которая описывается линейной функцией. Также была получена зависимость распространения скорости ультразвуковых волн от прочности гранита на растяжение, которая описывается полиномом второго порядка.

Представлены результаты эксперимента по оценке снижения прочности природного камня при многократной динамической нагрузке. Исследование проводилось с целью выяснения пригодности природного камня в сопутствующей добычи блоков в условиях щебеночных карьеров и установления количественных закономерностей развития нарушений и снижения прочности природного камня в зависимости от числа их нагрузок. Анализ сопротивления 13-ти украинских месторождений природного камня к многократным ударным воздействиям показал, что при небольшой удельной энергии удара ( $1,47-2,7$  кДж/м<sup>3</sup>) являются граниты (Жежелевское, Токовское, Корецкое месторождения), которые практически не разрушаются. Именно такие месторождения пригодны для сопутствующей добычи блоков природного камня в условиях щебеночных карьеров.

В диссертационной работе выделены три группы разделения магматических пород в зависимости от энергоемкости разрушения. Исследования неразрушающим контролем показали, что граниты теряют прочность перед разрушением от 11,6 до 41,5 % за счет техногенной микротрещиноватости. На усталостную прочность гранита влияет содержание кварца, с увеличением кварца прочность возрастает. Показано, что текстура гранита имеет не меньшее влияние на прочность камня, а с увеличением зерен в граните, несмотря на значительное содержание кварца, усталостная прочность камня снижается. Увеличение акцессорных минералов в гранитах приводит к уменьшению усталостной прочности.

Впервые установлено и экспериментально подтверждено допустимые значения напряжений растяжения и скорости колебаний гранитной основы уступов блочного камня под действием сейсмических нагрузок с учетом его собственных частот колебаний. Разработан алгоритм расчета и построения изолиний допустимых масштабов взрывов с корректировкой их параметров во время приближения фронта работ до монолитного массива каждого горизонта участка по добыче щебеночной продукции карьера. Разработаны технологические решения и технические средства, повышающие эффективность производственных процессов сопутствующей добычи природного камня и классификацию системы разработки блочных участков природного камня в щебеночных карьерах. Разработаны технологические схемы добычи блоков природного камня и проведения капитальных траншей.

**Ключевые слова:** открытые горные работы, блоки природного камня, показатели качества, сеймика, геометризация массивов, неразрушающие нагрузки, селективная добыча, согласование технологий.

**ABSTRACT**

**Korobiichuk V.V.** Development of scientific basis of technology of associated extraction units in breakstone granite quarries. – Manuscript copyright.

Thesis for a Doctor Degree in Technical Sciences, specialty 05.15.03 – Opencast mining of mineral deposits. - National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" of the Ministry of education and science of Ukraine, Kyiv, 2018.

The thesis is devoted to solving actual scientific-practical problems of development of scientific bases of technology of associated extraction units in breakstone granite quarries, which relies on seismic safe developed technologies for short-delay blasting in the design of mass blasts in a quarry providing the allowable level of cracking in areas that are suitable for the extraction of block stone, and non-blasting technologies of extraction of block stone.

The work has developed the technique of the geometrization of natural stone massif with the aim of obtaining a comprehensive model of the deposit and outline perspectives for accompanied mining of facing stone blocks on the basis of studies of reduction of the strength of natural stone with multiple non-destructive load. The classification of natural stone, taking into account the specific energy of destruction is developed.

The allowable stress values of tension and speed fluctuations of the granite foundations of a block of stone ledges under the action of seismic loads in terms of its own frequencies is first established and experimentally confirmed. The algorithm calculating and contouring the allowable magnitude of the explosions with the adjustment of their parameters in time approximation of the scope of work to pillar massif of each layer of the extraction array of breakstone products quarry is developed. Technological solutions and technical tools that increase the efficiency of production processes associated with extraction of natural stone and the classification system of development of natural stone block plots of breakstone quarries were devised. Technological schemes of extraction of natural stone blocks and permanent trenching were developed.

**Keywords:** opencast mining, natural stone blocks, quality parameters, seismic, geometrization of arrays, non-destructive load, selective extraction, harmonization of technologies.

Коробійчук Валентин Вацлавович

**РОЗРОБКА НАУКОВИХ ОСНОВ ТЕХНОЛОГІЇ СУПУТНЬОГО  
ВИДОБУВАННЯ БЛОКІВ В УМОВАХ ЩЕБЕНЕВИХ ГРАНІТНИХ  
КАР'ЄРІВ**

05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

---

Підписано до друку: 16.10.2018

Папір друк. Друк офсетний

Тираж 120 прим.

Формат 60x90 1/16

Обсяг 2,2 ум. друк. арк.

Зам. №

---

**Житомирський державний технологічний університет  
10005, Україна, м. Житомир, вул. Чуднівська, 103  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів  
видавничої справи ЖТ № 08 від 26.03.2004 р.**