

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ"**

КЛЬОН АНДРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 679.852

**ЗАКОНОМІРНОСТІ РУЙНУВАННЯ ГРАНІТНИХ БЛОКІВ
СПРЯМОВАНИМ МЕХАНІЧНИМ ВПЛИВОМ**

Спеціальність 05.15.09 – геотехнічна і гірничча механіка

**АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Дніпропетровськ – 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх машин та обладнання Донбаської національної академії будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Макіївка)

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Пенчук Валентин Олексійович,
завідувач кафедри підйомно-транспортних,
будівельних, дорожніх машин та обладнання
Донбаської національної академії будівництва і
архітектури Міністерства освіти і науки, молоді
та спорту України (м. Макіївка)

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Петренко Володимир Дмитрович,
завідувач кафедри тунелів, основ та фундаментів
Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна
Міністерства транспорту та зв'язку України

кандидат технічних наук, доцент
Гапєєв Сергій Миколайович,
доцент кафедри будівництва і геомеханіки
ДВНЗ "Національний гірничий університет"
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту
України (м. Дніпропетровськ)

Захист відбудеться "11" березня 2011 р. о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 при ДВНЗ "Національний гірничий університет" Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (49600, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19)

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ДВНЗ "Національний гірничий університет" Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (49600, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19, т. 47–24–11)

Автореферат розісланий "10" лютого 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.В. Солодянкін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. За обсягами запасів природних кам'яних матеріалів (гірських порід) Україна займає одне з провідних місць у світі. Однак потенціал держави в галузі видобутку та обробки природного каменю реалізований далеко неповністю. Все ще високий рівень ручної праці, нестача сучасних технологій та обладнання, і, як наслідок, високий коефіцієнт браку та низька якість виробленої продукції роблять українські каменевидобувні та каменеобробні підприємства не конкурентоздатними.

Для задоволення все зростаючого попиту на вироби з гірських порід, пов'язаного з високими темпами будівництва та реконструкції будівель і споруд, автомобільних і пішохідних доріг, міських вулиць і майданів, а також для гідної конкуренції зі світовими лідерами галузі – Італією, Іспанією, Грецією, США, Францією, КНР та Бразилією – потрібно не тільки впровадження існуючих, а й розробка нових високоефективних технологій обробки гірських порід.

Особливо гостро ця задача стоїть в області виробництва колотого каменю. Підвищення ефективності роботи каменерозколювального обладнання традиційним в машинобудуванні шляхом збільшення потужності вже неможливе через високу міцність гірських порід, тому подальше покращення техніко-економічних показників можливе лише за рахунок використання більш ефективних технологій руйнування. Це, в свою чергу, потребує детального вивчення процесу спрямованого розколювання гірських порід, встановлення не окремих, а всього комплексу факторів, що впливають на ефективність технологічного процесу.

Отже, задача вдосконалення існуючих та створення принципово нових енерго- та ресурсозберігаючих технологій переробки гірських порід у колоті будівельні вироби на основі встановлення закономірностей руйнування спрямованим механічним впливом є актуальною науково-технічною задачею, що має практичне значення для народного господарства України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні дослідження теоретичного і прикладного характеру були виконані у відповідності до «Галузевої програми енергозбереження у будівельному комплексі та житлово-комунальному господарстві на 2001-2005 роки та на перспективу» Мінрегіонбуду України, а також держбюджетних тем № К-2-15-01 «Розробка наукових основ модернізації будівельних машин» (2001-2005 рр., номер державної реєстрації 0102U002846) і № К-2-12-06 «Ефективне використання іноземної техніки в умовах Донбасу» (2006-2010 рр., 0107U000100). Автор дисертації є виконавцем перелічених НДР.

Метою роботи є обґрунтування оптимальних параметрів процесу розколювання гірських порід при переробці їх у колотий камінь.

Основні задачі досліджень:

– встановити перспективні шляхи вдосконалення процесу розколювання гірських порід на основі аналізу існуючих теоретичних та експериментальних

досліджень, а також комплексного розгляду технічної системи «каменерозколювальне обладнання – гірська порода – процес руйнування – якість колотого каменю»;

– теоретично обґрунтувати можливість та доцільність реалізації способу розколювання гірських порід спрямованим механічним впливом, що полягає у створенні локальної магістральної тріщини з подальшим її керованим розповсюдженням;

– розробити математичну модель процесу розколювання гірських порід клиновим робочим органом, в якому спрямований механічний вплив здійснюється пружним інтенсифікатором напружень;

– експериментально встановити закономірності та виявити оптимальні параметри процесу розколювання гірських порід спрямованим механічним впливом;

– провести техніко-економічну оцінку ефективності технологічного процесу виготовлення колотого каменю на основі розробленого способу руйнування гірських порід.

Основна ідея роботи полягає у встановленні механізму та закономірностей процесу руйнування гірських порід способом спрямованого механічного впливу.

Об’єкт досліджень – процес руйнування гірських порід при переробці їх у колоті будівельні вироби.

Предмет досліджень – параметри процесу розколювання гірських порід способом спрямованого механічного впливу.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження проводились на основі загальних методів побудови математичних моделей фізичних процесів (аналіз розмірностей, порядків, характеру залежностей; контроль екстремальних значень, фізичного змісту) з використанням основних положень механіки твердих тіл, механіки ґрунтів, теорій міцності та теорії крихкого руйнування. Визначення закономірностей процесу розколювання гірських порід спрямованим механічним впливом здійснювалось на спеціально розробленому та виготовленому обладнанні на основі методів математичної статистики та планування експерименту. Ефективність та надійність пропонованих технічних рішень оцінювались на основі існуючих стандартних методик.

Основні наукові положення, що захищаються у дисертації:

- нерівномірність розподілу зовнішнього зусилля по довжині заготовки, що розколюється, нелінійно впливає на енергоємність процесу руйнування гірських порід, що може бути враховано коефіцієнтом нерівномірності і дозволяє за рахунок вибору раціональних параметрів каменерозколювального обладнання знизити енергоємність процесів руйнування до 20...40% у порівнянні з існуючими аналогами;
- збільшення нерівномірності розподілу зовнішнього зусилля по довжині заготовки, що розколюється, призводить до зменшення зусилля розколювання та часу, який витрачається на цей процес, за гіперболічною залежністю; максимально припустиме значення коефіцієнту

нерівномірності обмежується вимогами до якості поверхні розколу та для порід магматичної групи складає величину, близьку до трьох.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше теоретично та експериментально підтверджена можливість та доцільність отримання колотих будівельних виробів руйнуванням гірських порід способом спрямованого механічного впливу;
- запропоновано нову модель процесу розколювання гірських порід клиновим робочим органом, в якому спрямований механічний вплив забезпечується пружним інтенсифікатором напружень;
- вперше встановлені закономірності зміни показників технологічного процесу – зусилля, часу, продуктивності, енергоємності та якості виробів – від нерівномірності розподілу зовнішнього навантаження по довжині заготовки, що розколюється.

Наукове значення роботи полягає у встановленні механізму та закономірностей розколювання гірських порід з урахуванням параметрів технологічного обладнання, що здійснює цей процес.

Практичне значення роботи полягає у:

- розробці рекомендацій із визначення оптимальних технологічних параметрів, що забезпечують максимальну ефективність процесу руйнування гірських порід при виготовленні колотого каменю;
- розробці конструкцій клинових робочих органів, в яких спрямований механічний вплив забезпечується пружним інтенсифікатором напружень.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджена детальним аналізом закономірностей процесу розколювання гранітних гірських порід способом спрямованого механічного впливу, їх перевіркою в лабораторних умовах на спеціально розроблених стендах. Розбіжність значень між аналітичними та експериментальними залежностями параметрів процесу розколювання кам'яних матеріалів (зусилля руйнування, часу розколювання) не перевищує 10%. Оцінка адекватності, достовірності та відтворюваності одержаних результатів виконувалася в статистичному програмному пакеті StatSoft STATISTICA на основі критеріїв Фішера та Кохрена.

Реалізація результатів роботи. На основі результатів роботи розроблені рекомендації з використання способу розколювання гірських порід спрямованим механічним впливом, прийняті до впровадження Новокраматорським машинобудівним заводом (м. Краматорськ Донецької обл.), каменепереробним заводом «Омфал» (м. Шахтарськ Донецької обл.) та низкою спеціалізованих фірм, що виконують дорожні та будівельні роботи.

Використання розроблених рекомендацій дозволяє провести модернізацію існуючого та створення нового каменерозколювального обладнання, забезпечивши зниження енергоємності реалізованих ним процесів руйнування до 20-40% у порівнянні з існуючими аналогами.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні мети, задач досліджень, наукових положень, у розробці методики досліджень, в аналізі

результатів теоретичних та експериментальних досліджень, розробці рекомендацій з вибору раціональних параметрів каменерозколювального обладнання при руйнуванні гірських порід способом спрямованого механічного впливу.

Апробація результатів досліджень. Основні положення та результати дисертаційної роботи повідомлені на науковому семінарі кафедри «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні машини та обладнання» ХНАДУ (м. Харків, 2006); міжнародній науково-практичній конференції «Науковий простір Європи» (м. Дніпропетровськ, 2007); VI Міжнародній науковій конференції молодих вчених, аспірантів і студентів (м. Макіївка, 2007); міжнародній науково-технічній конференції «ИНТЕРСТРОЙМЕХ»(м. Самара, 2007); міжнародній науково-практичній конференції «Мехатроніка будівельних та дорожніх машин» (м. Харків, 2007); науково-методичному семінарі КНУБА (м. Київ, 2007); Міжнародній науково-технічній конференції «Створення й експлуатація нових машин та обладнання для виробництва будівельних матеріалів і конструкцій» (м. Полтава, 2008).

Публікації. Основні результати роботи представлені в 13 публікаціях, з них 9 статей – у фахових виданнях, 3 – у збірниках наукових конференцій, 1 – у періодичному виданні. За темою дисертації одержаний патент України на винахід.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел з 151 найменування на 13 сторінках і двох додатків на 34 сторінках. Містить 128 сторінок машинописного тексту, зокрема 64 рисунка і 22 таблиці. Загальний обсяг роботи складає 191 сторінку.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми, зв'язок із науковими програмами та планами, сформульовані мета та задачі роботи, об'єкт, предмет та методи досліджень, наведені положення наукової новизни і практичного значення одержаних результатів, показаний особистий внесок автора, наведена інформація про апробацію роботи, її структуру та обсяг.

У **першому розділі** наведений аналіз наукових досягнень у вирішенні проблеми вдосконалення технології виробництва колотого каменю. Зазначено, що до колотого каменю в залежності від області його використання національними стандартами висувається низка вимог. Основними серед них є вимоги щодо фізико-механічних властивостей сировини (гірських порід), геометричних розмірів одержуваних виробів та якісних показників їхньої поверхні.

Виконаний огляд існуючих технологій та технічних засобів для спрямованого руйнування кам'яних матеріалів дозволив встановити, що найбільш раціонально з цією метою використовувати ті засоби механізації, які дозволяють без попередньої підготовки (буріння шпурів, створення концентраторів напружень) здійснювати процес розколювання гірської породи.

До таких засобів механізації відносяться каменерозколювальні верстати, які найчастіше об'єднуються в технологічні лінії із допоміжним обладнанням: маніпуляторами, конвеєрами, бункерами тощо. Зазначено, що при виготовленні каменерозколювальних верстатів замало уваги приділяється питанню впровадження в їх конструкцію енергозберігаючих технологій.

Проведений аналіз теоретичних досліджень, присвячених питанням виробництва будівельних матеріалів руйнуванням гірських порід методом розколювання, дозволив встановити, що на практиці знайшли використання як класичні теорії руйнування, засновані на вивченні граничного стану матеріалів та середовищ (Зеленін А.Н., Кірпічов В.Л., Мор О., Писаренко Г.С., Тимошенко С.П., Цитович Н.А. та ін.), так і теорія крихкого руйнування, яка враховує структуру матеріалу, що руйнується, та механізм процесу руйнування (Гріффітс А., Ірвін Дж., Орован Е., Панасюк В.В., Партон В.З., Работнов Ю.Н., Фінкель В.М., Черепанов Г.П. та ін.). Окрім того, відзначена низка робіт, присвячених експериментальним дослідженням процесу руйнування гірських порід. Особливості руйнування гірських порід висвітлені в роботах Буніна М.В., Бобрякова А.П., Гапєєва С.М., Гудмана Р., Петренка В.Д., Протасова Ю.П., Протосєні А.Г., Ребіндера П.О., Родіна Р.А., Ставрогіна А.Н., Федоркіна С.І., Шашенка О.М. та багатьох інших.

Проаналізовані дослідження процесу розколювання гірських порід свідчать про недостатню вивченість системи «розколювальне обладнання – робочий орган – середовище впливу – процес руйнування – якість колотого каменю», комплексний аналіз якої необхідний для інноваційного розвитку технологічних процесів розколювання та каменерозколювальної техніки.

На основі аналізу виконаних робіт сформульовано основний напрямок досліджень – підвищення ефективності процесів руйнування, здійснюваних клиновими робочими органами каменерозколювального обладнання в процесі виробництва колотого каменю, шляхом зниження показників енергоємності. Висунута робоча гіпотеза про можливість оптимізації процесів розколювання за рахунок зміни схеми навантаження: замість рівномірного розподілу зовнішнього зусилля по всій довжині заготовки пропонується створювати критичне зусилля, відповідне граничним напруженням, лише в деякій області матеріалу (локально); а подальший розвиток початкової тріщини руйнування забезпечувати прикладенням уздовж лінії розколу додаткового зусилля, що менше критичного.

У **другому розділі** теоретично обґрунтований новий спосіб розколювання гірських порід – спрямованим механічним впливом.

Традиційний процес руйнування гірських порід методом розколювання – це створення граничних напружень в заготовці по всій її довжині одночасно ріжучими крайками клинових робочих органів, які розташовані співвісно (рис. 1, а). Тріщина руйнування виникає у верхній і нижній поверхнях заготовки і рухається до її середини.

Пропонований же спосіб полягає в створенні локальної концентрації граничних напружень за рахунок нерівномірного розподілу зовнішнього навантаження по довжині заготовки. В невеликому об'ємі середовища

створюються критичні напруження, саме тут виникає магістральна тріщина, подальше поширення якої в необхідному напрямку забезпечується спрямованим механічним впливом.

На рис. 1, б показаний лінійний характер нерівномірного розподілу зовнішнього навантаження. Напружений стан, як і для традиційної схеми, можна вважати плоским, однак напруження залежать від перетину, що розглядається. В місці, де діють максимальні напруження, відповідні інтенсивності зовнішнього навантаження p_1 , створюється початкова магістральна тріщина, яка розвивається тепер не тільки уздовж лінії дії навантаження, але й уздовж довжини заготовки l . За вимогою спрямованого розколу, траєкторією розвитку початкової тріщини в необхідному напрямку необхідно керувати. Найбільш загальними критеріями, що визначають напрямки розвитку тріщини, є критерій максимальних напружень розриву Е. Йоффе, критерій максимуму потоку енергії Г.П. Черепанова та критерій мінімуму щільності енергії Дж. Сі. З цих критеріїв випливає, що спрямованого розвитку тріщини можна досягти за допомогою поля стискаючих напружень, що створюються зовнішнім навантаженням інтенсивністю p_2 . Такий підхід був запропонований Дж. Бенбоу та Ф. Реслером, а пізніше розвинутий В.М. Фінкелем для металів.

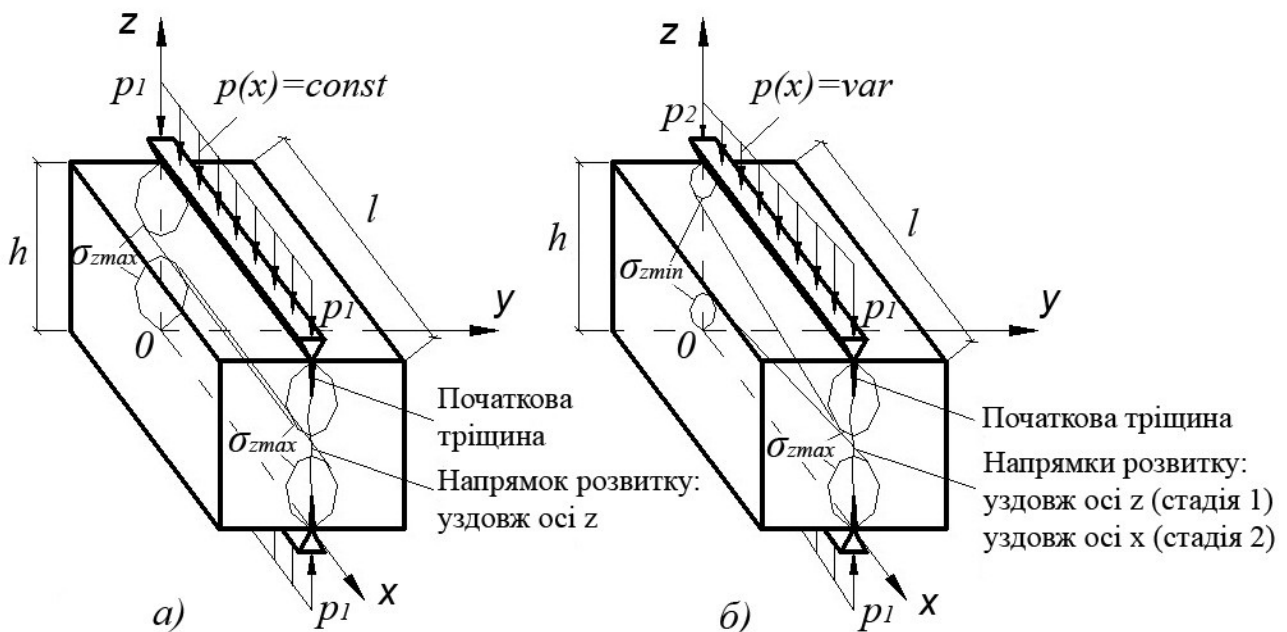


Рис. 1. Схеми розколювання гірської породи при рівномірному (а) та нерівномірному (б) розподілі зовнішнього навантаження p_1 , Н/м – інтенсивність навантаження, відповідна максимальним (граничним) напруженням; p_2 , Н/м – інтенсивність навантаження, менша за p_1

Сумарне зусилля, необхідне для розколювання гірської породи за схемою рис. 1, б, можна звести до вигляду (1):

$$P_{\Sigma} = P_1 + P_2, \quad (1)$$

де P_1 – частка від загального зусилля, необхідна для створення початкової тріщини, H ; P_2 – частка від загального зусилля, яку необхідно прикласти до заготовки для спрямованого розвитку початкової тріщини, H .

Складові сумарного зусилля дорівнюють (2):

$$P_1 = k_1 h [\sigma]_p a; \quad P_2 = k_2 h K_{I0} (l - a) \sqrt{\frac{1}{a \cdot f(a/l)}}$$

(2)

де k_1, k_2 – коефіцієнти пропорційності; h – висота заготовки, m ; $[\sigma]_p$ – міцність гірської породи на розрив, Pa ; a – довжина початкової тріщини, m ; K_{I0} – динамічний коефіцієнт інтенсивності напружень (в'язкість руйнування), $Pa\sqrt{m}$; $f(a/l)$ – поправна функція.

Формули (2) записані на основі теорії граничного стану для пружного тіла і теорії крихкого руйнування відповідно.

Якщо ввести позначення $\Delta_L = a/l$, тоді формули (2) приймуть вигляд (3):

$$P_1 = k_1 h [\sigma]_p l \Delta_L; \quad P_2 = k_2 h l K_{I0} (1 - \Delta_L) \sqrt{\frac{1}{l \cdot \Delta_L \cdot f(\Delta_L)}}$$

(3)

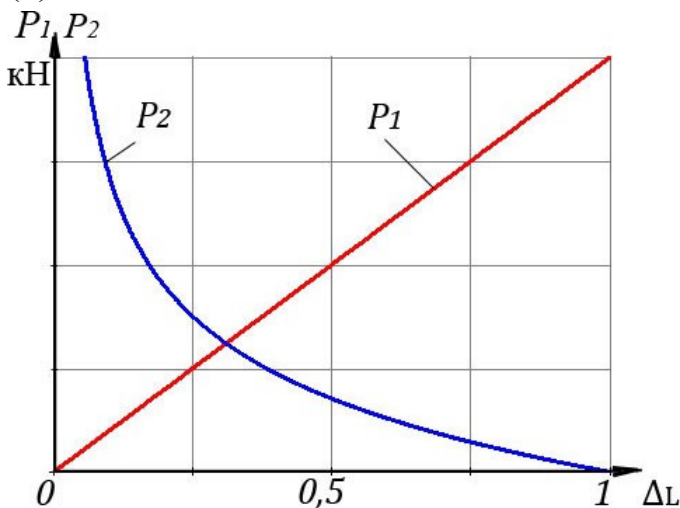


Рис. 2. Графік співвідношення зусиль P_1 і P_2 в залежності від відношення $\Delta_L = a/l$

Дані, що наведено на рис. 2, свідчать: існує критична довжина початкової тріщини, коли зусилля P_1 и P_2 рівні один одному. Це означає, що для продовження розвитку початкової тріщини необхідно прикласти таке ж зусилля, яке було необхідне для створення цієї тріщини. При довжині тріщини більше критичного значення зусилля P_2 стрімко зменшується у порівнянні із зусиллям P_1 . В точці, де абсциса дорівнює одиниці, зусилля P_2 дорівнює нулю, а зусилля P_1 досягає свого максимального значення. Ця точка відповідає традиційній схемі навантаження, коли граничні напруження створюються по всій довжині заготовки l .

Всі викладені міркування справедливі не тільки для лінійного, а й для інших закономірностей розподілу зовнішнього навантаження по довжині заготовки. Якщо робочий орган складається з системи клинців, можлива реалізація складного (нелінійного) закону зміни зусилля. При цьому, як це впливає з графіка рис. 2, зусилля на клинцях по мірі розвитку тріщини можна зменшувати.

Сумарна робота, що йде на процес руйнування породи, визначається залежністю (4):

$$A_{\Sigma} = A_{\gamma} + A_{cm}^3 + A_{cm}^M + A_{np}, \quad (4)$$

де A_{γ} – робота, затрачувана на утворення нових поверхонь (поверхонь руйнування), Дж; A_{cm}^3 – робота, затрачувана на стискання заготовки, Дж; A_{cm}^M – робота, затрачувана на стискання елементів робочого органа та навантажувальної машини, Дж; A_{np} – додатково прикладена робота, необхідна для спрямованого поширення тріщини руйнування, Дж.

Основна частина енергії руйнування іде на непродуктивні витрати, пов'язані з «надлишковою деформацією» як самої заготовки, так і елементів навантажувальної машини. Тому зменшення «надлишкової деформації» за рахунок нерівномірного розподілу зовнішнього навантаження по довжині заготовки дозволяє значно скоротити роботу A_{cm} .

Ефективність процесу розколювання можна оцінити критерієм питомої енергоємності (5):

$$E_{II} = \frac{P_{\Sigma} v \tau_{\text{ц}}}{3600F} \rightarrow \min, \quad (5)$$

де v – швидкість навантаження, м/с; $\tau_{\text{ц}}$ – час циклу, с; F – площа утворюваної в результаті розколювання поверхні, м².

З формули (5) випливає, що при одній і тій же швидкості навантаження v і утворюваній площі F питома енергоємність процесу визначається зусиллям руйнування P_{Σ} та часом робочого циклу $\tau_{\text{ц}}$. В роботі показано, що обидва останні показники при новому способі розколювання зменшуються у порівнянні з традиційною схемою навантаження. Отже, ефективність процесу руйнування збільшується.

У **третьому розділі** запропоновані та проаналізовані варіанти реалізації способу руйнування гірських порід спрямованим механічним впливом в конструкціях клинових робочих органів. Забезпечити нерівномірний розподіл зовнішнього зусилля по довжині заготовки з гірської породи можливо за рахунок з'єднання клинців робочого органа із навантажувальною машиною за допомогою пружних елементів різної жорсткості.

Для робочого органа, що складається з одного клина (рис. 3), інтенсивність навантаження в крайніх точках можна визначити за формулами (6):

$$p_1 = \frac{1}{l} c_{np1} (z - \Delta z) \frac{l_2}{l}; \quad p_2 = \frac{1}{l} c_{np2} z \frac{l_1}{l}.$$

(6)

де Δz – початковий ухил клина, м; l_1 і l_2 – розміри, що визначають положення заготовки щодо осі зовнішнього навантаження, м; c_{np1} і c_{np2} – зведені коефіцієнти жорсткості в точках закріплення клина, Н/м.

Позначимо співвідношення p_1/p_2 через коефіцієнт нерівномірності розподілу зусилля (напружень) k_k . Тоді сумарне зусилля можна подати у вигляді (7):

$$P = \int_0^l \left(\frac{p_1}{k_k} + \frac{p_1 - p_1/k_k}{l} x \right) dx = p_1 l \frac{k_k + 1}{2k_k}. \quad (7)$$

Якщо врахувати, що $p_1 = [\sigma]_p h$, отримаємо вираз (8):

$$P = [\sigma]_p h l \frac{k_k + 1}{2k_k}.$$

(8)

Вибір пружних елементів повинен здійснюватись виходячи з наступних умов:

- зусилля (напруження) у кінчика тріщини повинні бути такими, щоб рух тріщини не припинився;

- енергія, що накопичена пружним елементом в процесі деформації, повинна бути пропорційна поверхневій енергії руйнування.

В разі, якщо пружні елементи підтримують необхідну траєкторію розколу за рахунок віддачі накопиченої енергії під час розвитку тріщини, необхідне виконання третьої умови: час віддачі енергії пружним елементом повинний бути менше за час поширення тріщини в заготовці.

Введення додаткового пружного елемента ускладнило конструкцію робочого органа. Теоретично такий крок повинен був привести і до зниження надійності нового технічного рішення. Однак проведений аналіз показав, що надійність пропонованих технічних рішень не зменшується в порівнянні з базовим варіантом за рахунок зниження ймовірності появи в системі пікових навантажень.

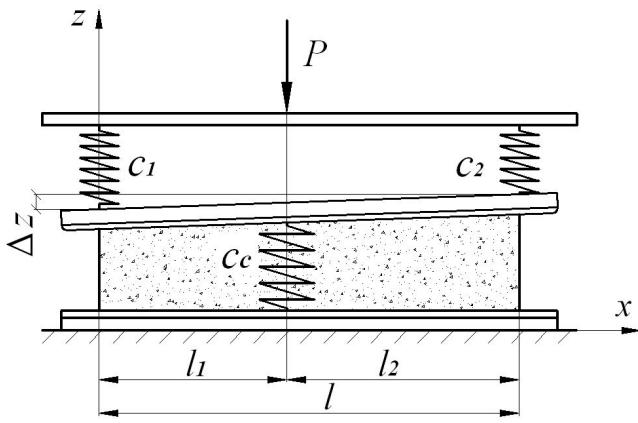


Рис. 3. Схема розколювання заготовки одноклиновим робочим органом з локальною концентрацією граничних напружень: c_1, c_2 – коефіцієнти жорсткості підвісів робочого органа ($c_1 > c_2$); c_c – коефіцієнт жорсткості середовища, що руйнується; Δz – початковий ухил клина; l_1 і l_2 – розміри, що визначають положення заготовки щодо осі зовнішнього навантаження P

Конструктивна схема та загальний вигляд експериментальної установки наведені на рис. 4.

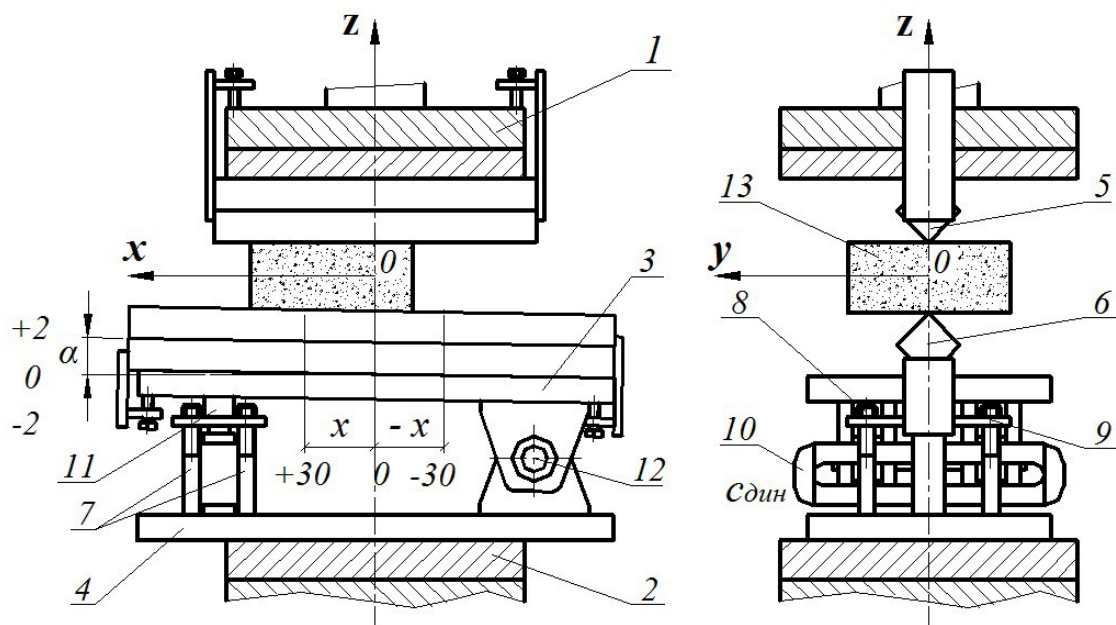
Модель робочого органа (стенд), що забезпечує нерівномірність розподілу навантаження по довжині заготовки, міститься між двома плитами стандартного гідравлічного преса для проведення випробувань будівельних матеріалів П-50. При проведенні експериментів використовувались гранітні гірські породи, розповсюджені в Україні, з міцністю при стисканні 180...220 МПа (Василівське, Корнинське, Первомайське, Покостівське, Танське родовища).

Заготовка з граніту 13, що розколюється, розміщується між двома клиновими елементами 5 та 6. Верхній клин спирається на верхню плиту преса. Нижній клин пов'язаний з нижньою плитою преса за допомогою розробленого стенда, який складається з плит 3 і 4. При цьому плити 3 і 4 з'єднані одна з одною за допомогою шарніра 12 з однієї сторони й пружного елемента 10 – з іншої. Саме це і забезпечує нерівномірність розподілу навантаження по довжині заготовки. В якості пружного елемента виступає динамометр стискання.

Відповідно до розглянутої у третьому розділі математичної моделі, при побудові експериментально-статистичної моделі процесу розколювання гірських порід спрямованим механічним впливом необхідно врахувати наступні фактори: X_1 – характеристика пружного елемента ($c_{дин}$); X_2 – відносний перекис клинових елементів, що здійснюють розколювання (α); X_3 – зсув центра заготовки щодо осі прикладання зовнішнього зусилля (x). Фактори $X_1 - X_3$

У четвертому розділі наведено методику та результати експериментальних досліджень процесу руйнування гірських порід способом спрямованого механічного впливу, що проводилися у випробувальній лабораторії мінеральних в'язучих, каменів та бетонів кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг ДонНАБА. Їх мета – перевірка висунутої робочої гіпотези про зниження сумарного зусилля, часу циклу та енергоємності процесу руйнування гірських порід запропонованим способом розколювання.

визначають коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження (напружень), тобто $k_k = f(X_1, X_2, X_3)$.



а)



б)

Рис. 4. Експериментальна установка:

а) схема; б) загальний вигляд

1 – верхня плита преса, 2 – нижня плита преса, 3, 4 – верхня та нижня плити стенда; 5, 6 – верхній та нижній розколюючі елементи, 7 – шпильки з різьбою, 8 – гайки, 9 – пластина, 10 – динамометр стискання, 11 – шайби, 12 – шарнір, 13 – заготовка з гірської породи, що розколюється

Жорсткість динамометра змінюється за допомогою попереднього затягування, що проводиться гайками 8, розташованими на шпильках 7. Це призводить до підняття або опускання пластини 9 і зміни характеристики жорсткості динамометра. Відносний перекик клинових елементів змінюється за допомогою шайб 11 різної висоти, що

підкладаються під плиту 3. Зміна третього фактора забезпечується шляхом розміщення осі заготовки на різній відстані від осі робочого органа.

В експерименті фіксувалися значення зусилля руйнування P та часу руйнування τ . Як параметр оптимізації прийнята енергоємність процесу, що залежить від цих двох величин і визначається рівнянням (5). Експериментальні дослідження проводилися методом латинських квадратів типу 3×3 за

рандомізованою план-матрицею. Статистична обробка експериментальних даних здійснювалася в програмному пакеті StatSoft STATISTICA.

Аналіз одержаних даних показав, що значимими факторами, що впливають на зусилля руйнування, є відносний ухил розколювальних елементів (X_2) та положення заготовки щодо осі діючого зовнішнього навантаження (X_3). У той же час величина зусилля попередньої деформації динамометра (X_1) не впливає на зусилля руйнування. Аналогічні висновки зроблені й відносно часу руйнування. На цей параметр впливають два фактори: X_2 (перекіс клинців) і X_3 (зсув центра заготовки відносно центра клинців).

Значимість факторів оцінювалася за критерієм Фішера при довірчому інтервалі $\alpha = 0,9$. Перевірка відтворюваності випробувань здійснювалася за критерієм Кохрена. Дані деяких випробувань (дослідів), що різко відрізнялися від середніх значень, виключалися з подальшого розгляду.

Залежності зусилля P й часу руйнування τ від трьох факторів X_1 (a), X_2 (b) та X_3 (ϕ) наведені на рис. 5.

За результатами випробувань методами лінійної апроксимації визначені залежності зусилля, часу та енергоємності руйнування від трьох факторів. Аналіз експериментальних закономірностей зміни зусилля й часу руйнування від коефіцієнта нерівномірності розподілу навантаження k_k показав, що теоретичні залежності адекватно відображають реальні процеси, розбіжність не перевищує 10% (рис. 6).

Як видно із представлених графіків, зусилля й час руйнування зменшуються зі збільшенням коефіцієнта k_k . На рис. 7 наведена типова поверхня відгуку, побудована за експериментальними даними для енергоємності процесу руйнування залежно від двох значимих факторів X_2 (перекіс клинців) і X_3 (зсув центра заготовки відносно центра клинців), що впливають на коефіцієнт k_k .

Таким чином, випробування клинового робочого органа із нерівномірним розподілом зовнішнього навантаження дозволило виявити нові закономірності процесу розколювання гранітних гірських порід спрямованим механічним впливом. При цьому характер закономірностей, одержаних експериментально, відповідає теоретичним очікуванням: збільшення коефіцієнта нерівномірності k_k приводить до зменшення зусилля й часу руйнування. Відповідно, зменшується й енергоємність процесу, що визначається формулою (5).

У **п'ятому розділі** виконано техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень і наведено практичні рекомендації з їх впровадження.

Визначення оптимальних технологічних параметрів, що забезпечують мінімальну енергоємність процесу розколювання гірської породи в технологічному циклі виробництва колотого каменю, складається з таких основних етапів:

- за формулами (3) для заготовок заданої форми і фізико-механічних характеристик будується графік, подібний до рис. 2;
- за графіком визначається критичне значення початкової тріщини a ;

- з урахуванням побудованого графіка та параметру $\Delta_L = a/l$ за формулами (3) визначаються зусилля, які необхідно створити на робочому органі, що здійснює процес розколювання;
- після проектування та виготовлення робочого органа згідно з попередніми розрахунками проводяться його практичні випробування. При випробуваннях слід приділити увагу не тільки кількісним, але й якісним показникам. Одержання поверхні руйнування, близької до площини, є обов'язковою вимогою, що пред'являється до колотого каменя.

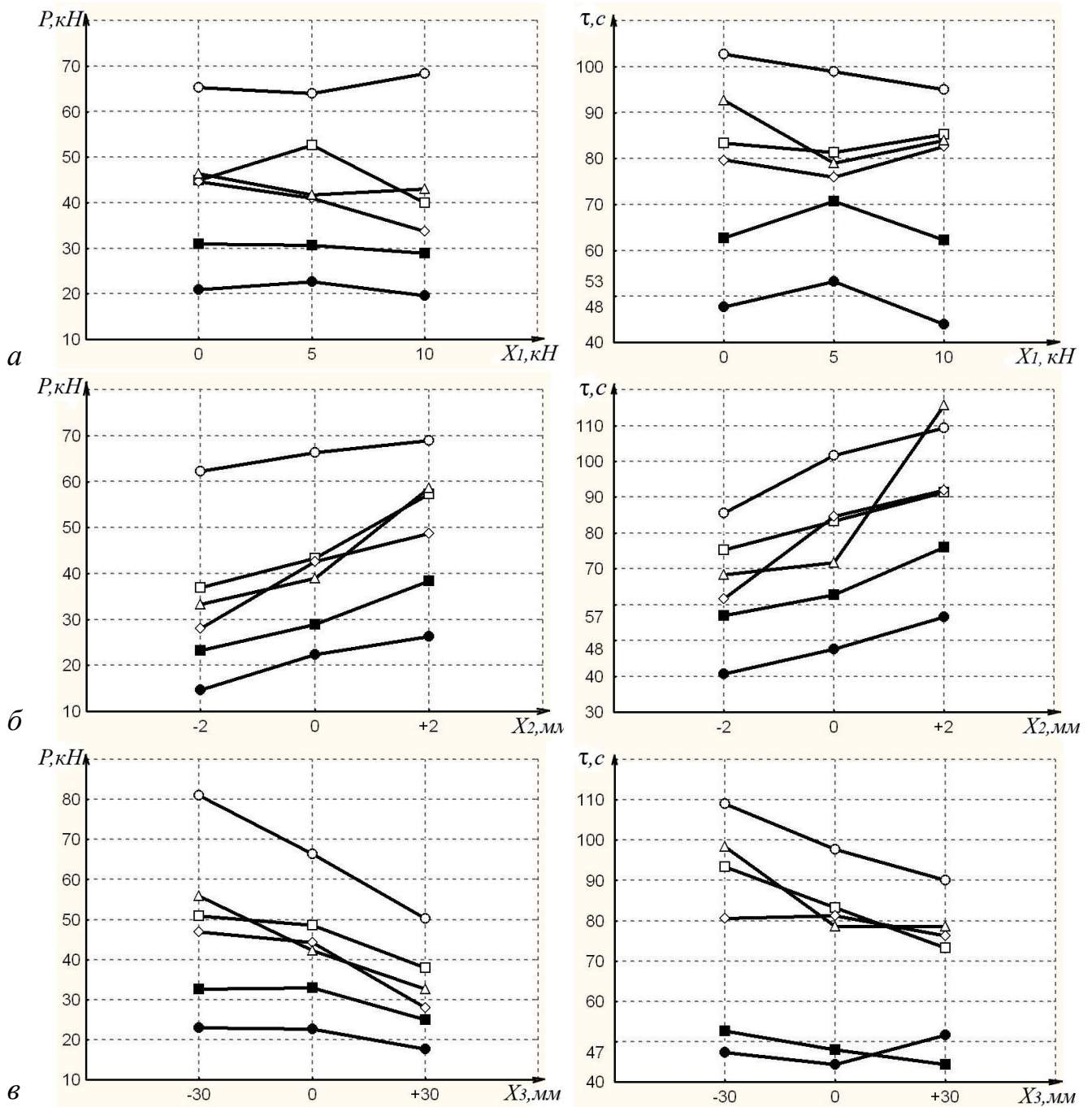


Рис. 5. Залежність зусилля й часу руйнування від факторів X_1 (а), X_2 (б) та X_3 (в) для різних серій випробувань

Ефективність пропонованих технічних рішень оцінювалася частковими та інтегральними показниками. Правильний підбір характеристик робочого органа зі спрямованим механічним впливом забезпечує незмінні показники якості одержуваної поверхні. Зменшення необхідного зусилля розколювання та часу циклу збільшує продуктивність технологічного процесу виробництва колотого каменю. За рахунок зменшення пікових навантажень зменшується вага технологічного обладнання.

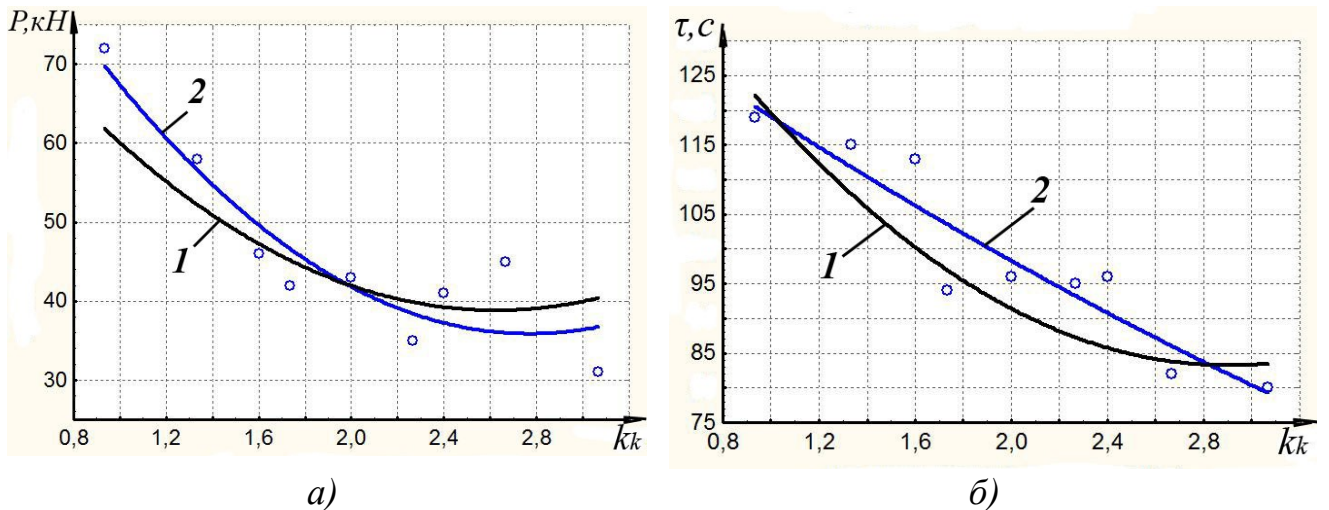


Рис. 6. Зіставлення теоретичних (1) і експериментальних (2) даних для зусилля (а) й часу (б) руйнування

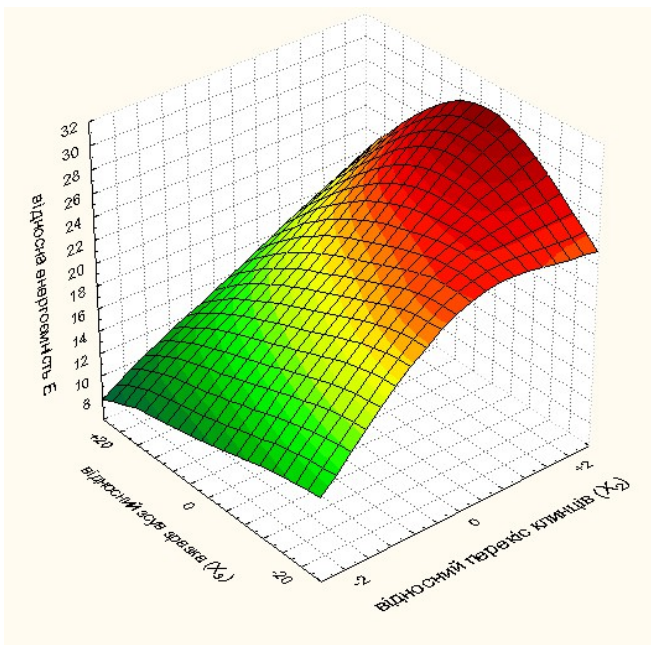


Рис.7. Типова поверхня відгуку для енергоємності руйнування залежно від двох значимих факторів: відносного перекосу клинців (X_2) і зсуву центра заготовки відносно центра клинців (X_3)

В розділі також запропонована методика розрахунку параметрів клинового робочого органа каменерозколювального верстата, призначеного для розколювання заготовок у формі паралелепіпеда. Рекомендації дозволяють визначити характеристики робочого органа, в якому концентрація напружень забезпечується пружним елементом – інтенсифікатором. З урахуванням отриманих рекомендацій в ДонНАБА спроектований і виготовлений каменерозколювальний верстат невеликої потужності.

Впровадження нових клинових робочих органів, спроектованих з урахуванням розроблених рекомендацій, дозволяє знизити зусилля руйнування в середньому на 30...40% при збільшенні продуктивності на 10...20% в порівнянні із традиційними робочими органами, в яких руйнуючі (граничні) напруження створюються по всій довжині заготовки, що розколюється.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на підставі вперше встановлених закономірностей розколювання гранітних гірських порід спрямованим механічним впливом вирішена актуальна науково-технічна задача підвищення ефективності технології виробництва колотого каменю, що має велике практичне значення для народного господарства України.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Встановлено, що міцність гірських порід при розколюванні суттєво залежить від схеми навантаження: максимальне значення відповідає рівномірному розподілу зовнішнього зусилля уздовж лінії розколювання, мінімальне – нерівномірному, що обмежується вимогами до якісних показників поверхні розколу.
2. Доведено, що в гірських породах можлива реалізація спрямованого розколювання, механізм якого полягає у локальному створенні початкової магістральної тріщини та подальшому керуванні траєкторією її розвитку.
3. Запропонована математична модель способу розколювання гірських порід клиновим робочим органом, в якому концентрація граничних напружень забезпечується пружним інтенсифікатором. Модель дозволяє визначити зусилля руйнування, енергоємність та продуктивність в технологічному процесі виробництва колотого каменю в залежності від параметрів технологічного обладнання, що здійснює розколювання. Введення в модель коефіцієнта k_k дозволило врахувати нерівномірність розподілу зовнішнього зусилля та уточнити існуючу формулу для визначення загального зусилля при розколюванні.
4. Експериментально встановлені закономірності процесу розколювання гранітних гірських порід спрямованим механічним впливом. За рахунок нерівномірного розподілу зовнішнього зусилля, коли коефіцієнт

- нерівномірності k_k збільшується з 1 до 3, зменшується сумарне зусилля на 30...40%, час циклу – на 10...20%, енергоємність процесу – на 20...40% у порівнянні з традиційною схемою розколювання, коли зусилля розподіляється рівномірно по всій довжині заготовки з гірської породи.
5. Результати досліджень покладені в основу розробленої методики визначення раціональних технологічних параметрів і характеристик обладнання, що забезпечує інтенсифікацію процесу розколювання гірських порід та підвищує ефективність технології виробництва колотого каменю.
 6. Доведено, що виробництво колотого каменю новим способом розколювання гірських порід – спрямованим механічним впливом – дозволяє покращити техніко-економічні показники технологічного процесу за рахунок зменшення силових, енергетичних показників, а також підвищення продуктивності при збереженні якості одержуваних виробів.
 7. Розроблені рекомендації до інженерного проектування клинових робочих органів, в яких концентрація граничних напружень досягається за рахунок пружного інтенсифікатора. Реалізація запропонованих рекомендацій дозволяє підвищити продуктивність каменерозколювальної техніки та довговічність її вузлів за рахунок зниження до 30% пікових і динамічних навантажень.
 8. Перераховані розробки покладені в основу ефективної енергозберігаючої технології виробництва колотого каменю, що забезпечує підвищення продуктивності праці та дозволяє економити енергоресурси. Річний економічний ефект від впровадження нового способу розколювання тільки для однієї технологічної лінії з виробництва брусчатого каменю складає 25,95 тис. грн.

Основні положення і результати дисертації опубліковані в таких роботах:

1. Пенчук В.А. Особенности изготовления и применения гранитной брусчатки / В.А. Пенчук, А.Н. Клен // Вісник ДонДАБА. – 2000. – №5(25). – С. 78-80.
2. Пенчук В.А. Способы разрушения горных пород и последовательность выбора рационального из них / В.А. Пенчук, А.Н. Клен // Вісник ДонДАБА. – 2002. – №5(36). – С. 35-37.
3. Пенчук В.А. Определение усилия скола при разрушении образца горной породы по традиционной схеме и по схеме с локальной концентрацией предельных напряжений / В.А. Пенчук, А.Н. Клен // Вісник ДонДАБА. – 2003. – №5(42). – С. 38-42.
4. Пенчук В.А. Существующие описания процесса разрушения горных пород сколом / В.А. Пенчук, А.Н. Клен // Сборник научных трудов ПГАСА. – 2004. – №26. – С. 216-226.

5. Пенчук В.А. Модель рабочего органа камнекольного станка с локальной концентрацией предельных напряжений / В.А. Пенчук, А.Н. Клен // Вісник ДонНАБА. – 2006. – №6(62). – С. 124-128.
6. Пенчук В.А. Влияние неравномерности распределения напряжений на процесс разрушения каменных материалов сколом / В.А. Пенчук, А.Н. Клен // Сборник научных трудов ПГАСА, серия «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование». – 2007. – №39. – С. 66-74.
7. Пенчук В.А. Анализ надежности камнекольных станков с локальной концентрацией очагов разрушения / В.А. Пенчук, А.Н. Клен // Вестник ХНАДУ. – 2007. – №38. – С. 74-76.
8. Клен. А. Н. Модель клинового рабочего органа с упругим интенсификатором напряжений / А.Н. Клен // Вісник ДонНАБА. – 2008. – №3(71). – С. 145-148.
9. Пенчук В.О. Особливості робочих органів каменерозколювальних верстатів з локальною концентрацією напружень / В.О. Пенчук, А.М. Кльон // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – Вип. 23., Т.2. – С. 77-84.
10. Пат. 74930 Україна, МКИ В28D 1/00. Спосіб спрямованого розколу каменя / В.О. Пенчук, А.М. Кльон; заявл. 19.03.04; опубл. 15.02.06, Бюл. №2.
11. Пенчук В.А. Эффективность камнекольных станков с локальной концентрацией очагов разрушения / В.А. Пенчук, А.Н. Клен // Материалы Международной научно-технической конференции «ИНТЕРСТРОЙМЕХ – 2007», Самарск. гос. арх.-строит. ун-т. – Самара, 2007. – С. 210-211.
12. Пенчук В.А. Камнекольные станки с локальной концентрацией предельных очагов разрушения / В.А. Пенчук, А.Н. Клен // Материалы III Международной научно-практической конференции «Научное пространство Европы – 2007». – Днепропетровск: Наука и образование, 2007. – Том 10. Технические науки. – С. 51-54.
13. Пенчук В.А. Камнекольные станки с улучшенными технико-экономическими показателями / В.А. Пенчук, А.Н. Клен // Збірник тез доповідей і повідомлень VI Міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів. – Макіївка: ДонНАБА, 2007. – С.51.
14. Пенчук В.А. Оборудование для получения изделий из камня с колотой фактурой / В.А. Пенчук, А.Н. Клен // Механизация строительства. – 2005. – №4. – С. 13-15.

Особистий внесок здобувача в роботах, написаних у співавторстві: [1, 2, 4, 14] – проведений аналітичний огляд існуючих технологій, способів та теоретичних праць в галузі переробки гранітних гірських порід у колотий камінь; [3, 5, 7, 9 – 13] – запропонований спосіб розколювання гірських порід спрямованим механічним впливом та теоретичні моделі його реалізації, надано техніко-економічне обґрунтування запропонованого способу; [6] – представлені результати експериментальних досліджень процесу розколювання гранітних гірських порід способом спрямованого механічного впливу.

АНОТАЦІЯ

Кльон А.М. Закономірності руйнування гранітних блоків спрямованим механічним впливом. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірничча механіка». ДВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, 2011.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності (вдосконаленню) технологічних процесів виробництва колотого каменю за рахунок інтенсифікації процесів руйнування гірських порід шляхом впровадження нового способу розколювання – спрямованим механічним впливом.

В роботі запропонований і науково обґрунтований новий спосіб розколювання гірських порід – спрямованим механічним впливом, який полягає в нерівномірному розподілі зовнішнього зусилля по довжині заготовки. На відміну від традиційної схеми, коли зовнішнє навантаження рівномірно розподіляється по всій довжині заготовки, а механізм руйнування складається з утворення системи тріщин і їх злиття, при запропонованому способі початкова тріщина створюється лише одна – там, де діють граничні (максимальні) напруження. Подальший спрямований розвиток початкової тріщини призводить до руйнування гірської породи, причому на цей процес витрачається мінімум енергії.

Ключові слова: гірська порода, граніт, колотий камінь, технологічні процеси, руйнування, розколювання, тріщина, каменерозколювальний верстат, обладнання для руйнування.

АННОТАЦИЯ

Клён А.Н. Закономерности разрушения гранитных блоков направленным механическим воздействием. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09 – «Геотехническая и горная механика». ГВУЗ «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2011.

Диссертация посвящена повышению эффективности (усовершенствованию) технологических процессов производства колотого камня за счет интенсификации процессов разрушения горных пород путем внедрения нового способа раскалывания – направленным механическим воздействием.

В работе предложен и научно обоснован новый способ раскалывания горных пород – направленным механическим воздействием, который состоит в неравномерном распределении внешней нагрузки по длине заготовки. В отличие от традиционной схемы, когда внешняя нагрузка равномерно распределяется по длине раскалываемой заготовки, а механизм разрушения состоит в образовании системы трещин и их слиянии, при предложенном способе начальная трещина создается только одна – там, где действуют предельные (максимальные) напряжения. Дальнейшее направленное

распространение начальной трещины приводит к разрушению горной породы, причем на этот процесс расходуется минимум энергии.

Разработаны и проанализированы математические модели клиновых рабочих органов, в которых неравномерное распределение внешнего усилия по длине раскалываемой заготовки обеспечивается за счет соединения клиньев рабочего органа с нагружающей машиной при помощи упругих элементов различной жесткости. Сформулированы требования к параметрам таких рабочих органов, позволяющие получать колотые камни с минимальной энергоемкостью процесса раскалывания и заданным качеством поверхности раскола. Показано, что несмотря на введение в конструкцию дополнительного упругого элемента, надежность предлагаемых технических решений не уменьшается в сравнении с базовым вариантом за счет снижения вероятности появления в системе пиковых нагрузок.

Экспериментально установлены закономерности разрушения горных пород направленным механическим воздействием, а именно влияние неравномерности внешнего усилия по длине раскалываемой заготовки на параметры технологического процесса – усилие, время, производительность и энергоемкость.

На основе проведенных исследований разработаны рекомендации по внедрению нового способа разрушения горных пород в конструкциях клиновых рабочих органов камнекольных станков и подобного оборудования. Внедрение разработанных рекомендаций позволит снизить на 30...40% усилие, на 10...20% время цикла, на 5...10% вес техники и на 20...40% – энергоемкость процесса разрушения.

Перечисленные разработки положены в основу эффективной энергосберегающей технологии производства колотого камня, которая обеспечивает повышение производительности труда и позволяет экономить энергоресурсы. Годовой экономический эффект от внедрения нового способа раскалывания только для одной технологической линии по производству брусчатого камня составляет 25,95 тыс. грн.

Ключевые слова: горная порода, гранит, колотый камень, технологические процессы, разрушение, раскалывание, трещина, камнекольный станок, оборудование для разрушения.

ABSTRACT

Klyon A.M. Patterns of destructing granite blocks by directed mechanical action. – Manuscript.

Dissertation for a Candidate's degree in Engineering, specialty 05.15.09 – Geotechnical and mining mechanics. State Higher Educational Establishment «National Mining University», Dnipropetrovs'k, 2011.

The dissertation is devoted to increase of efficiency of technological processes of manufacturing chipped stone by intensifying the processes of rock destruction with a help of a new way of splitting – a directed mechanical action.

There is offered and scientifically substantiated a new way of splitting rocks, – destruction by a directed mechanical action, – which means a non-uniform distribution of external loading by a sample. Unlike the traditional scheme when external loading is uniformly distributed by the sample, and the destruction mechanism is a formation of set of cracks and their merge, at the offered way there is created only one initial crack where a limiting pressure operates. The further directed growth of the initial crack leads to the material destruction, the minimum energy being spent for this process.

Keywords: rock, granite, chipped stone, technological processes, fracture, splitting, crack, stone splitting machine, equipment for destruction.