

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ І ПИТОМОЇ ВИТРАТИ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ПОДРІБНЕННЯ БЛОКОВОГО СКЕЛЬНОГО МАСИВУ ВИБУХОМ

*І.Л. Гуменик, О.П. Стрелець, А.І. Сепетов, ДВНЗ «Національний гірничий університет»,  
Україна*

Наведено вирішення актуальної науково-практичної задачі щодо забезпечення ресурсо- та енергозбереження при виробництві щебеню на основі розробки методів регулювання інтенсивності вибухового руйнування гірських порід свердловинними зарядами в залежності від необхідної інтенсивності подрібнення блокового скельного масиву.

Ключові слова: відкриті гірничі роботи, свердловинний заряд, неелектрична система ініціювання, проміжний детонатор.

**Актуальність теми.** В сучасних умовах переходу до ринкової економіки ефективна робота гірничодобувних підприємств, у тому числі і в нерудній галузі, можлива тільки за значного зменшення капітальних вкладень в будівництво нових або реконструкцію діючих підприємств, зменшення експлуатаційних витрат при виробництві продукції.

З усіх технологічних процесів з виробництва щебеню найбільше впливають на ефективність роботи всього комплексу буропідривної роботи. Інтенсивність подрібнення порід в кар'єрі в більшості випадків вирішується за рахунок збільшення питомої витрати вибухових речовин (ВР), що безумовно призводить до підвищення витрат на буропідривні роботи, а також сприяє збільшенню виходу дрібної фракції, яка є відходами [1, 2]. У свою чергу від інтенсивності подрібнення порід в кар'єрі значною мірою залежить ефективність наступних процесів механічної переробки гірничої маси. Забезпечення ресурсозбереження (рис. 1) на стадії вибухової підготовки гірничої маси є одним з основних завдань гірничого підприємства, яке здійснює підготовку гірничої маси вибуховим способом [3]. Тому розробка методів регулювання інтенсивності вибухового подрібнення гірських порід є своєчасним і актуальним [4].

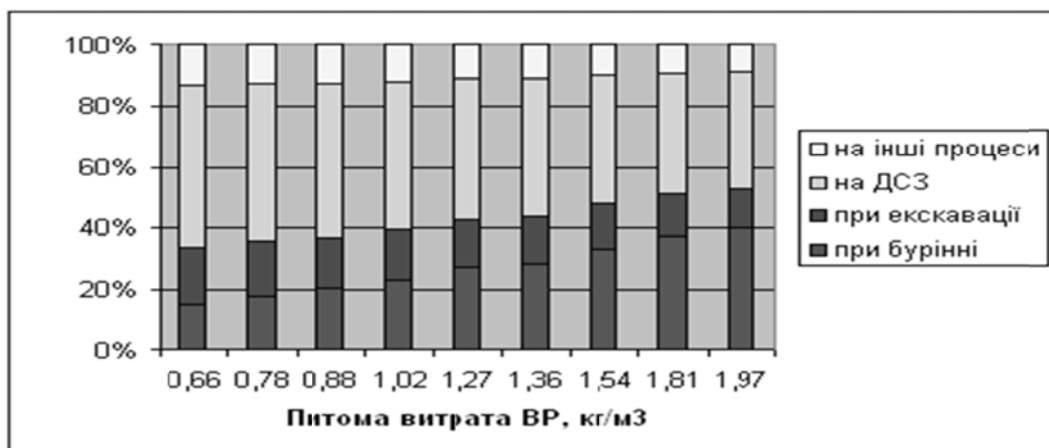


Рис. 1. Питомі енергетичні витрати на виробництво щебеню в залежності від питомої витрати ВР

**Мета роботи** полягає в підвищенні ефективності вибухової підготовки скельних гірських порід блокових структур за рахунок створення свердловинних зарядів раціональної конструкції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- встановити раціональний ступінь подрібнення гірських порід енергією вибуху з урахуванням наступних процесів переробки гірничої маси;

- дослідити вплив дії газоподібних продуктів вибуху на інтенсивність і рівномірність подрібнення блокових структур залежно від конструкції заряду ВР;
- розробити і випробувати в промислових умовах раціональну конструкцію свердловинного заряду.

**Матеріал і результати досліджень.** Фракційний склад, щебеню, що випускається підприємством, і первинної гірничої маси, що надходить з кар'єру, зумовлюють певний ступінь подрібнення порід на подрібнювально-сортувальному заводі

$$i = \frac{D_{cp}}{d_{cz}} \quad (1)$$

де  $D_{cp}$  і  $d_{cz}$  – діаметри відповідно середньозважених шматків гірничої маси і готової продукції.

Між ступенем подрібнення і енерговитратами на подрібнення матеріалу існує взаємозв'язок

$$A = K \times \frac{i-1}{D_{cp}} \times Q \quad (2)$$

де  $A$  - робота подрібнення  $Q$  кг матеріалу;  $i$  - ступінь подрібнення;  $K$  - коефіцієнт пропорційності.

Як випливає з наведених залежностей зменшення діаметру середнього шматка гірничої маси ( $D_{cp}$ ) зменшує питомі енергетичні витрати механічного подрібнення. Тому необхідно прагнути до підвищення інтенсивності вибухового подрібнення [2, 4]. З іншого боку підвищення інтенсивності вибухового руйнування часто пов'язане зі збільшенням виходу некондиційних (0÷5 мм) фракцій в гірничій масі. Найбільш обґрунтованим варіантом була б мінімізація виходу як негабаритних шматків, так і переподрібненої породи при вибуховому висадженні.

Практика роботи підприємств з виробництва щебеню свідчить, що для підвищення ефективності всього технологічного комплексу необхідно:

- звести до мінімуму вміст негабаритних фракцій, розмір яких визначається приймальним отвором дробарок першої стадії;
- забезпечити мінімальний вміст некондиційних фракцій (0÷5 мм) в гірничій масі;
- в максимальній мірі зберегти міцнісні властивості порід в умовах вибухового висадження.

Отримання високоякісного щебеню за мінімальних витрат можливе тільки за комплексного вирішення проблеми вибухового і механічного руйнування гірських порід і вдосконалення всіх технологічних процесів від виймання гірських порід до отримання готової продукції.

Найбільш поширеним методом підвищення інтенсивності руйнування гірських порід на підприємствах нерудних будівельних матеріалів є збільшення питомої витрати ВР, що дозволяє збільшити продуктивність екскаваторів та дробарок (рис. 2).

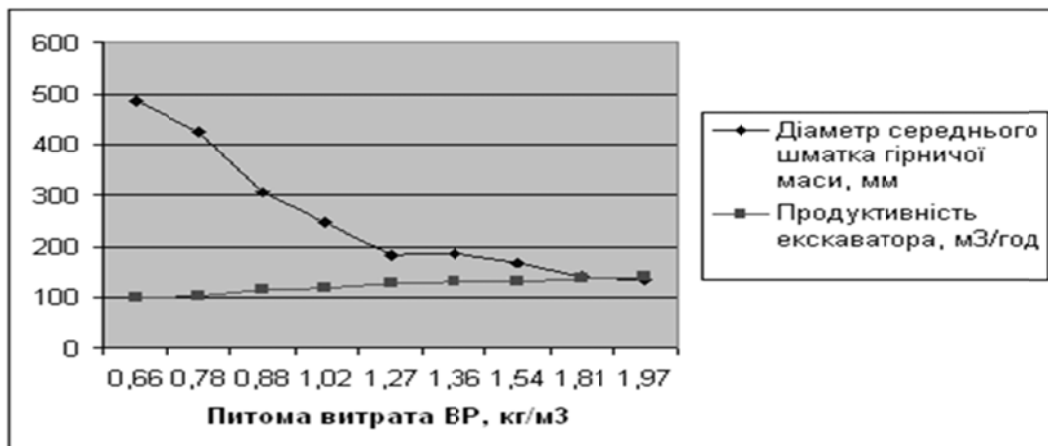


Рис. 2 Продуктивність екскаватора ЕКГ-4,6 (м<sup>3</sup>/зм) та діаметр середнього шматка гірничої маси в залежності від питомої витрати ВР

Проте, цей шлях пов'язаний зі збільшенням виходу некондиційних фракцій (відсіву) і зменшенням міцності шматків відбитої гірничої маси, оскільки велика частина тріщин, що зароджуються у наближеній до заряду зоні, як показують теоретичні і експериментальні дослідження, не отримують подальшого розвитку і є причиною зменшення міцності шматків, що утворюються.

Ряд методів регулювання подрібнення гірських порід вибухом ґрунтується на зміні максимального тиску в зарядній порожнині і тривалості імпульсної дії на масив.

Величина максимального тиску в зарядній камері залежить від типу вживаної ВР, щільності заряджання, конструкції заряду. Сучасний асортимент промислових ВР за рахунок зміни щільності заряджання дозволяє регулювати величину максимального тиску  $(1,5 \div 10,0)10^3$  МПа.

Зменшення максимального тиску в зарядній камері з метою раціональнішого використання енергії вибуху досягається при використанні зарядів, розосереджених повітряними проміжками.

Вперше кількісна оцінка проникнення газоподібних продуктів детонації в середовище під час вибуху запропонована в роботах В.М. Коміра та ін. Ці роботи дали поштовх проведенню подальших досліджень щодо ролі газів при вибуховому руйнуванні твердих середовищ.

У ІГТМ НАН України під керівництвом Е.І. Єфремова виконаний великий обсяг комплексних досліджень, заснованих на вивченні механізму руйнування, будови і властивостей середовища і на з'ясуванні ролі хвиль напруги, газоподібних продуктів вибуху і зіткнення окремих шматків в загальній роботі вибухового подрібнення тріщинуватих середовищ. Це дозволило визначити шляхи підвищення ефективності вибухового руйнування за рахунок повнішого використання роботи газоподібних продуктів вибуху [3, 5].

Методи керування руйнуванням тріщинуватих гірських порід блокової структури, засновані на повнішому використанні роботи газоподібних продуктів вибуху - оригінальні комбіновані набійки, розосереджені заряди ВР з урахуванням структури середовища, заряди з газотвірними домішками, заряди ВР з концентраторами передачі енергії для розосередження зарядів.

Таким чином, проведений аналіз досліджень з вивчення руйнування тріщинуватих середовищ блокової структури дією вибуху дозволив зробити висновок, що руйнування тріщинуватих гірських порід пов'язане з дією хвиль напруги, що поширюються в середовищі, поршневою дією продуктів детонації і ударною взаємодією окремих частин, що складають масив. Керувати ефективністю руйнування цих порід можна шляхом спрямованої зміни параметрів вибухового імпульсу і вибору раціонального методу розміщення заряду у свердловині і в масиві відносно напрямку простягання основної системи тріщин.

Дослідженнями механізму руйнування гірських порід встановлено, що механічна енергія, яка передається гірському масиву під час вибуху витрачається:

- на пластичну деформацію середовища, обумовлену його непружною поведінкою;
- на утворення нових поверхонь і подрібнення породи;
- на переміщення і розлітання шматків, що утворилися;
- на створення ударно-повітряної хвилі;
- на сейсмічні коливання масиву.

Наявна в породі структурна недосконалість (межі поділу між по-різному орієнтованими кристалами і зернами неправильної форми, мікротріщини, пори і т. д.), їх властивості і характер взаємодії обумовлюють значні місцеві збурення напруженого стану і сильно впливають на руйнування в разі появи додаткових зовнішніх навантажень. Тому робота, витрачена на руйнування гірської породи, визначається не лише зовнішніми умовами, але і наявністю мікротріщинуватості в самому зруйнованому об'ємі. Необхідна питома витрата ВР має враховувати усі енергетичні витрати при подрібненні до заданого середнього діаметра шматка.

$$q = \frac{e_{\sigma} + e_0}{\eta_{\text{ВР}}} \quad (3)$$

де:  $e_{\sigma}$  - питома енергія, що витрачається на зменшення міцності шматків,  $\text{кДж/м}^3$ ;  $e_o$  - питома енергія, що витрачається на руйнування і переміщення гірської породи,  $\text{кДж/м}^3$ ;  $e_{\text{ВР}}$  - питома енергія ВР,  $\text{кДж/кг}$ ;  $\eta$  - коефіцієнт корисної дії енергії вибуху.

В зв'язку з тенденцією збільшення питомої витрати ВР при висадженні нерудних порід були проведені експериментальні дослідження ефективності конструкції зарядів з використанням газотвірних компонентів з метою зменшення виходу дрібної фракції і негабариту.

Після вибуху робився ситовий аналіз зруйнованої моделі, а інтенсивність подрібнення моделей оцінювалася за процентним вмістом фракцій в зруйнованому матеріалі і величиною діаметра середнього шматка (рис. 3).

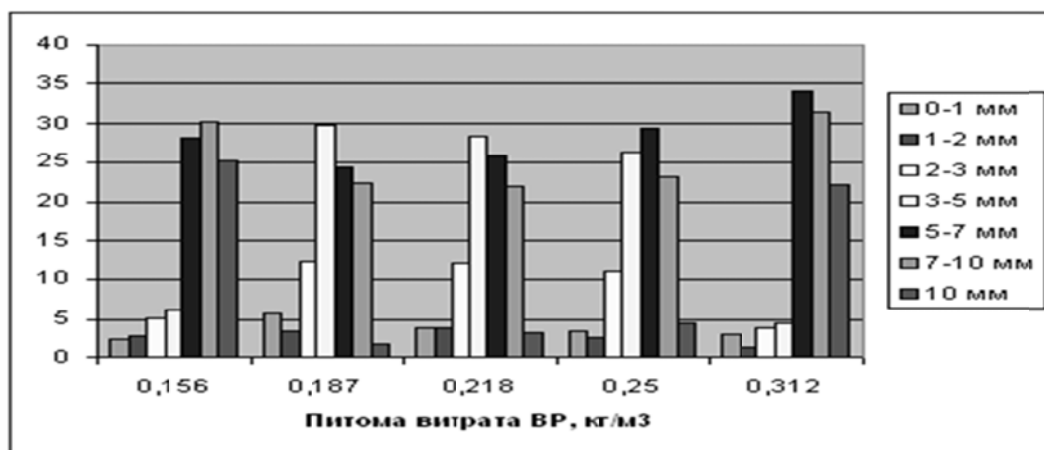


Рис. 3 Фракцій склад у відсотках в залежності від зміни питомої витрати ВР

Аналіз результатів експериментів показав, що збільшення питомої витрати ВР в 2 рази призводить до зменшення в 2,5 рази розмірів середнього шматка, але і кількість некондиційних фракцій  $0\div 1$  мм збільшується в 2,4 рази. Заміщення 20÷30 % маси заряду газотвірною домішкою дозволило в 2 рази зменшити величину діаметра середнього шматка, проте кількість некондиційних фракцій при цьому зросла лише в 1,3-1,6 рази, тобто на 33÷42% менше, ніж при експериментах із зарядами без газотвірних домішок.

Таким чином, проведені експериментальні дослідження підтверджують можливість зменшення виходу некондиційних фракцій при збільшенні питомої витрати ВР для висадження блокових масивів шляхом заміни частини ВР газотвірними компонентами (рис. 4).

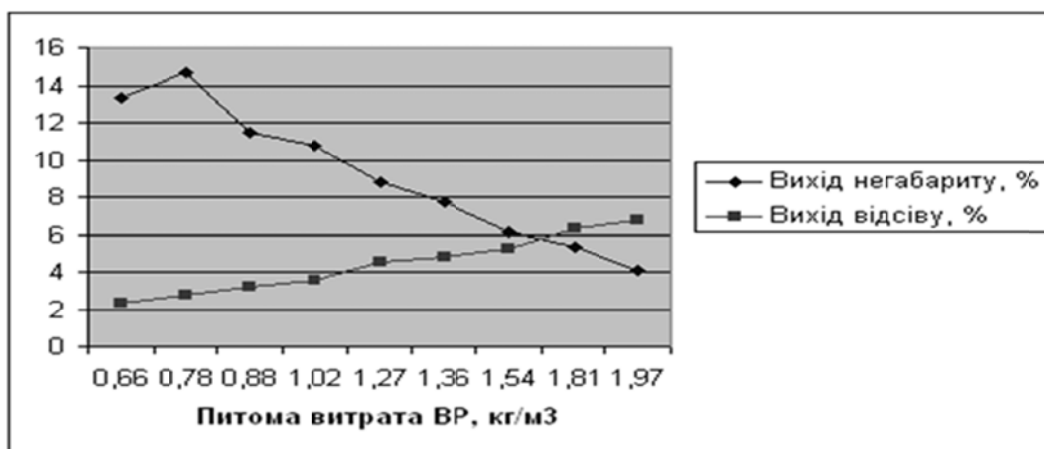


Рис. 4 Вихід у відсотках негабариту та некондиційних фракцій в залежності від питомої витрати ВР

Характерною особливістю вибуху у блокових середовищах є витікання значної кількості продуктів детонації через природні тріщини, що істотно впливає на інтенсивність подріб-

нення гірських порід. Для посилення квазістатичної дії продуктів детонації при висадженні блокових масивів були розроблені і досліджені наступні конструкції зарядів (рис. 4): 1 - суцільна; 2 - розосереджена повітряним проміжком; 3 - розосереджена пластичним проміжком; 4 - розосереджена пластичним проміжком з газоутворюючою домішкою в заряді ВР; 5 - суцільна з газоутворюючою домішкою в заряді ВР.

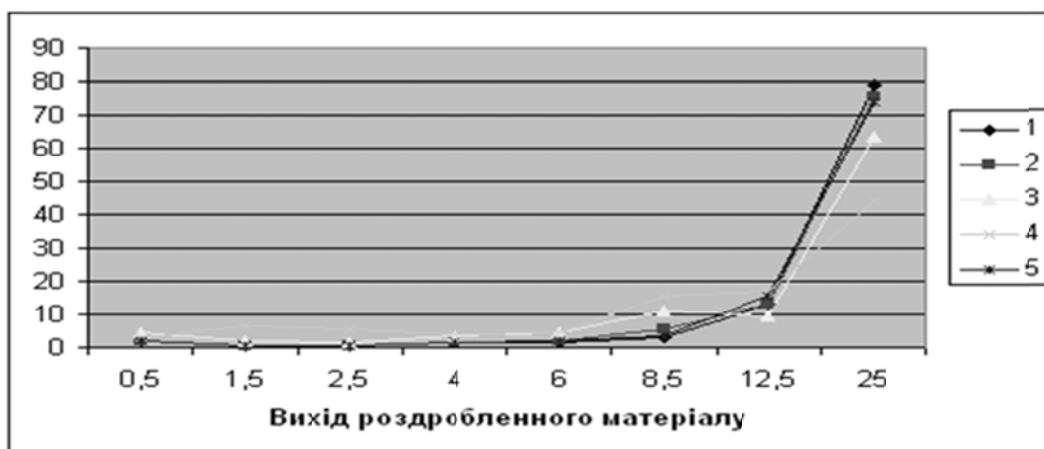


Рис. 4 Вміст фракції у відсотках в залежності від конструкції заряду ВР

Аналіз отриманих результатів експериментів показує, що ефективність руйнування блокових масивів вибухом багато в чому визначається конструкцією заряду ВР. Розосередження заряду ВР повітряним, інертним або пластичним проміжком, розташованим в зонах системи розташування горизонтальних тріщин, сприяє зменшенню діаметра середнього шматка і веде до зниження виходу фракцій 0÷1 мм.

Проведені експериментальні дослідження показали, що для підвищення ефективності руйнування твердих середовищ блокової структури вибухом зарядів ВР слід здійснювати надійне замикання продуктів детонації у свердловині. Відомі способи здійснення набійки свердловинних зарядів, в яких замикання продуктів детонації вибухової речовини у свердловині здійснюється шляхом заповнення верхньої частини свердловини різним набієчним матеріалом, а також застосування активних набійок [6]. Проте кожна з набійок має свої переваги і недоліки. Нами поставлено завдання, розробити конструкцію активної набійки, яка дозволить збільшити тривалість дії продуктів вибуху на стінки свердловини, а також сприятиме руйнуванню верхньої частини уступу і знижуватиме пилогазові викиди. Порівняння ефективності запропонованого нами способу активної набійки свердловинного заряду робили з варіантом суцільної набійки заряду.

Застосування запропонованого способу набійки свердловинного заряду забезпечило підвищення ефективності вибухового подрібнення моделей, так діаметр середнього шматка зменшився на 8,8 %. Таким чином, конструктивні особливості активної набійки зумовлюють посилення ефекту замикання газоподібних продуктів детонації ВР в зарядній порожнині, забезпечуючи не лише поліпшення подрібнення гірських порід, але і зменшення викидів пилогазових часток в атмосферу кар'єру [6, 7].

На підставі виконаних експериментів розроблена нова конструкція свердловинного заряду (рис. 5) і нова конструкція набійки для підвищення ефективності руйнування блокових масивів і зменшення екологічного навантаження.

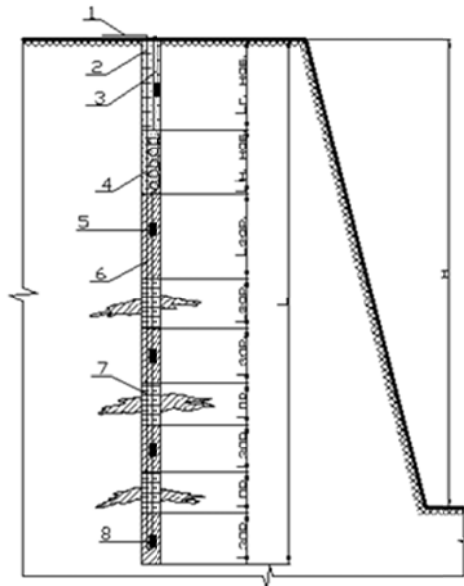


Рис. 4. Конструкція свердловинного заряду

де: 1 - хвилевід з капсулом-детонатором системи типу NONEL; 2 - гідронабійка в поліетиленовому рукаві; 3 - детонуючий шнур (ДШ); 4 - інертна набійка з ДШ; 5 - проміжні детонатори на ДШ; 6 - заряд вибухової речовини; 7 - пластичний проміжок; 8 - проміжні детонатори мережі системи НСІ типу NONEL

**Висновки.** На підставі результатів експериментальних досліджень, а також дослідно-промислової перевірки безпосередньо в кар'єрі розроблена нова конструкція свердловинного заряду для вибухового руйнування великоблочних гірських порід. Для запобігання виходу продуктів вибуху через природні тріщини в зонах перетину тріщин свердловиною формують проміжки з пластичного матеріалу заввишки 5-10 значень максимальної ширини розкриття тріщин. Застосування запропонованої конструкції заряду дозволяє підвищити ступінь подрібнення великоблочних порід зі зменшенням виходу негабариту на 6-11 % у порівнянні із традиційно вживаними суцільними конструкціями зарядів.

Використання розробленої конструкції свердловинного заряду з активною набійкою дозволяє збільшити тривалість дії продуктів детонації на масив на 10÷12 %, зменшити діаметр середнього шматка гірничої маси на 8÷12 %, а також конструкція активної набійки дозволяє зменшити в 1,8÷2,0 рази кількість викидів пилу та отруйних газів.

#### Література

1. Я.М. Пучков, П.С. Данчев, Н.С. Ефремовцев Исследование влияния параметров скважинных зарядов на технико-экономические показатели буровзрывных работ и на гранулометрический состав взорванной горной массы / сб. «Взрывное дело», №62/19, М.:Недра 1967.
2. М.Ф. Друкованый, Л.Ф. Петряшин, В.С. Кравцов, Н.И. Мячина. Влияние типа ВВ на интенсивность дробления при взрывной отбойке гранитов / сб. «Взрывное дело», №62/19, М.:Недра 1967.
3. Э.И. Ефремов, В.Ф. Джос, А.В. Бурлака. Некоторые методы интенсификации дробления пород средней и ниже средней крепости / сб. «Взрывное дело», №62/19, М.:Недра 1967.
4. В.М. Комир, Н.И. Мячина, Л.Ф. Петряшин, Л.М. Гейман. Экономически эффективная степень дробления горных пород взрывом / сб. «Взрывное дело», №62/19, М.:Недра 1967.
5. М.Ф. Друкованый, Э.И. Ефремов, В.М. Комир, А.И. Потапов. Опыт внутрискважинного замедления при взрывании высоких уступов на карьере ЮГОКа / сб. «Взрывное дело», №62/19, М.:Недра 1967.
6. О.П. Стрелець «Пристрій для ініціювання свердловинного заряду» / Патент №77982
7. Б.Н. Тартаковский, Г.К. Виторт, Ф.Б. Черкасский. Гидровзрывание в горном деле / сб. «Взрывное дело», №62/19, М.:Недра 1967.