

СТАТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕВЗРЫВЧАТОЙ РАЗРУШАЮЩЕЙ СМЕСИ

¹Заиров Ш.Ш., ¹Равшанова М.Х., ¹Тагаев И.А., ¹Худойбердиев О.Ж.

¹Навоийский государственный горный институт

СТАТИЧНИЙ МЕТОД РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД З ВИКОРИСТАННЯМ НЕВИБУХОВОЇ РУЙНІВНОЇ СУМІШІ

¹Заиров Ш.Ш., ¹Равшанова М.Х., ¹Тагаев И.А., ¹Худойбердиев О.Ж.

¹Навоийський державний гірничий інститут

STATIC METHOD OF ROCK DESTRUCTION WITH USING A NON-EXPLOSIVE DESTRUCTIVE MIXTURE

¹Zairov Sh. Sh., ¹Ravshanova M.Kh., ¹Tagaev I.A., ¹Hudoiberdiev O.Zh.

¹Navoiy State Mining Institute

Аннотация. В статье разработана математическая модель расположения шпуров при использовании невзрывчатой разрушающей смеси (НРС), способствующая формированию сплошной линии трещин и ровному отрыву горных пород в массиве. Установлены зависимости изменения эффективного расстояния между контурными шпурами от их диаметра, сжимающего напряжения у стенки шпура, коэффициента Пуассона, предела прочности породы при растяжении и дополнительного напряжения, направленного на перемещение стенок блока и их раскрытие при использовании НРС.

Проведена серия опытов по поиску оптимальной рецептуры состава НРС, которая позволила бы ускорить процесс гидратации без дополнительного выделения тепла и обеспечить высокое давление в течение 5-8 ч после использования состава. Оптимизированы варианты химической смеси, максимально расширяющая и разрушающая горные породы. На образцах из различных материалов (стеклянные пузырьки, гипс, кирпич, мрамор) проведено более 200 экспериментов по разрыву. На основании полученных результатов разработан способ получения состава НРС с использованием компонентов из местного сырья, безопасный при хранении, транспортировке и применении, создающего высокое внутреннее давление в шпурах, способствуя статическому разрушению и разрыву горных пород.

Также разработан способ отделения монолитов от массива с использованием нового состава НРС. Применение предложенного способа позволяет осуществить сдвиг блока монолита в выработанное пространство карьера под воздействием высокого давления саморасширения, исключая произвольный выброс смеси.

Опытно-промышленные испытания предлагаемого состава и способа получения НРС проведены в Нуратинском месторождении мрамора Навоийской области. Способ отделения монолитов от массива с использованием нового состава НРС по сравнению с буровзрывным способом позволяет снизить трудоемкость выполняемых работ, обеспечивает защиту окружающей среды, снижает себестоимость добычи и энергоемкость горных работ, а также повышает безопасность их ведения.

Ключевые слова: математическая модель расположения шпуров, невзрывчатая разрушающая смесь, формирование сплошной линии трещин, ровный отрыв горных пород в массиве, высокое внутреннее давление в шпурах.

Введение. В мировой практике разрушение горных пород при добыче нерудных строительных материалов, разделка негабаритных блоков, рыхление фундаментов и вторичное дробление производится, в основном, буровзрывным способом. изобретены другие способы разрушения крепких горных пород [1-2].

Данный метод по производительности и сроком реализации остается лидирующим в ближайшие 30-40 лет и на перспективу, пока не будут

изобретены другие способы разрушения крепких горных пород [1-2]. Главными недостатками буровзрывного метода добычи нерудных строительных материалов является обеспечение безопасности ведения взрывных работ, простои и перерывы при производстве горных работ, большой объем вспомогательных операций, небольшой коэффициент полезного использования энергии взрыва, выделение большого количества пыли и ядовитых газообразных продуктов, опасность хранения взрывчатых материалов и др. Устранение этих недостатков требует разработки более перспективных и дешевых способов разрушения крепких горных пород как при добыче нерудных строительных материалов, так и при разделке негабаритных блоков и рыхлении фундаментов. Перспективным направлением решения задачи данной проблемы является использование статического метода разрушения различных горных пород с использованием невзрывчатых разрушающих смесей (НРС).

На сегодняшний день известны более 120 различных смесей и композиций НРС [3-13], главными недостатками которых являются их импортируемость, сложность получения состава, использование в качестве добавок редких и дорогостоящих веществ, длительное время разрушения (12-24 ч), лимитный температурный режим работы, ограниченные условия применения, зависимость от климатических условий. В связи с этим возникает необходимость в проведении исследований по разработке дешевого и качественного НРС с использованием компонентов из местного сырья с меньшим расходом времени на разрушение горных пород.

Методика. В работе использованы теоретические, лабораторные и экспериментальные исследования в полигонных и промышленных условиях, методы системного анализа и синтеза рецептур НРС, математическое моделирование, теория технических систем на гидравлическом прессе, интервальный вариант математического моделирования, теория создания высокого внутреннего давления в шпурах и методы математического программирования.

Теоретическая часть. Анализ работ, посвященных проблемам разрушения, показывает, что наиболее широко в инженерных расчетах применяется теория Гриффитса-Ирвина, не требующая большого количества экспериментальных данных для расчета и удовлетворительно описывающая разрушение за счет роста одиночной трещины [3]. Это дает основание выбрать ее положения в качестве базовых для решения задач разрушения горных пород с помощью НРС.

При использовании НРС для получения сплошной прямой линии трещин в разрушаемых горных породах очень важно определить расположение шпуров. Их расположение и получение трещин по прямой зависит от структуры, прочности и степени растяжимости разрабатываемых горных пород. После применения НРС в горных породах появляются трещины. Эти трещины образуются в результате химико-физических реакций применяемого состава НРС. Трещины могут образовываться в произвольном месте шпура и развиваться в любом направлении.

Рассмотрим образование щели как результат действия тангенциальных напряжений σ_θ в точке А, расположенной в плоскости щели на равном расстоянии от соседних шпуров (рис. 1).

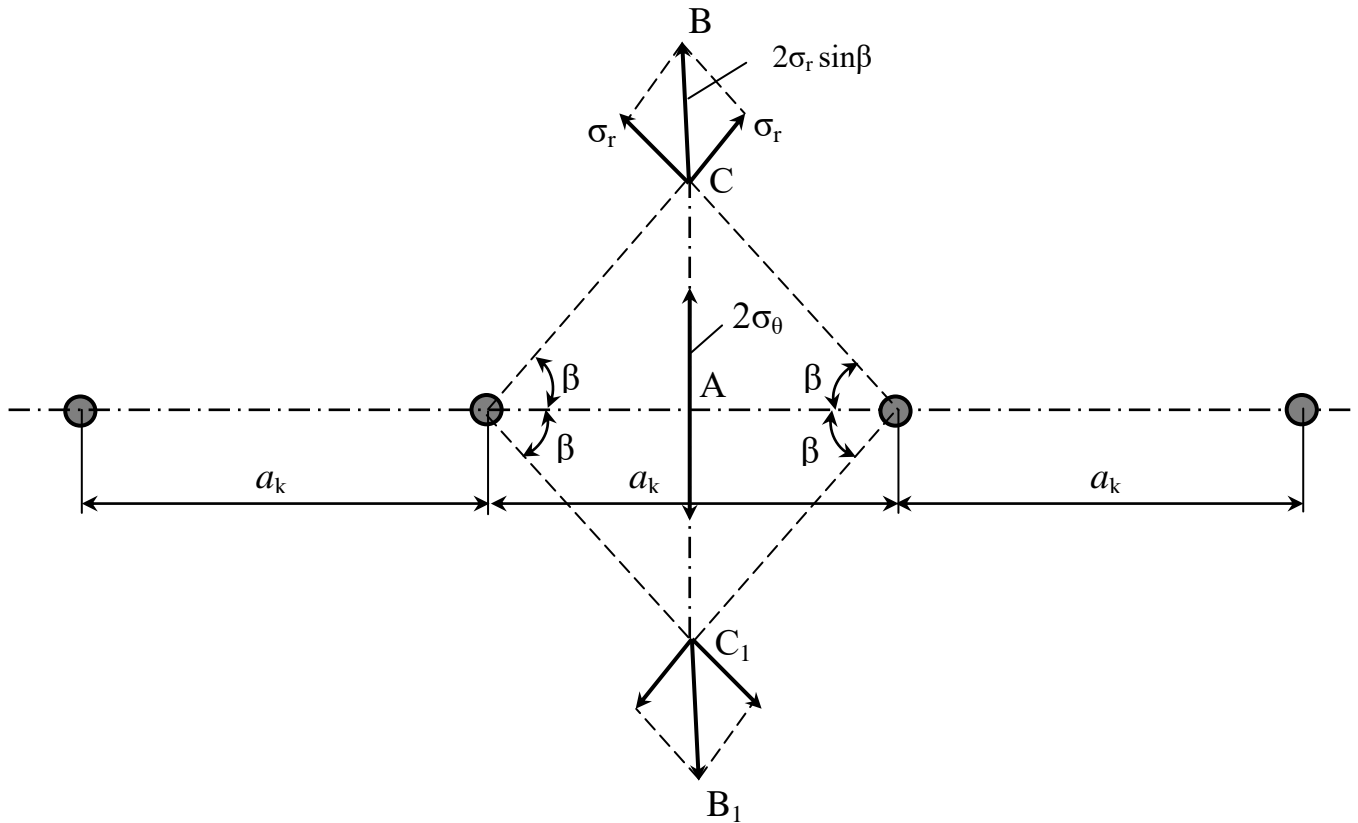


Рисунок 1 - Схема к расчету расстояния между шпурами при использовании НРС

Установлено, что существенную роль в механизме образования щели оказывают радиальные напряжения от соседних шпуров, геометрически складывающихся в плоскости, пересекающей щель перпендикулярно к ней на расстоянии от соседних шпуров. Эти напряжения также создают растягивающие усилия в плоскости щели и необходимо знать затраты энергии на раздвижение стенок щели после образования магистральной трещины.

Щель возникает в массиве под действием растягивающих напряжений σ_θ в точке А и симметричных, направленных в разные стороны растягивающих напряжений в точках С и С₁, формирующихся в результате геометрического сложения радиальных напряжений сжатия σ_r в этих точках (рис. 1).

В результате проведенных аналитических и теоретических исследований предложена формула определения эффективного расстояния между шпурами при использовании НРС, позволяющая обеспечить ровный отрыв массива горных пород

$$a_k = 0,17d_{ш} \left[\frac{P(t) \left(0,85 + \frac{\mu}{1-\mu} \right)}{\sigma'_p + \sigma_h} \right]^{2/3}, \text{ м}, \quad (1)$$

где $d_{ш}$ – диаметр шпура, м; $P(t)$ – сжимающее напряжение, вызванное действием НРС у стенки шпура, МПа; μ – коэффициент Пуассона; σ'_p – предел прочности породы при растяжении с учетом коэффициента структурного ослабления для данного массива, МПа; σ_h – дополнительные напряжения, необходимые для перемещения стенок щели на некоторую величину $h_{ш}$, и ее раскрытие, МПа.

Выполненные теоретические исследования позволили установить аналитические зависимости изменения расстояния между контурными шпурами с НРС от диаметра шпура, сжимающего напряжения, вызванного действием НРС у стенки шпура, коэффициента Пуассона, предела прочности породы при растяжении и дополнительного напряжения, необходимого для перемещения стенок блока на некоторую величину и ее раскрытие (рис. 2-6).

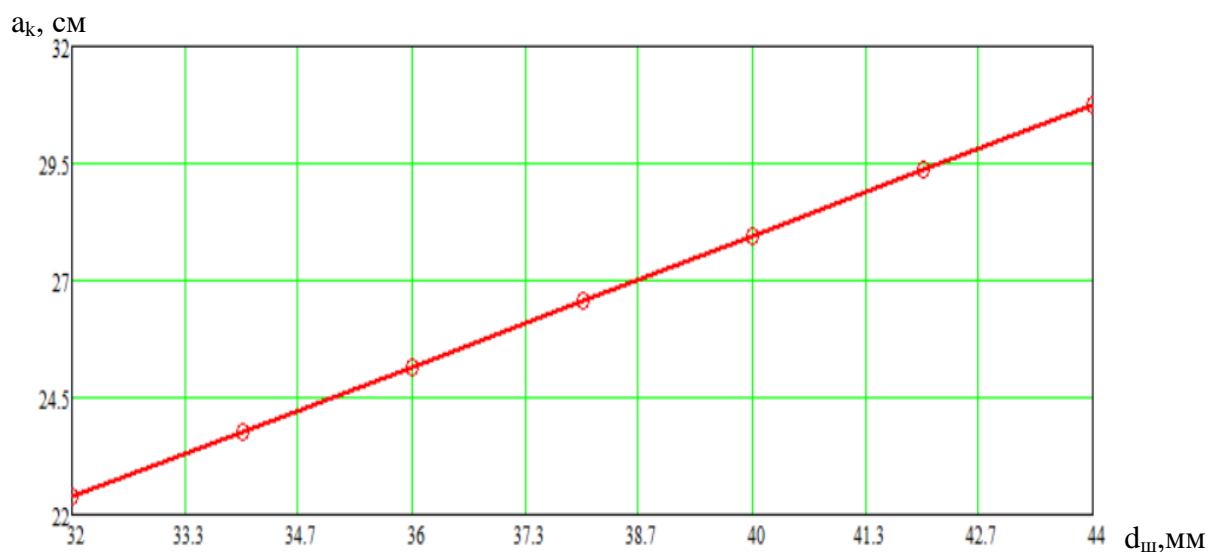


Рисунок 2 - Изменение расстояния между шпурами в зависимости от диаметра шпура

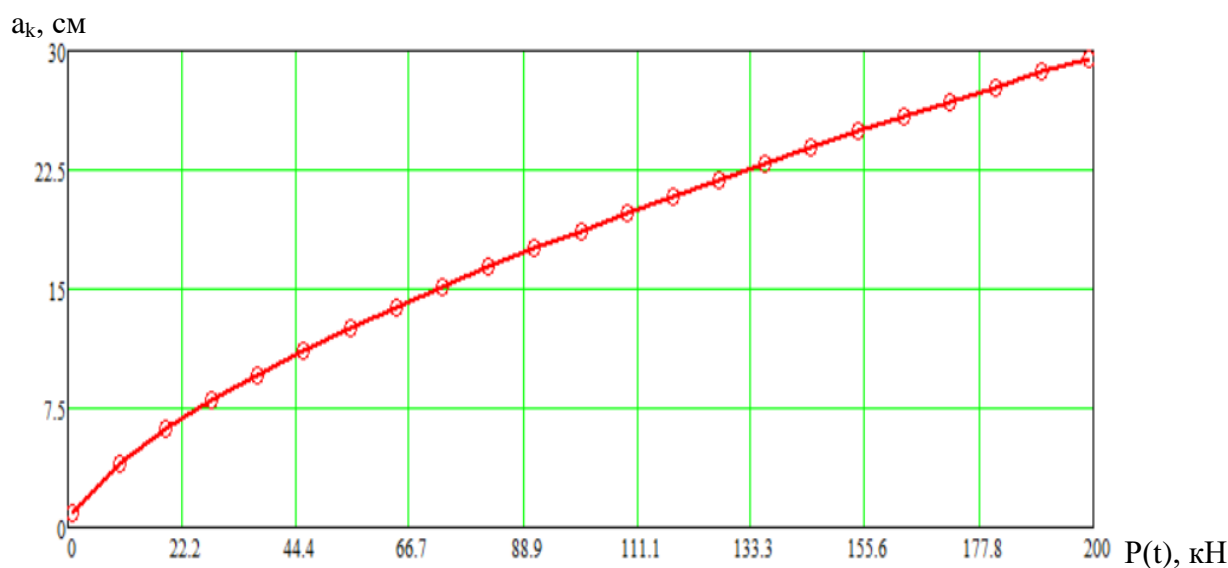


Рисунок 3 - Изменение расстояния между шпурами в зависимости от сжимающего напряжения, вызванного действием НРС у стенки шпура

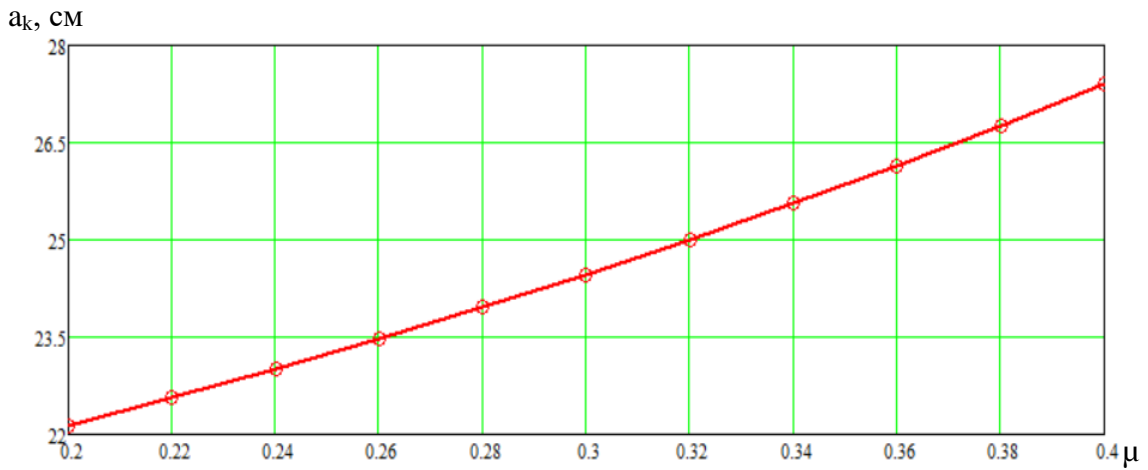


Рисунок 4- Изменение расстояния между шпурами в зависимости от коэффициента Пуассона

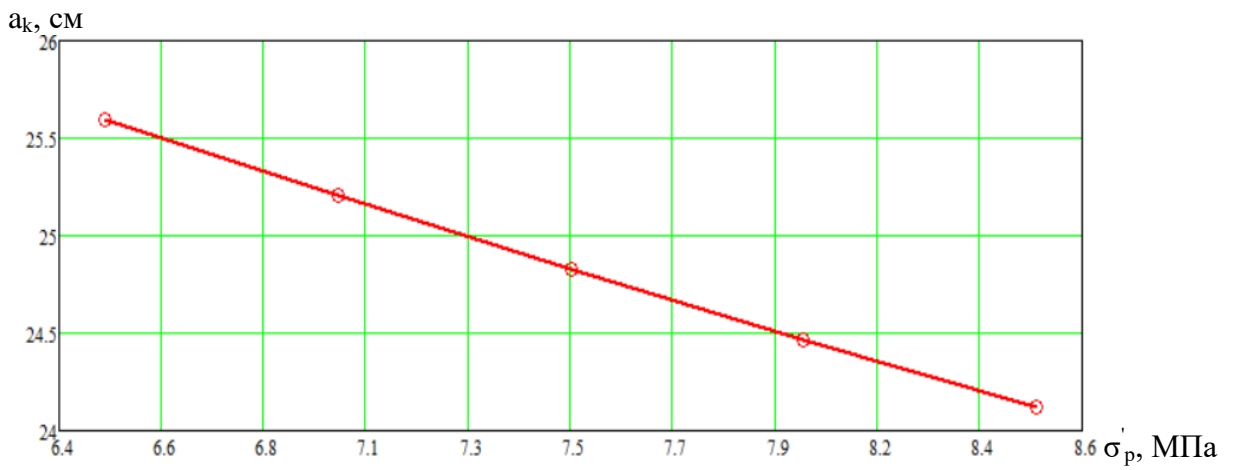


Рисунок 5 - Изменение расстояния между шпурами в зависимости от предела прочности породы при растяжении с учетом коэффициента структурного ослабления массива

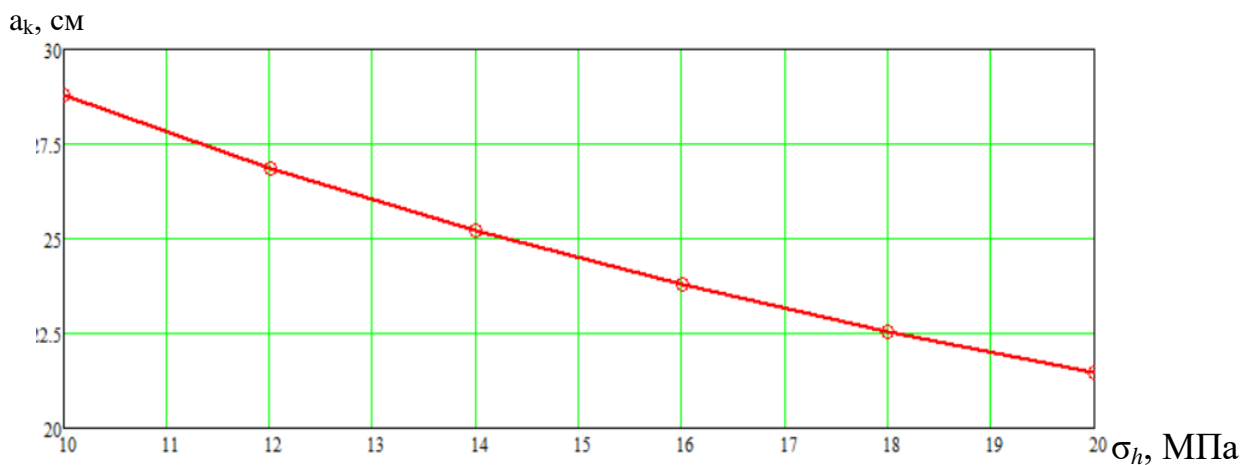


Рисунок 6 - Изменение расстояния между шпурами в зависимости от дополнительного напряжения, необходимого для перемещения стенок блока на некоторую величину и ее раскрытие

Экспериментальная часть. В научной лаборатории Навойского государственного горного института проведены опыты по поиску оптимальной рецептуры состава НРС, которая позволила бы ускорить процесс гидратации без дополнительного выделения тепла и обеспечить высокое давление в течение 5-8 ч после использования состава.

Проведена выборка НРС для разрушения горных пород, бетона, железобетона, каменной кладки, а также как расширяющая добавка для производства тампонажных материалов, в результате чего подобран следующий приблизительный химический состав расширяющейся невзрывчатой смеси:

CaO – 9-90%;
Mg – 0,97-1,66%;
Fe₂O₃ – 3,4-7%;
SO₃ – 0,33-0,65%;
Al₂O₃ – 1,34%;
SiO₂ – 2%;
Na₂O₂ – 4%.

Были составлены 5 рецептов НРС, в мас. %:

1) хлорид кальция – 1,0-10,5; карбонат кальция с содержанием отхода сахарного производства – 5,0-20,0; остальное негашеная грубоизмельченная известь;

2) алюминиевая пудра – 0,25-0,30; глицерин – 3,0-15,1; кальцинированная сода – 2,0-9,9; лигносульфанат технический модернизированный (ЛСТМ-2) – 0,10-2,35; остальное оксид кальция из обожженных известняка и гипса;

3) перманганат калия – 1,45-9,5; этиленгликоль – 5,0 - 21,0; борная кислота – 0,25-2,7;

4) мочевины – 1,8-23,0; глицерин – 2,6-12,8; остальное – оксид кальция из обожженных известняка и гипса.

5) состав смеси НРС-1, разработанная ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт строительных материалов и конструкций им. П.П.Будникова», основным компонентом (до 98%) которого является обожженная грубодисперсная известь. Обжиг негашеной извести производился в печах специальной конструкции при температуре, превышающей 1400°C. В качестве добавок использовали борную кислоту, кальцинированную соду, химическое вещество — сульфатно-дрожжевая бражка (СДБ). Порошок НРС-1, смешанный с водой в соотношении 3:1, образовал пастообразную массу, которая при затвердении увеличила свой объем, создавая в разрушаемом объекте давление до 50 МПа.

На основании вышеуказанных химических составов подобраны оптимальные варианты, при которых химическая смесь может максимально расширяться и привести к разрушению стеклянных, гипсовых моделей, кирпича и мрамора.

Для выявления оптимальных рецептов смесей НРС были использованы данные, представленные в табл. 1.

Таблица 1 - Варианты составов НРС

Состав НРС, мас. %				Давление саморасширения, МПа, в возрасте		Наличие непроизвольного выброса НРС из шпура
CaO	Na ₂ CO ₃	ЛСТМ	CH ₃ COOH	12	24	
98,40	1	0,35	0,25	48	58	Выброс
96,35	3	0,4	0,25	40	52	нет
92,00	6	1,5	0,5	46	57	нет
88,00	9	2,5	0,5	38	45	нет
85,70	11	2,8	0,5	30	35	нет
98,15	1	0,35	0,5	55	69	Выброс
96,10	3	0,4	0,5	44	50	нет
91,75	6	1,5	0,75	48	56	нет
87,75	9	2,5	0,75	40	47	нет
85,45	11	2,8	0,75	32	38	нет
97,90	1	0,35	0,75	65	73	Выброс
95,40	3	0,4	1,2	75	82	Выброс
91,30	6	1,5	1,2	70	80	Выброс
87,30	9	2,5	1,2	56	65	Выброс
85,10	11	2,8	0,75	17	25	нет
Прототип				60	63	Выброс

В последующих экспериментальных работах были выполнены более 200 экспериментов со стеклянными пенициллиновыми пузырьками. Только после получения повторяющихся результатов по разрыву стеклянных пузырьков, использованы гипсовые модели, кирпичи и мраморные бруски с предварительно пробуренными в них шпурами.

Также проведены лабораторные испытания в образцах из различных композитных материалов и определен предел прочности на одноосное сжатие образцов гипсового блока, керамического кирпича, мрамора и стекла. После получения необходимых экспериментальных результатов произведена статистическая их обработка и получены соответствующие средние значения физико-механических параметров.

В результате проведенных исследований разработан состав и способ получения НРС, предусматривающий отдельное приготовление твердой (Т) и жидкой (Ж) составов. Твердый состав получают путем измельчения извести (CaO) до порошкообразного состояния, перемешивание полученного порошка с кальцинированной содой (Na₂CO₃), лигносульфонатом (ЛСФ) и технической солью (NaCl) при следующих соотношениях, масс. %:

- CaO – 48;
- Na₂CO₃ – 3;
- ЛСФ – 3;
- NaCl – 4.

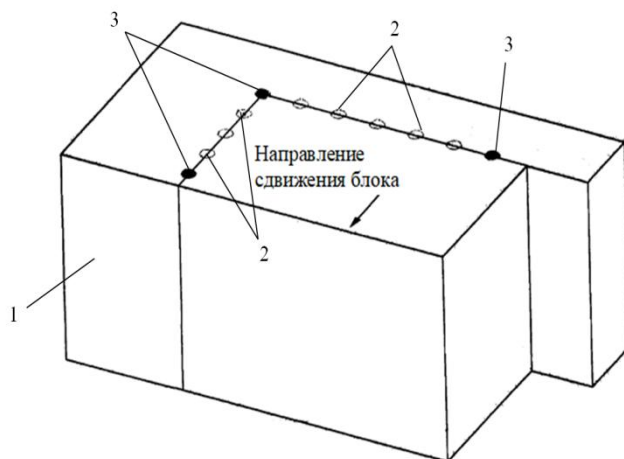
Получается сероватая сыпучая масса.

- стиральный порошок – 3;
- борная кислота – 3;

- глицерин – 5;
- сахар – 1;
- вода – 30.

Твердый и жидкий составы перемешивают в соотношении Т:Ж=3:1 до получения сметанообразной текучей массы и не давая застыть заливают в шпуров или скважины. Время разрыва горных пород находится в пределах 6-8 ч в зависимости от температуры окружающей среды.

Также разработан способ отделения монолитов от массива с использованием нового состава НРС (рис. 7). Согласно данному способу в монолитном блоке – 1 бурятся шпуров – 2 и 3 диаметром 32-43 мм под прямым углом углом 90° для получения блоков монолитов правильной формы и дальнейшего их использования. Глубина шпуров – 2 и 3 зависит от высоты отделяемого монолита и его способности к раскалыванию. Для лучшего образования трещин в монолите и более эффективного отделения массива глубина шпуров должна составлять в среднем 0,8-0,95 от высоты объекта, но не менее шести диаметров шпура.



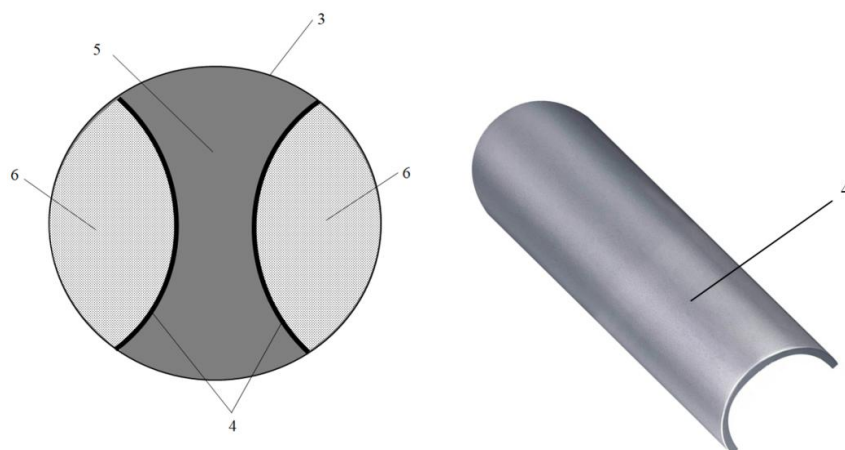
1 – монолитный блок; 2 – пробуренные шпуров с НРС; 3 – боковые шпуров с НРС и установленными металлическими дугообразными пластинами

Рисунок 7 – Способ отделения монолитов от массива с использованием нового состава НРС

Расстояние между шпурами определяется по формуле (1).

В боковых шпурах – 3 формируют конструкцию концентратора напряжений, состоящего из двух дугообразных металлических пластин высотой дуги равной $\frac{1}{2}$ радиуса шпура и дугой, которые направлены друг к другу в местах предполагаемой плоскости раскола между соседними шпурами, пространство между шпурами и сферой дуги заполняют забоечным материалом, а пространство между вершинами дуг и все остальные шпуров полностью заполняют НРС (рис. 8).

Для отделения монолитов от горного массива и для их раскалывания на соответствующие блоки рекомендуется НРС по вышеприведенной технологии.



3 – боковой шпур; 4 – металлическая дугообразная пластина; 5 – невзрывчатая разрушающая смесь; 6 – забоечный материал

Рисунок 8 – Конструкция бокового шпура с металлическими пластинами дугообразной формы

Сдвигение блока монолита в выработанное пространство карьера происходит под воздействием высокого давления саморасширения, исключая произвольный выброс смеси. Таким образом, исключаются затраты на дополнительные работы по стропиловке и повышается безопасность ведения горных работ.

В соответствии с разработанной «Методикой промышленного испытания и проверки эффективности нового состава невзрывчатой разрушающей смеси с использованием компонентов из местного сырья» проведены опытно-промышленные испытания предлагаемого состава и способа получения НРС в Нуратинском месторождении мрамора Навоийской области.

Согласно разработанному способу в монолитном блоке бурились шпуры диаметром 43 мм перфоратором марки ПР-24 под прямым углом и таким образом добычной уступ формировали под углом 90° для получения блоков монолитов высотой от 1,5 до 3 м правильной формы и дальнейшего их использования.

При высоте монолита 1,7 м глубина шпуров составляла 1,5 м, расстояние между шпурами 25 см.

В пробуренные шпуры закладывали разработанный новый состав НРС. В результате опытно-промышленного испытания нового состава НРС установлено, что она безопасна при хранении, транспортировке и применении. Способ отделения монолитов от массива с использованием нового состава НРС по сравнению с буровзрывным способом позволяет снизить трудоемкость выполняемых работ, обеспечивает защиту окружающей среды, снижает себестоимость добычи и энергоемкость горных работ, а также повышает безопасность их ведения.

Таким образом, выполненные теоретические и экспериментальные исследования по разработке нового состава НРС, практическая реализация их

результатов на мраморных карьерах позволили внести существенный вклад в решение актуальной научной задачи по обоснованию и разработке статического метода разрушения горных пород с использованием НРС из местного сырья для использования на объектах открытых горных разработок.

Выводы.

1. Разработана математическая модель расположения шпуров при использовании НРС, позволяющая получить сплошную линию трещин и ровный отрыв горных пород от массива.

2. Разработана формула и установлены зависимости изменения эффективного расстояния между контурными шпурами при использовании НРС от диаметра шпура, сжимающего напряжения, вызванного действием НРС у стенки шпура, коэффициента Пуассона, предела прочности породы при растяжении и дополнительного напряжения, необходимого для перемещения стенок блока на некоторую величину и ее раскрытия.

3. Проведена выборка оптимальных вариантов различных рецептур состава НРС, при которых химическая смесь может максимально расширяться и привести к разрушению различные горные породы, позволив ускорить гидратацию без дополнительного выделения тепла и обеспечить высокие давления в течение 5-8 часов после использования состава.

4. Разработан и внедрен способ получения состава НРС, включающий раздельное его приготовление в твердом ($\text{CaO} - 48$; $\text{Na}_2\text{CO}_3 - 3$; ЛСФ - 3; $\text{NaCl} - 4$) и жидком виде (жидкое мыло - 1,5; уксусная кислота - 1,2; вода - остальное) путем их смешивания до получения сметанообразной текучей массы.

5. Разработан и промышленно внедрен способ отделения монолитов от массива с использованием нового состава НРС, позволяющий беззвучно раскалывать монолитные блоки, снизить трудоемкость выполняемых работ, обеспечить защиту окружающей среды, снизить себестоимость добычи и энергоемкость горных работ, а также повысить безопасность их ведения. Экономический эффект от внедрения нового состава НРС с использованием компонентов из местного сырья за счет замены импортируемого зарубежного НРС составил 13904 сум на 1 м^3 отделяемого монолитного блока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zairov Sh., Ravshanova M., Karimov Sh. Scientific and technical fundamentals for explosive destruction of the mass composed of rocks with different hardness / Mining of Mineral Deposits. National Mining University, 2017. Volume 11. Issue 2. p. 46-51. <https://doi.org/10.15407/mining11.02.046>
2. Zairov Sh., Ravshanova M., Karimov Sh. Intensification of technological processes in drilling and blasting operations during open-cut mining in Kyzylkum region / Mining of Mineral Deposits. National Mining University, 2018. Volume 12. Issue 1. p. 54-60. <https://doi.org/10.15407/mining12.01.054>
3. Сахно И.Г. Научные основы управления состоянием горных пород невзрывчатыми разрушающими смесями при подземной разработке месторождений: дисс. ... докт. техн. наук / Спец. 05.15.02. Красноармейск: ДонНТУ, 2015. 457 с.
4. Japanese Application Publication JP 57-187044, B02 C19/18. Crushing agent / Aitou Akira, Nakatani Seichi, Miwa Akira, and others. Priority JP, 1981. 71233 A.12.05.81; Published on 17.11.82.
5. Шпынова Л.Г. Исследование свойств извести / Строительные материалы. 1985. №6. С. 26-27.
6. Способ направленного формирования трещин в массиве твердой среды: А.с. 1251611 СССР, МПК E21 C37/00 / Гарцуев Е.М., Хрипко А.А., Штомпель А.И.; заявитель Стахановский филиал Коммунарского горно-металлургического института Минвуза УССР. заявл. 25.12.1984; опубл. 25.10.86.

7. ТУ21-53-22-87. Средство невзрывчатое разрушающее (НРС-1). Технические условия. Изд. Январь, 1987. М.: МПСМ СССР, 1987. 37 с.

8. Состав газовыделяющей сырьевой смеси, стержень и этой смеси и способ статического разрушения массивов или конструкций из хрупкого материала: пат. 2035421 РФ. МПК6С04В7/00, С04В38/02. / Грамовский Ю.Л., Белов Ю.А., Седов Ю.И.; заявитель Научное проектно-строительное объединение "Монолит". №5047245/33; заявл. 09.04.1992; опубл. 20.05.1995, Бюл. №7. 8 с.

9. Невзрывчатый разрушающий материал быстрого воздействия: пат. 93058105 РФ. МПК6 Е21С37/00, С04В7/34. / Грамовский Ю.Л., Захаров В.М., Кузнецов Е.А. заявители Грамовский Ю.Л., Захаров В.М., Кузнецов Е.А. №93058105/03; заявл. 30.12.1993; опубл. 20.10.1996.

10. Способ разрушения хрупких материалов: пат. 246982 ГДР, МКИ С04 В7/34. / Eckler H.O., Bergholt W., Peneyal M., Korth D.; заявитель Banakademie der DDR. №2854807; заявл. 27.12.85; опубл. 24.06.87.

11. Rios Varguer Joine. Практическое применение расширяющихся цементов для дробления и выемки пород/ Joine Varguer Rios / Rocas y minerales. 1983. 12 (№143). P. 20-21, 24-26.

12. ТУ У В.2.7-26.5-24478901-004:2007. Невибухова руйнуюча речовина: технічні умови [На заміну ТУ У БВ2.7.00030937.089397]. Без обмеження терміну дії. – Харьков: Госстандарт. Харьк. центр стандартизації та аерології, 2007. – 14 с.

13. Невибухова руйнівна речовина НРР-80: пат. 59940 Украина, МПК51 С04 В 7/00. / Грибко В.Ф.; Щерблікін С.В., Палей А.В.; заявитель Грибко В.Ф. – №2002129862 ; заявл. 09.12.02 ; опубл. 15.07.05 , Бюл. №7. – 6 с. : ил.

REFERENCES

1. Zairov Sh., Ravshanova M., Karimov Sh. Scientific and technical fundamentals for explosive destruction of the mass composed of rocks with different hardness / Mining of Mineral Deposits. National Mining University, 2017. Volume 11. Issue 2. p. 46-51. <https://doi.org/10.15407/mining11.02.046>

2. Zairov Sh., Ravshanova M., Karimov Sh. Intensification of technological processes in drilling and blasting operations during open-cut mining in Kyzylkum region / Mining of Mineral Deposits. National Mining University, 2018. Volume 12. Issue 1. p. 54-60. <https://doi.org/10.15407/mining12.01.054>

3. Sakhno, I.G. (2015), "Scientific bases of management of the state of rocks by non-explosive destructive mixtures in the underground development of deposits", D. Sc. Thesis, underground mining, DonNTU, Krasnoarmeysk, Ukraine.

4. Japanese Application Publication JP 57-187044, B02 C19/18: *Crushing agent*, Aitou Akira, Seiichi Nakatani, Akira Miwa, Isao Yagi, Isogai Jiyun; Denki Kagaku Kogyo Kk., Priority JP (1981), 71233 A. 12.05.81; Published on 17.11.82.

5. Shpynova, L.G. (1985), "A Study of the properties of lime", *Construction materials*, no. 6. pp. 26-27.

6. Gartsuev, E. M., Khripko, A. A., Shtompel, A. I., Stakhanov branch of the Kommunar Mining and Metallurgical Institute of the Ministry of Higher Education of the Ukrainian SSR (1984), *Sposob napravlennogo formirovaniya treshchin v massive tverdoy sredy* [Method of directional formation of cracks in the solid medium array], State Register of Patents of the USSR, Moscow, USSR, A.S. № 1251611.

7. MPSM of the USSR (1987), *TU21-53-22-87: Sredstvo nevzryvchatoe razrushayushchee (NRS-1). Tekhnicheskie usloviya* [TU21-53-22-87: Non-explosive destructive agent (LDC-1). Technical specifications], MPSM of the USSR, Moscow, USSR.

8. Grabowski, Y. L., Belov, Y. A., Sedov, Y. I., Scientific design and construction Association "Monolith" (1992), *Sostav gazovydel'yayushchey smesi, sterzhen etoy smesi i sposob statisticheskogo razrusheniya massiv ili konstruksiy iz khupkogo materiala* [Hasovitsa composition of the raw mix, and the core of this mixture and method static fracture arrays or structures made of brittle material], State Register of Patents of the Russia, Moscow, Russia, Pat. No. 5047245/33.

9. Grabowski, Y. L., Zakharov, V. M., Kuznetsov, E. A. (1993), *Nevzryvnoy razrushayushchiy material bystrogo vozdeistviya* [Non-explosive destructive material quick impact], State Register of Patents of the Russia, Moscow, Russia, Pat. No. 93058105/03.

10. Eckler, H. O., Bergholt, W., Peneyal, M., Korth, D., Banakademie der DDR. Method of fracture of brittle materials, State Register of Patents of the DDR, Pt. No 246982.

11. Rios, J.V. (1983), "Practical application of expanding cements for crushing and dredging rocks", *Rocas y minerals*, vol. 12 (№143), pp. 20-21, 24-26.

12. Center for Standardization and Aerology (2007), TU U V. 2. 7-26. 5-24478901-004:2007: *Nevybukhova ruinyuyucha rehovyna: tekhnichni umovy* [TU U V. 2. 7-26. 5-24478901-004:2007: Non-explosive destructive substance: technical conditions]. State Standard, Kharkiv, Ukraine.

13. Gribko, V.F.; Shcherblikin, S.V., Paley, A.V. (2002), *Nevybukhova ruynivna rehovyna NRR-80* [Non-explosive destructive substance NDS-80], State Register of Patents of the Ukraine, Pat. № 59940.

Об авторах

Заиров Шерзод Шарипович, доктор технических наук, профессор кафедры горного дела Навоийского государственного горного института, Навои, Узбекистан, she-z@mail.ru

Равшанова Мухаббат Хусниддиновна, магистр, старший преподаватель кафедры горного дела Навоийского государственного горного института, Навои, Узбекистан, she-z@mail.ru

Тагаев Илхом Ахорович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры химической технологии Навоийского государственного горного института, Навои, Узбекистан, she-z@mail.ru

Худойбердиев Ойбек Жумаевич, магистр, старший преподаватель кафедры высшей математики и информационных технологий Навоийского государственного горного института, Навои, Узбекистан, she-z@mail.ru

About the authors

Zairov Sherzod Sharipovich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor of the Mining Department of the Navoi State Mining Institute, Navoi, Uzbekistan, sher-z@mail.ru

Ravshanova Mukhabbat Khusniddinovna, Master of Science (M.Sc.), Senior Lecturer of the Mining Department of the Navoi State Mining Institute, Navoi, Uzbekistan, sher-z@mail.ru

Tagaiev Ilkhom Akhrorovich, Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D), Associate Professor of the Chemical Technology Department of the Navoi State Mining Institute, Navoi, Uzbekistan, sher-z@mail.ru

Khudoyberdiev Oybek Zhumaevich, Master of Science (M.Sc.), Senior Lecturer of the Higher Mathematics and Information Technologies Department of the Navoi state mining Institute, Navoi, Uzbekistan, sher-z@mail.ru

Анотація. В статті розроблена математична модель розташування шпурів при використанні невибухової руйнівної суміші (НРС), що сприяє формуванню суцільної лінії тріщин і рівному відриву гірських порід в масиві. Встановлені залежності зміни ефективної відстані між контурними шпурами від їх діаметра, напруги, що стискає, у стінки шпуру, коефіцієнта Пуассона, межі міцності породи при розтягуванні і додаткової напруги, спрямованої на переміщення стінок блоку і їх розкриття при використанні НРС.

Проведено серію дослідів з пошуку оптимальної рецептури складу НРС, яка дозволила б прискорити процес гідратації без додаткового виділення тепла і забезпечити високий тиск протягом 5-8 годин після використання суміші. Оптимізовані варіанти хімічної суміші, що максимально розширює і руйнує гірські породи. На зразках з різних матеріалів (скляні пляшечки, гіпс, цегла, мармур) проведено понад 200 експериментів з розриву. На підставі отриманих результатів розроблено спосіб отримання складу НРС з використанням компонентів з місцевої сировини, безпечної при зберіганні, транспортуванні і застосуванні, що створює високий внутрішній тиск в шпурах, сприяючи статичному руйнуванню і розриву гірських порід.

Також розроблено спосіб відділення монолітів від масиву з використанням нового складу НРС. Застосування запропонованого способу дозволяє здійснити зрушення блоку моноліту у вироблений простір кар'єру під впливом високого тиску саморозширення, виключаючи мимовільний викид суміші.

Дослідно-промислові випробування запропонованого складу і способу отримання НРС проведені в Нуратінському родовищі мармуру Навойської області. Спосіб відділення монолітів від масиву з використанням нового складу НРС в порівнянні з буропідривним способом дозволяє знизити трудомісткість виконуваних робіт, забезпечує захист навколишнього середовища, знижує собівартість видобутку і енергоємність гірничих робіт, а також підвищує безпеку їх ведення.

Ключові слова: математична модель розташування шпурів, невибухова руйнівна суміш, формування суцільної лінії тріщин, високий внутрішній тиск в шпурах.

Abstract. The authors developed a mathematical model of the location of boreholes when using a non-explosive destructive mixture (NDM), which contributes to the formation of a continuous line of cracks and the smooth separation of rocks in the massif. The dependences of the change in the effective distance between contour holes on their diameter, compressive stress at the hole wall, Poisson's ratio, the tensile strength of the rock, and the additional stress directed at moving the block walls and opening them when using the NDM are established.

A series of experiments on finding an optimum compounding of structure of NDM which would allow to accelerate process of hydration without additional heat release and to provide high pressure during 5-8 h after use of structure was carried out. Variants of the chemical mixture that maximizes the expansion and destruction of rocks were optimized.

More than 200 experiments on rupture of samples of various materials (glass bubbles, plaster, brick, marble) were conducted. On the basis of the received results, a method was developed for formulating composition of NDM with using components from local raw materials, which is safe for storage, transportation and use, creates high internal pressure in the holes and contributes to static destruction and rupture of rocks.

The method for separating monoliths from the massif with use of new composition of the NDM is also developed. Implementation of the proposed method allows to displace a block of monolith into the goaf of the pit under the influence of high pressure of self-expansion with no spontaneous outburst of mixture.

Experimental-industrial tests of the proposed composition and method of the NDM production were carried out in the Nuratinsky marble deposit of the Navoi region. As compared with the drilling and blasting method, method of separation of monoliths from massif by using the new composition of NDM makes it possible to reduce labour intensity of performed works, provides protection of environment, reduces cost of production and energy intensity of mining works, as well as increases safety of their execution

Keywords: mathematical model of the location of holes, non-explosive destructive mixture, formation of continuous line of cracks, high internal pressure in the holes.