

УДК 622.235

Реготунов Андрей Сергеевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
620075 г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58;
e-mail: pochta8400@inbox.ru

Меньшиков Павел Владимирович

научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
e-mail: menshikovpv@mail.ru

Жариков Сергей Николаевич

кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
заведующий лабораторией,
Институт горного дела УрО РАН,
e-mail: 333vista@mail.ru

Кутуев Вячеслав Александрович

научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
e-mail: 9634447996@mail.ru

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ
РЕШЕНИЯ ДЛЯ АДАПТАЦИИ
ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВНОГО
РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД
НА КАРЬЕРАХ***

Аннотация:

Представлены современные технические решения, принятые за прошедшие 15 – 20 лет на карьерах России для адаптации параметров взрывных работ к новым условиям, повышающие эффективность и безопасность их ведения. Технические решения заключаются в производимых изменениях системы инициирования, конструкции заряда ВВ, порядка инициирования, способа коммутации взрывной сети, рецептуры ВВ, ассортимента ВВ, ВМ, в применении специальной технологии взрывных работ. Представлены результаты экспертной оценки комплексного влияния современных технических решений на адаптацию параметров взрывной подготовки массива горных пород к новым условиям. Сделан вывод о наиболее важных технических решениях, обеспечивающих совокупное повышение показателей эффективности, промышленной безопасности, горного оборудования и инфраструктуры, а также качества продукции. Также установлены наиболее значимые параметры, учитываемые при выборе технических решений для адаптации параметров взрывного разрушения массивов горных пород при разработке карьеров. Определены перспективные направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: разрушение горных пород, взрывные работы, карьер, адаптация параметров взрывных работ, технические решения, горнотехнические условия.

DOI: 10.25635/2313-1586.2022.03.114

Regotunov Andrey S.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: pochta8400@inbox.ru

Menshikov Pavel V.

Researcher,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: menshikovpv@mail.ru

Zharikov Sergey N.

Candidate of Technical Sciences,
Leading Researcher,
Head of laboratory,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: 333vista@mail.ru

Kutuev Vyacheslav A.

Researcher, Institute of Mining,
Ural Branch of RAS
e-mail: 9634447996@mail.ru

**MODERN TECHNICAL SOLUTIONS
FOR PARAMETERS' ADAPTATION
DURING EXPLOSIVE DESTRUCTION
OF ROCKS IN QUARRIES**

Abstract:

The article presents modern technical solutions applied over the past 15-20 years at the quarries of Russia to adapt the parameters of blasting operations to new conditions, to increase the efficiency and safety of their implementation. Technical solutions consist in the changes made to the initiation system, the design of the explosive charge, the order of initiation, the method of switching the explosive network, the formulation of explosives, the assortment of explosives, and the management of special technology of blasting. The paper presents the results of an expert assessment of the complex influence of modern technical solutions on the adaptation of the parameters of explosive preparation of a rock mass to new conditions. We made the conclusion about the most important technical solutions that provide a cumulative increase in efficiency indicators, industrial safety of personnel, mining equipment and infrastructure, as well as product quality. We also established the most significant parameters to take into account when choosing technical solutions for adapting the parameters of explosive destruction of rock massifs during the development of quarries. Promising areas of further research have been identified.

Key words: destruction of rocks, blasting, quarry, adaptation of blasting parameters, technical solutions, mining and technical conditions.

* Обобщены ранее проведенные исследования, финансируемые в рамках Госзадания №075-00581-19-00, тема № 0405-2019-0005 (2019-2021) для целей выполнения Госзадания №075-00412-22 ПП, темы 1 (2022-2024); (FUWE-2022-0005), рег. №1021062010531-8-1.5.1.

Введение

Горнодобывающее предприятие постоянно развивается в изменяющихся условиях внешней и внутренней среды. С увеличением глубины разработки изменяется структура и свойства массива горных пород, возрастает обводненность горных пород, изменяются элементы системы разработки, изменяется напряженное состояние прибортового массива, устойчивость бортов карьера. Все выше обозначенное создает условия для повышения затрат на взрывную подготовку скальной горной массы к выемке. В связи с этим появляются дополнительные требования к взрывным работам, такие как снижение сейсмического воздействия взрыва на законтурный массив, обеспечение компактного развала и заданного качества дробления, корректировка составов взрывчатых веществ (ВВ), конструкций зарядов и схем инициирования, учитывающих всю сложность изменяющихся условий с понижением горных работ.

Классификация технических решений для адаптации параметров взрывных работ

В процессе анализа результатов, полученных сотрудниками лаборатории разрушения горных пород ИГД УрО РАН и исследований, выполненных другими специалистами предприятий горного профиля, определены основные виды современных технических решений для адаптации взрывных работ к меняющимся условиям, внедренные в течение последних 15 – 20 лет на горных предприятиях с открытым способом разработки месторождений (табл. 1).

Таблица 1

Технические решения для адаптации параметров взрывного разрушения к меняющимся условиям

Группа	Техническое решение	Разновидность технического решения	Результат внедрения на предприятиях	Горное предприятие
1	2	3	4	5
I	Изменение системы инициирования	* Переход на применение неэлектрической системы инициирования (НСИ) взамен детонирующего шнура (ДШ) [1, 2].	Повышение безопасности и снижение воздействия УВВ.	АО «ЕВРАЗ «Качканарский ГОК», ПАО Ураласбест
		* Переход со взрывания НСИ к использованию системы электронного взрывания (СЭВ) [3 – 5].	Существенное снижение сейсмического воздействия на законтурный массив и на охраняемые объекты. Повышение качества дробления г.п. Повышение точности соблюдения замедления для каждого детонатора.	
II	Изменение конструкции заряда	* Переход от сплошных зарядов ВВ на рассредоточенную конструкцию заряда ВВ [6 – 9].	Снижение общей массы ЭВВ при неизменном качестве дробления горной массы. Снижение затрат на приобретение аммиачной селитры, газогенерирующей добавки (ГГД), других компонентов для изготовления ЭВВ.	ООО «Промтехвзрыв», АО «Кыштымский ГОК»

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
III	Изменение порядка инициирования	* Переход от взрывания нескольких (групповых) зарядов ВВ на взрывание единичных зарядов ВВ на одну ступень замедления [10].	Повышение качества дробления горной массы и снижение сейсмического воздействия на законтурный массив выработки и на охраняемые объекты, расположенные в непосредственной близости от производства взрывных работ.	ЗАО «Золото Северного Урала», ЗАО Сырцевая компания (Шахтау), ПАО «Комбинат Магnezит», АО «Кыштымский ГОК» и другие горные предприятия
		* Переход на уменьшение одновременно взрываваемой массы зарядов ВВ в одной ступени замедления [11].		
		* Переход от фронтального расположения взрываваемых блоков и направления инициирования в сторону к охраняемым объектам на отработку карьера блоками (заходками) и начало инициирования от охраняемых объектов, с фланговым ориентированием блоков к охраняемым объектам [12].	Снижение сейсмического воздействия на законтурный массив и на охраняемые объекты.	ООО «Промтехвзрыв» (ОАО Ураласбест), Шарташский карьер (ООО «Уралвзрывпром», г. Екатеринбург), ООО «АВТ-Урал» (АО «ЕВРАЗ «Качканарский ГОК»)
		* Переход на встречное инициирование скважинных зарядов вместо обратного инициирования при взрывании на высоких уступах [13, 14].	Повышение качества дробления горной массы. Снижение сейсмического воздействия на законтурный массив и на охраняемые объекты.	ООО «Промтехвзрыв» (ОАО Ураласбест), Шарташский карьер (ООО «Уралвзрывпром», г. Екатеринбург), ООО «АВТ-Урал» (АО «ЕВРАЗ «Качканарский ГОК»)
IV	Изменение способа коммутации взрывной сети	** Переход на скрепление волноводов и капсуль-детонаторов неэлектрической системы инициирования с помощью специальных пластиковых зажимов [15].	Сокращение времени операций на монтаж взрывной сети. Повысилась мобильность использования неэлектрической системы инициирования.	Почти на всех горных предприятиях, где при взрывных работах применяется НСИ.
V	Применение специальной технологии взрывных работ	** Переход на ведение взрывных работ под предохранительными укрытиями-локализаторами [16].	Практически полное отсутствие разлета кусков горной массы. Частичное снижение воздействия ударно-воздушной волны (УВВ) на охраняемые объекты.	ПАО «Комбинат Магnezит»
		* Переход на высоту уступа с 6 до 4 м [17, 18].	Уменьшается масса ВВ в скважине. Уменьшается количество скважин в блоке. Уменьшается одновременно взрываваемая и общая масса ВВ.	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
			Снижается сейсмическое воздействие на законтурный массив и на охраняемые объекты. Уменьшается разлет кусков взорванной горной массы.	
		* Переход на специальную технологию заоткосных работ и пересмотр параметров взрыва [19, 20].	Снижается сейсмическое воздействие на законтурный массив.	
VI	Изменение рецептуры ВВ	** Переход на изготовление специальных составов эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) с добавкой карбамида (мочевины) 15 % для снижения чувствительности к воздействию при взрывании пород, содержащих реактивные сульфиды [21, 22].	Значительно повышена безопасность ведения взрывных работ в породах, содержащих реактивные сульфиды, при неизменном качестве дробления горной массы и снижение отказов.	ООО «ОРИКА-УГМК» (Гайский ГОК)
		** Изготовление ЭВВ с добавкой газовых или полимерных микросфер в составе ЭВВ вместо газогенерирующей добавки (ГГД) [23 – 26].	Повышение качества изготовления и улучшения других детонационных характеристик.	АО «ГосНИИ «Кристалл», ОАО «Калиновский химзавод», НАО «НИПИГОР-МАШ»
			Стабилизация детонации.	
			Уменьшение критического диаметра заряда.	
			Снижение вероятности отказов на малых диаметрах зарядов ВВ.	
Высокая стоимость микросфер.				
** Применение ЭВВ Порэммит-1А с добавкой сульфаминовой кислоты для регулирования рН среды [27, 28].	Снижается количество вредных продуктов взрыва.	ООО «Промтехвзрыв»		
** Применение ЭВВ Порэммит-1А с добавкой соли NaCl или KCl до 4,5 – 5,5 % в составе для регулирования рН среды [29 – 31].	Существенно изменяются показатели стабильности – электроемкость, температура кристаллизации раствора окислителей.	ООО «Промтехвзрыв»		
Требуется постоянный контроль плотности эмульсии и всей смеси ЭВВ.				
Возможна неполная детонация скважинных зарядов вплоть до возникновения отказов.				

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
VII	Изменение ассортимента ВВ, ВМ	* Переход на использование водосодержащих ЭВВ вместо тротилосодержащих [32, 33].	Снижение отказов.	ООО «ОРИКА-УГМК» (Гайский ГОК)
		** Переход на использование промежуточных детонаторов (ПД) с массой более 400 г для инициирования скважинных зарядов [34, 35].	Сокращение времени заряжания скважин на взрываемом блоке и других технологических операций.	
		** Применение патронированного эмульсионного ВВ «Эмульсолит» в полиэтиленовой оболочке при зарядании скважинных зарядов [27, 36, 37].	Возможность использования ЭВВ с заданными детонационными характеристиками (плотность, ГГД, химический состав).	ЗАО «Золото Северного Урала»
			Отказ от необходимости использования смешительно-зарядной машины (СЗМ) для зарядания скважин.	
Повышение скорости детонации.				

Примечание:

* – Технические решения оказывают влияние на параметры смежных технологических процессов (емкость ковша экскаватора, объем кузова транспортного средства, мощность дробилки).

** – Технические решения не оказывают влияния на параметры смежных технологических процессов.

Метод оценки технических решений

Для оценки относительной важности технических решений применен метод экспертных оценок, предполагающий сбор и анализ мнений специалистов, выявленных по их публикациям. Мнения специалистов переведены в количественную форму – единицей указано изменение показателя, ноль показывает отсутствие изменения показателя при данном техническом решении. Это позволило обработать полученную информацию методами математической статистики. В табл. 2 приведены параметры, учитываемые при оценке технических решений при осуществлении технологических изменений на карьерах России при адаптации параметров взрывных работ к меняющимся условиям.

Для каждого технического решения определялся показатель относительного влияния на выбранные параметры P_i :

$$P_i = (\sum_{i=1}^k T) / N. \quad (1)$$

Далее рассчитывался нормированный показатель влияния $P_{ин}$:

$$P_{ин} = P_i / \sum_{i=1}^k P_i, \quad (2)$$

где $\sum_{i=1}^k T$ – количество показателей, изменяющихся в лучшую сторону при данном техническом решении; N – общее количество оцениваемых параметров.

Для оценки относительной важности каждого параметра S_i из всей совокупности оцениваемых при выборе того или иного технического решения производилось суммирование баллов («по вертикали»), присвоенных по каждому конкретному техническому решению для определенного наименования параметра.

Далее сумма баллов, полученная по каждому параметру, делилась на общее количество рассматриваемых технических решений. Полученные значения S_i по каждому параметру суммировались («по горизонтали») с целью определения нормированной относительной важности $S_{ин}$ согласно выражению

$$S_{ин} = S_i / \sum_{i=1}^{n=k} S_i, \quad (3)$$

где S_i – значение относительной важности параметра, то есть отношение суммы технических решений, в каждом из которых учитывается рассматриваемый параметр, отнесенный к общему количеству технических решений; $\sum_{i=1}^{n=k} S_i$ – суммарное значение относительной важности в баллах по каждому параметру. По нормированной относительной важности определялась значимость каждого оцениваемого параметра при выборе технического решения.

Таблица 2

Результаты оценки технических решений для адаптации параметров взрывного разрушения

Техническое решение	Оцениваемый показатель										P_i	Нормированный относительный показатель влияния $P_{ин}$
	Производительность			Эффективность		Безопасность				Качество взорванной горной массы		
	Мощность оборудования	Квалификация персонала	Организация процесса	Заплаты, материалы	Время процесса, мин	Персонал	Окружающая среда	Оборудование	Инфраструктура			
Изменение системы инициирования	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0,6	0,157
Изменение конструкции заряда	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0,7	0,183
Изменение порядка инициирования	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0,5	0,132
Изменение коммутации	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0,5	0,132
Изменение ассортимента ВВ и ВМ	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0,5	0,132
Применение специальной технологии взрывных работ	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0,5	0,132
Изменение рецептуры ВВ	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0,5	0,132
											$\Sigma=3,8$	$\Sigma=1$
Относительная важность параметра S_i	0,143	0,429	0,857	0,571	0,429	0,571	0,429	0,286	0,857	0,857	$\Sigma=5,43$	
Нормированное значение относительной важности параметра $S_{ин}$	0,026	0,079	0,158	0,105	0,079	0,105	0,079	0,053	0,158	0,158	$\Sigma=1$	

В результате оценки установлено (рис. 1), что для адаптации параметров взрывных работ к новым условиям первостепенное значение имеют технические решения, связанные с изменениями конструкции заряда ВВ. На втором месте рассматриваются технические решения, направленные на изменение системы инициирования. На третьем месте находится комплекс технических решений, связанных с изменением порядка инициирования, коммутации, ассортимента ВВ и ВМ, рецептуры ВВ и с применением специальной технологии взрывных работ.

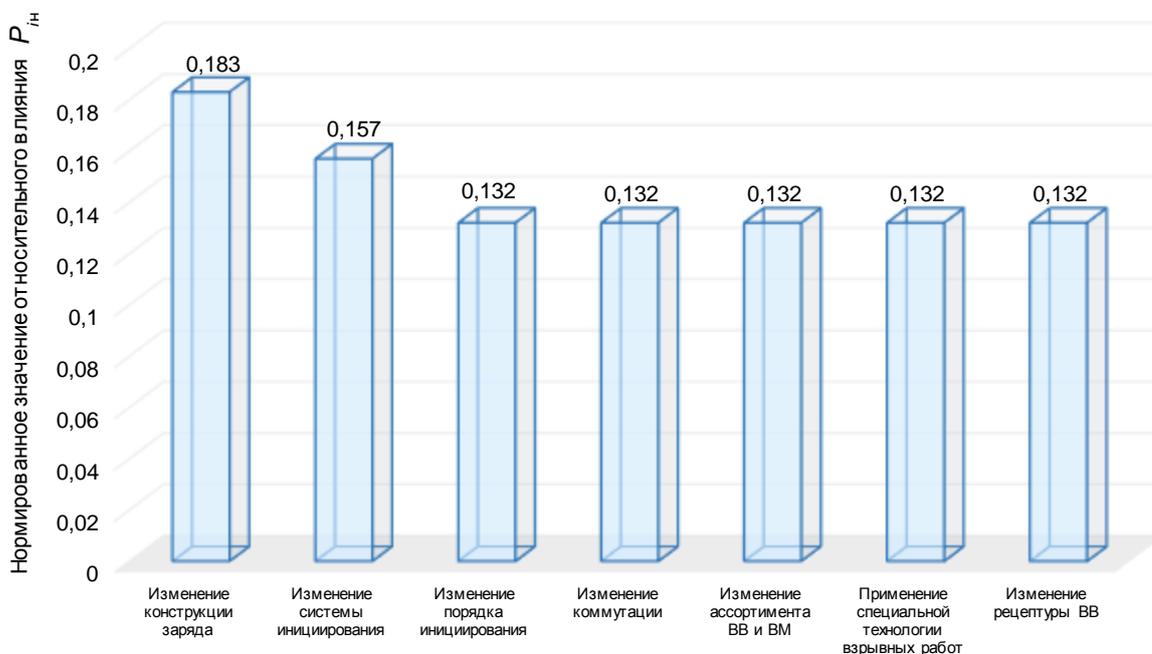


Рис. 1. Распределение показателя относительного влияния технических решений на положительное изменение параметров взрывных работ

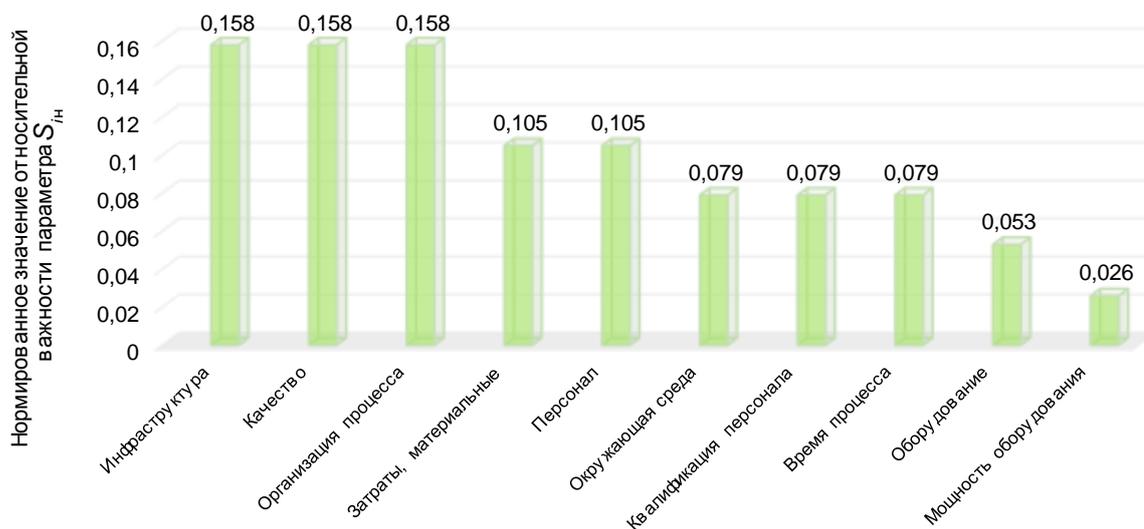


Рис. 2. Относительная важность параметров, учитываемых при выборе технических решений для адаптации взрывных работ к новым условиям

При выборе технических решений для адаптации параметров взрывных работ (рис. 2) к изменяющимся условиям, в первую очередь, оценивают их влияние на состояние безопасности инфраструктуры (зданий и сооружений вблизи карьера), качество продукции (крупность дробления взорванной горной массы), организацию процесса

подготовки взрыва. В среднем при выборе решения учитывается возможное влияние на необходимость изменения уровня квалификации персонала – материальных затрат (расход взрывчатых веществ и взрывчатых материалов), безопасности ведения работ, времени подготовки блока к взрыву. В меньшей степени уделяется внимание оценке влияния вносимых изменений на технологию взрывных работ и на возможные изменения эксплуатационных параметров применяемого оборудования (буровых и смесительных машин), а также величину потребляемой мощности горными машинами.

О перспективе дальнейших исследований

При осуществлении адаптации основным направлением дальнейших исследований должно стать изучение вопросов конструкции и инициирования зарядов ВВ [38] в зависимости от структурных особенностей массива. То есть, имея представление о структуре массива, можно наиболее рационально рассредоточить заряды таким образом, чтобы воздушный либо инертный промежуток располагался в нарушенной зоне. Это уменьшит диссипацию энергии взрыва по трещинам, скажется на увеличении турбулентности газового потока и благотворно отразится на дробящем действии взрыва. По данным о трещиноватости пород в границах выемочного блока могут быть уточнены как тип схемы инициирования, так и параметры зарядов ВВ. Основная идея заключается в том, чтобы инициирование зарядов позволяло схлопывать трещины, тем самым предупреждая потерю свойств разрушающей нагрузки на дроблении при работе взрыва по естественным нарушениям (рис. 3).

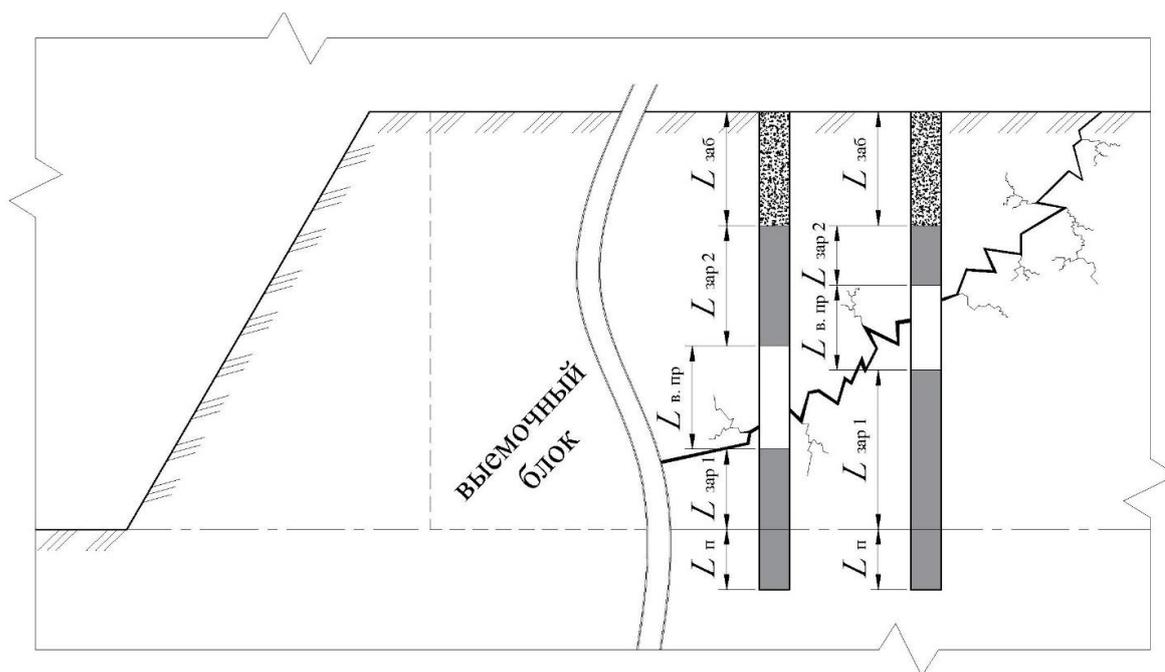


Рис. 3. Схема рассредоточения зарядов ВВ в зависимости от структурных особенностей массива:

$L_{заб}$ – длина забойки; $L_{зар}$, $L_{зар1}$ и $L_{зар2}$ – длина заряда;
 $L_{в. пр}$ – длина воздушного промежутка; $L_{п}$ – длина перебура

Вывод

В ходе исследований выявлены необходимые современные технические решения при адаптации параметров процессов взрывной подготовки горной массы к выемке к сложившимся новым горно-геологическим и другим условиям ведения работ. Дальнейшее совершенствование процессов БВР представляется в уточнении прочностных и структурных свойств массива горных пород и выработке на этой основе технических решений, позволяющих оптимизировать материальные затраты при производстве технологических взрывов. Наиболее значимыми для адаптации взрывных работ к меняю-

щимся условиям, являются технические решения, связанные с изменением порядка, средств инициирования и конструкции зарядов. Эти направления имеют значительные внутренние резервы при поиске эффективных решений развития буровзрывных работ, заслуживают внимания и продолжения дальнейших исследований в рамках Государственного задания 2022 – 2024 гг.

Список литературы

1. Флягин А.С., Меньшиков П.В., Шеменев В.Г., 2018. Анализ величин фактических интервалов замедлений неэлектрических систем инициирования. *Проблемы недропользования*, № 2, С. 70 - 74. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2018.02.070>
2. Рождественский В.Н., 2010. Определение оптимальных интервалов времени замедления при многорядном короткозамедленном взрывании. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 8, С. 96 - 103.
3. Меньшиков П.В., Сеницын В.А., Шеменев В.Г., 2016. Методика определения фактических интервалов замедлений для рациональных параметров сетки скважин с использованием системы электронного взрывания «DAVEYTRONIC». *Успехи современного естествознания*, № 3, С. 183 - 189.
4. Рябков А.Г., 2010. Промышленное применение электрических детонаторов с электронным замедлением. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № S2, С. 247 - 254.
5. Cardu M., Giraudi A., Oreste P., 2013. A review of the benefits of electronic detonators. *Revista Escola De Minas*, Vol. 66 (3), pp. 375 - 382. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672013000300016>
6. Котяшев А.А., Шеменев В.Г., 2015. Апробация технологии разрушения массивов скальных пород с применением рассредоточенных зарядов. *Горный журнал Казахстана*, № 7, С. 30 - 34.
7. Рожков А.А., 2019. Оценка влияния параметров рассредоточения скважинных зарядов на выход некондиционной фракции кварцевой руды. *Проблемы недропользования*, № 1, С. 63 - 69. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2019.01.063>
8. Матренин В.А., Мучник С.В., Гришин А.Н., 2008. Современные способы формирования и взрывания рассредоточенных скважинных зарядов. *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*, № 2. С. 117 - 123.
9. Tukhtamov I., Beisebaev N., Bazhanov B., Orynbay A. and Shampikova A., 2020. Improving the effectiveness of explosives using a dispersed air gap. *E3S Web of Conferences*, Vol. 168, No. 00017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016800017>
10. Берсенев Г.П., Сенин Л.Н., Меньшиков П.В., 2007. Взрывные работы в стесненных условиях. *Взрывное дело*, № 97/54, С. 56 - 66.
11. Kutuev V.A., 2020. Investigating the seismic impact made by the underground large-scale blast on the secure facilities of Kyshtym GOK when caving the floor pillar. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*, vol. 2, pp. 25 - 36. <https://doi.org/10.21440/05361028-2020-2-25-36>
12. Меньшиков П.В., Шеменев В.Г., Сеницын В.А., 2013. Влияние сейсмических взрывных волн на массив горных пород в оползневой зоне главного карьера ОАО «ЕВРАЗ КГОК». *Технология и безопасность взрывных работ: материалы научно-технических семинаров – 2012*. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, С. 148 - 157.
13. Корнилков М.В., Меньшиков П.В., Шеменев В.Г., Сеницын В.А., 2011. Оценка уровня сейсмического воздействия взрывных работ при встречном инициировании скважинных зарядов. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 7, С. 102 - 105.
14. Лысак Ю.А., Плотников А.Ю., Шевкун Е.Б., Лецинский А.В., 2017. Повышение сейсмической безопасности при взрывных работах. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 4, С. 283 - 292.

15. Рождественский В.Н., 2004. Опыт применения систем неэлектрического инициирования скважинных зарядов при дроблении скальных, вязких пород взрывом. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3, С. 77 - 82.
16. Меньшиков П.В., Таранжин С.С., Флягин А.С., 2019. Применение предохранительных укрытий из шин автосамосвалов при ведении взрывных работ на Карагайском карьере. *Проблемы недропользования*, № 2, С. 27 - 33. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2019.02.027>
17. Меньшиков П.В., Таранжин С.С., Флягин А.С., 2019. О возможности применения комбинированных предохранительных укрытий при проведении взрывных работ в стесненных условиях. *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*, Т. 6, № 2, С. 186 - 192. <https://doi.org/10.15372/FPVGN2019060232>
18. Эквист Б.В., 2020. Оценка сейсмического действия взрывов с неравномерным расположением зарядов. *Взрывное дело*, № 127/84, С. 135 - 146.
19. Жариков С.Н., Кутуев В.А., 2019. Результаты экспериментальных исследований динамического действия взрыва на предельном контуре карьера Джетыгаринского месторождения. *Проблемы недропользования*, № 2, С. 20 - 26. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2019.02.020>
20. Заиров Ш.Ш., Уринов Ш.Р., Номдоров Р.У., 2020. Формирование устойчивости бортов при ведении взрывных работ на карьерах Кызылкумского региона. *Горные науки и технологии*, Т. 5, № 3, С. 235 - 252. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-3-235-252>
21. Корнилков М.В., Лохни Х., Шеменев В.Г., Синицын В.А., Меньшиков П.В., 2015. Промышленные испытания эмульсионного взрывчатого вещества «фортикс». *Известия вузов. Горный журнал*, № 6, С. 40 - 44.
22. Петров Е.А., Савин П.И., 2014. Влияние мочевины на термическую стабильность аммиачно-селитренных взрывчатых веществ в сульфидных средах. *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*, № 1, С. 158 - 161.
23. Шеменев В.Г., Матухно Н.С., Флягин А.С., Леонтьева И.А., 2018. Испытания образцов пористой аммиачной селитры (ПАС) производства НАК "АЗОТ" на совместимость с эмульсией порэмита 1А. *Взрывное дело*, № 119 - 76, С. 98 - 106.
24. Горинов С.А., Маслов И.Ю., 2011. Оценка детонационных параметров эмульсионных взрывчатых веществ, сенсibilизированных пластиковыми полимикросферами. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, S3-1, С. 53 - 63.
25. Жданов Ю.В., Андержанов С.Р., Соснин В.А., Соснин А.В., 2016. Полимерные микросферы в эмульсионных взрывчатых веществах. *Вестник технологического университета*, Том 19, № 19, С. 7 - 10.
26. Горинов С.А., 2020. *Инициирование и детонация эмульсионных взрывчатых веществ*. Йошкар-Ола: ООО ИПФ «Стринг», 214 с.
27. Котяшев А.А., Маторин А.С., Шеменев В.Г., 2010. Опыт применения эмульсионных взрывчатых веществ на карьерах Урала. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 8, С. 278 - 282.
28. Djerdjev A. M., Priyananda P., Beattie J. K. et al., 2018. The mechanism of the spontaneous detonation of ammonium nitrate in reactive grounds. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 6, No. 1, pp. 281 - 288. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.12.003>
29. Кутуев В.А., Флягин А.С., Жариков С.Н., 2021. Исследование детонационных характеристик ПЭВВ НПГМ с различными исходными компонентами эмульсии при инициировании зарядов разными промежуточными детонаторами. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 3, С. 175 - 187. <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2021-3-1-169-181>

30. Меньшиков П.В., Жариков С.Н., Кутуев В.А., 2020. Исследование детонационных характеристик ЭВВ порэммит 1А. *Проблемы недропользования*, № 4, С. 32 - 41. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2020.04.032>
31. Курляк А.В., Соболев В.В., 2020. Взрывчатые и предохранительные характеристики опытного образца отечественного предохранительного ЭВВ IV класса. *Физико-технические проблемы горного производства*, № 22, С. 185 - 196. <https://doi.org/10.37101/ftpgp22.01.013>
32. Панфилов С.Ю., 2011. История создания, состояние, проблемы и перспективы развития производства и применения взрывчатых материалов в Российской Федерации. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № S10, С. 42 - 56.
33. Kramarczyk B., Pytlik M., Mertuszka P. et al., 2022. Novel Sensitizing Agent Formulation for Bulk Emulsion Explosives with Improved Energetic Parameters. *Materials*, Vol. 15, No. 900. <https://doi.org/10.3390/ma15030900>
34. Лихачев С.А., 2011. Промежуточные детонаторы для иницирования шпуровых и скважинных зарядов в подземных условиях. *Горный журнал Казахстана*, № 8, С. 29 - 32.
35. Ioannou E., Nikiforakis N., 2021. Multiphysics modeling of the initiating capability of detonators. II. Booster initiation. *Journal of Applied Physics*, Vol. 129 (2), No. 025903. <https://doi.org/10.1063/5.0031260>
36. Кутузов Б.Н., Маслов И.Ю., Брагин П.А., Большаков В.В., Семин А.С., 2011. Производство эмульсионного ВВ эмулан ПВВ-А-70 для ООО "Олёкминский рудник" на основе низкотемпературной эмульсии. *Горный журнал*, № 8, С. 91 - 93.
37. Маслов И.Ю., Сивенков В.И., Иляхин С.В., Брагин П.А., Горинов С.А., 2018. *Промышленные эмульсионные взрывчатые вещества и системы иницирования во взрывном деле*. Москва: ВНИИГеосистем, 416 с.
38. Жариков С.Н., Кутуев В.А., 2022. О закономерностях протекания детонации взрывчатых веществ. *Взрывное дело*, № 135 - 92, С. 115 - 131.

References

1. Flyagin A.S., Men'shikov P.V., Shemenyev V.G., 2018. Analiz velichin fakticheskikh intervalov zamedlenii neelektricheskikh sistem initsirovaniya [Analysis of the values of the actual deceleration intervals of non-electric initiation systems]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 2, P. 70 - 74. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2018.02.070>
2. Rozhdestvenskii V.N., 2010. Opredelenie optimal'nykh intervalov vremeni zamedleniya pri mnogoryadnom korotkozamedlennom vzryvanii [Determination of the optimal time intervals of deceleration in multi-row short-delayed detonation]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*, № 8, P. 96 - 103.
3. Men'shikov P.V., Sinitsyn V.A., Shemenyev V.G., 2016. Metodika opredeleniya fakticheskikh intervalov zamedleniya dlya ratsional'nykh parametrov setki skvazhin s ispol'zovaniem sistemy elektronnoho vzryvaniya "DAVEYTRONIC" [Method of determining the actual deceleration intervals for rational parameters of the well grid using the electronic blasting system "DAVEYTRONIC"]. *Uspekhi sovre-mennogo estestvoznaniya*, № 3, P. 183 - 189.
4. Ryabkov A.G., 2010. Promyshlennoe primenenie elektricheskikh detonatorov s elektronnyim zamedleniem [Industrial application of electric detonators with electronic deceleration]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № S2, P. 247 - 254.
5. Cardu M., Giraudi A., Oreste P., 2013. A review of the benefits of electronic detonators. *Remrevista Escola De Minas*, Vol. 66 (3), pp. 375 - 382. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672013000300016>

6. Kotyashhev A.A., Shemenev V.G., 2015. Aprobatsiya tekhnologii razrusheniya massivov skal'nykh porod s primeneniem rassredotochennykh zaryadov . [Approbation of the technology of destruction of rock massifs with the use of dispersed charges]. *Gornyi zhurnal Kazakhstana*, № 7, P. 30 - 34.
7. Rozhkov A.A., 2019. Otsenka vliyaniya parametrov rassredotocheniya skvazhinnykh zaryadov na vykhod nekonditsionnoi fraktsii kvartsevoi rudy [Influence evaluation for the parameters of the distribution of borehole charges on the outcrop of non-standard quartz ore fraction]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 1, P. 63 - 69. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2019.01.063>
8. Matrenin V.A., Muchnik S.V., Grishin A.N., 2008. Sovremennye sposoby formirovaniya i vzryvaniya rassredotochennykh skvazhinnykh zaryadov [Modern methods of formation and detonation of distributed borehole charges]. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noi promyshlennosti*, № 2. S. 117 - 123.
9. Tukhtamov I., Beisebaev N., Bazhanov B., Orynbay A. and Shampikova A., 2020. Improving the effectiveness of explosives using a dispersed air gap. *E3S Web of Conferences*, Vol. 168, No. 00017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016800017>
10. Bersenev G.P., Senin L.N., Men'shikov P.V., 2007. Vzryvnye raboty v stesennykh usloviyakh [Blasting in confined spaces]. *Vzryvnoe delo*, № 97/54, P. 56 - 66.
11. Kutuev V.A., 2020. Investigating the seismic impact made by the underground large-scale blast on the secure facilities of Kyshtym GOK when caving the floor pillar. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*, vol. 2, pp. 25 - 36. <https://doi.org/10.21440/05361028-2020-2-25-36>
12. Men'shikov P.V., Shemenev V.G., Sinitsyn V.A., 2013. Vliyanie seismicheskikh vzryvnykh voln na massiv gornykh porod v opolznevoi zone glavnogo kar'era OAO "EVRAZ KGOK" [Influence of seismic blast waves on the rock mass in the landslide zone of the main quarry of OAO EVRAZ KGOK]. *Tekhnologiya i bezopasnost' vzryvnykh rabot: materialy nauchno-tekhnicheskikh seminarov – 2012*. Ekaterinburg: IGD UrO RAN, P. 148 - 157.
13. Kornilkov M.V., Men'shikov P.V., Shemenev V.G., Sinitsyn V.A., 2011. Otsenka urovnia seismicheskogo vozdeistviia vzryvnykh rabot pri vstrechnom initsirovani skvazhinnykh zaryadov [Assessment of the seismic impact level of blasting operations with oncoming initiation of borehole charges]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*, № 7, P. 102 - 105.
14. Lysak Yu.A., Plotnikov A.Yu., Shevkun E.B., Leshchinskii A.V., 2017. Povyshenie seismicheskoi bezopasnosti pri vzryvnykh rabotakh [Improving the seismic safety during blasting operations]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 4, P. 283 - 292.
15. Rozhdestvenskii V.N., 2004. Opyt primeneniia sistem neelektricheskogo initsirovaniia skvazhinnykh zaryadov pri droblenii skal'nykh, viazkikh porod vzryvom [Experience in the use of systems for non-electric initiation of borehole charges during crushing of rocky and viscous rocks by explosion]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 3, P. 77 - 82.
16. Men'shikov P.V., Taranzhin S.S., Fliagin A.S., 2019. Primenenie predokhranitel'nykh ukrytii iz shin avtosamosvalov pri vedenii vzryvnykh rabot na Karagaiskom kar'ere [Application of safety shelters made of dump truck tires when conducting explosive operations at the Karagay quarry]. *Problemy nedropol'zovaniia*, № 2, P. 27 - 33. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2019.02.027>
17. Men'shikov P.V., Taranzhin S.S., Fliagin A.S., 2019. O vozmozhnosti primeneniia kombinirovannykh predokhranitel'nykh ukrytii pri provedenii vzryvnykh rabot v

stesnennykh usloviakh [About the possibility of using combined safety shelters during blasting operations in confined spaces]. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornykh nauk*, Vol. 6, № 2, P. 186 - 192. <https://doi.org/10.15372/FPVGN2019060232>

18. Ekvist B.V., 2020. Otsenka seismicheskogo deistviia vzryvov s neravnomernym raspolozheniem zariadov [Assessment of the seismic effect of explosions with varying arrangement of charges]. *Vzryvnoe delo*, № 127/84, P. 135 - 146.

19. Zharikov S.N., Kutuev V.A., 2019. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy dinamicheskogo deistviia vzryva na predel'nom konture kar'era Dzhetygarinskogo mestorozhdeniia . [Results of experimental studies of the dynamic effect of the explosion on the limiting contour of the Dzhetygarinsky field quarry]. *Problemy nedropol'zovaniia*, № 2, P. 20 - 26. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2019.02.020>

20. Zairov Sh.Sh., Urinov Sh.R., Nomdorov R.U., 2020. Formirovanie ustoichivosti bortov pri vedenii vzryvnykh rabot na kar'erakh Kyzylkumskogo regiona [Formation of stability of the sides during blasting operations at the quarries of the Kyzylkum region]. *Gornye nauki i tekhnologii*, Vol. 5, № 3, S. 235 - 252. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-3-235-252>

21. Kornilkov M.V., Lokhni Kh., Shemenev V.G., Sinitsyn V.A., Men'shikov P.V., 2015. Promyshlennye ispytaniya emul'sionnogo vzryvchatogo veshchestva "fortis". *Izvestiya vuzov* [Industrial tests of the emulsion explosive "fortis"]. *Gornyi zhurnal*, № 6, P. 40 - 44.

22. Petrov E.A., Savin P.I., 2014. Vliyanie mocheviny na termicheskuyu stabil'nost' ammiachno-selitrennykh vzryvchatykh veshchestv v sul'fidnykh sredakh [Influence of urea on the thermal stability of ammonium nitrate explosives in sulfide structures]. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noi promyshlennosti*, № 1, P. 158 - 161.

23. Shemenev V.G., Matukhno N.S., Flyagin A.S., Leont'eva I.A., 2018. Ispytaniya obraztsov poristoi ammiachnoi selitry (PAS) proizvodstva NAK "AZOT" na sovместimost' s emul'siei poremita 1A [Testing of samples of porous ammonium nitrate (PAN) produced by NAK "AZOT" for compatibility with poremite 1A emulsion]. *Vzryvnoe delo*, № 119 - 76, P. 98 - 106.

24. Gorinov S.A., Maslov I.Yu., 2011. Otsenka detonatsionnykh parametrov emul'sionnykh vzryvchatykh veshchestv, sensibilizirovannykh plastikovymi polimikrosferami [Assessment of detonation parameters of emulsion explosives sensitized by plastic poly-microspheres]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, S3-1, P. 53 - 63.

25. Zhdanov Yu.V., Anderzhanov S.R., Sosnin V.A., Sosnin A.V., 2016. Polimernye mikrosfery v emul'sionnykh vzryvchatykh veshchestvakh [Polymer microspheres in emulsion explosives]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, Tom 19, № 19, P. 7 - 10.

26. Gorinov S.A., 2020. Initsirovanie i detonatsiya emul'sionnykh vzryvchatykh veshchestv [Initiation and detonation of emulsion explosives]. *Ioshkar-Ola: OOO IPF "String"*, 214 p.

27. Kotyashev A.A., Matorin A.S., Shemenev V.G., 2010. Opyt primeneniya emul'sionnykh vzryvchatykh veshchestv na kar'erakh Urala [Experience in the use of emulsion explosives in the quarries of the Urals]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 8, P. 278 - 282.

28. Djerdjev A. M., Priyananda P., Beattie J. K. et al., 2018. The mechanism of the spontaneous detonation of ammonium nitrate in reactive grounds. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 6, No. 1, pp. 281 - 288. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.12.003>

29. Kutuev V.A., Flyagin A.S., Zharikov S.N., 2021. Issledovanie detonatsionnykh kharakteristik PEVV NPGM s razlichnymi iskhodnymi komponentami emul'sii pri initsirovani zaryadov raznymi promezhutochnymi detonatorami [Study of detonation characteristics of NPGM PEEMs with different initial components of the emulsion when initiating charges with different intermediate detonators.]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, № 3, P. 175 - 187. <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2021-3-1-169-181>
30. Men'shikov P.V., Zharikov S.N., Kutuev V.A., 2020. Issledovanie detonatsionnykh kharakteristik EVV poremit 1A [Study of detonation characteristics of the EEM poremit 1A]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4, P. 32 - 41. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2020.04.032>
31. Kurlyak A.V., Sobolev V.V., 2020. Vzryvchatye i predokhranitel'nye kharakteristiki opytного obraztsa otechestvennogo predokhranitel'nogo EVV IV klassa [Explosive and safety characteristics of a prototype for domestic-produced safety EEM of class IV]. *Fiziko-tehnicheskie problemy gornogo proizvodstva*, № 22, P. 185 - 196. <https://doi.org/10.37101/ftpgp22.01.013>
32. Panfilov S.Yu., 2011. Istoriya sozdaniya, sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya proizvodstva i primeneniya vzryvchatykh materialov v Rossiiskoi Federatsii [History of creation, the current state, problems and prospects of development of production and use of explosive materials in the Russian Federation]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № S10, P. 42 - 56.
33. Kramarczyk B., Pytlik M., Mertuszka P. et al., 2022. Novel Sensitizing Agent Formulation for Bulk Emulsion Explosives with Improved Energetic Parameters. *Materials*, Vol. 15, No. 900. <https://doi.org/10.3390/ma15030900>
34. Likhachev S.A., 2011. Promezhutochnye detonatory dlya initsirovaniya shpurovykh i skvazhinnykh zaryadov v podzemnykh usloviyakh [Intermediate detonators for initiating bore and hole charges in underground conditions]. *Gornyi zhurnal Kazakhstana*, № 8, P. 29 - 32.
35. Ioannou E., Nikiforakis N., 2021. Multiphysics modeling of the initiating capability of detonators. II. Booster initiation. *Journal of Applied Physics*, Vol. 129 (2), No. 025903. <https://doi.org/10.1063/5.0031260>
36. Kutuzov B.N., Maslov I.Yu., Bragin P.A., Bol'shakov V.V., Semin A.S., 2011. Proizvodstvo emul'sionnogo VV emulan PVV-A-70 dlya OOO "Olekminskii rudnik" na osnove nizkotemperaturnoi emul'sii [Production of emulsion EM emulan PVV-A-70 for OOO "Olyokminsky mine" on the basis of a low-temperature emulsion]. *Gornyi zhurnal*, № 8, P. 91 - 93.
37. Maslov I.Yu., Sivenkov V.I., Ilyakhin S.V., Bragin P.A., Gorinov S.A., 2018. Promyshlennye emul'sionnye vzryvchatye veshchestva i sistemy initsirovaniya vo vzryvnom dele [Industrial emulsion explosive materials and initiation systems in blasting work]. Moscow: VNIIGeosistem, 416 p.
38. Zharikov S.N., Kutuev V.A., 2022. O zakonomernostyakh protekaniya detonatsii vzryvchatykh veshchestv [On the regularities of the development of explosives' detonation]. *Vzryvnoe delo*, № 135 - 92, P. 115 - 131.