

УДК 622.235**ПРИМЕНЕНИЕ ПОДВЕСНЫХ СКВАЖИННЫХ ЗАТВОРОВ ПРИ
ВЕДЕНИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Самусев Е.А., горный инженер
Федотов А.А., аспирант гр. ГПа-251
Скороходов Ю.А., студент гр. ГОсз-201
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева

Введение

При ведении открытых горных работ большое внимание уделяется вопросам качества взрывной подготовки вскрышных пород к выемке, поскольку оно предопределяет уровень большинства показателей технико-экономических эффективности производства в целом. Буровзрывные работы являются одной из самых затратных статей, закладываемых в себестоимость продукции.

В настоящее время на фоне сильного экономического спада угольной промышленности в РФ по причине экономических санкций, сокращение любых издержек является приоритетной целью при планировании горных работ. В данной работе рассматриваются варианты применения сплошного и рассредоточенного скважинного заряда взрывчатых веществ при ведении взрывных работ.

1. Теория вопроса

С 1958 года в ИГД им. А.А. Скочинского проводились экспериментальные исследования, направленные на обоснование рациональной конструкции зарядов для взрывания горных пород. Результаты исследований показали, что в некоторых случаях применение рассредоточенных зарядов взрывчатых веществ, разделенных воздушными промежутками, является более целесообразным [1, 2].

Такая конструкция зарядов: позволяет снизить пиковое давление продуктов взрыва и тем самым снизить переизмельчение породы вокруг заряда; увеличить время активного воздействия взрыва на среду за счет того, что газы верхнего заряда запирают газообразные продукты нижнего заряда; при разделении заряда на части создает дополнительную интерференцию напряжений в горном массиве; приводит к более равномерному дроблению горных пород.

Рассредоточение заряда приводит к улучшению дробления вследствие увеличения зоны регулируемого дробления по сравнению со сплошным зарядом. Применение рассредоточенного заряда целесообразно только в том случае, если емкость скважины используется не полностью. Рассредоточение

скважинных зарядов буровым штыбом вместо создания воздушных промежутков не приносит такого эффекта как отмечено выше.

В работе [3] отмечается, что глубокий теоретический анализ (выполненный Ф.А. Баумом) физической сущности зарядов с воздушными промежутками показывает, что рассредоточенный воздушными промежутками заряд можно, с известным приближением, рассматривать как сплошной заряд с соответственно большей длиной и меньшей плотностью.

В работе [1, 4] также отмечено, что заряды с воздушными прослойками рассчитываются как сплошные.

2. Применяемый ассортимент ВВ и средств инициирования

Типовым проектом БВР для ведения взрывных работ на филиале «Кедровский угольный разрез» приняты следующие простейшие аммиачно-селитренные ВВ, допущенные Ростехнадзором к применению: для взрывания сухих скважин – Гранулит МК (на гладкой и пористой селитре), РПГМ-100 (РПГМ-70), РПГМ ПС марки «СХ»; для взрывания обводненных скважин – РПГМ-100 (РПГМ-70), РПГМ ПС марки «СХ».

Для инициирования применяемых промышленных взрывчатых веществ в качестве промежуточных детонаторов применяется патронированное эмульсионное взрывчатое вещество Нитронит-П марка «С», НПГМ-П-П-М и Эмулит, а также шашки-детонаторы ТЛС, П-500Л.

Для инициирования промежуточных детонаторов приняты системы неэлектрического инициирования ИСКРА (ИСКРА-С, ИСКРА-П, ИСКРА-СТАРТ), «Коршун», «Rionel», «Пульсар»; системы электронного взрывания «Нефрит», Impulse E-DET; детонирующий шнур.

3. Конструкция скважинного заряда

В настоящее время при проведении буровзрывных работ на АО «УК «Кузбассразрезуголь» «Кедровский угольный разрез» широкое применение получили сплошные заряды (рис. 3.1а). Данный выбор обоснован минимальными временными затратами на зарядку скважин ВВ и монтаж средств инициирования. Допускается применение комбинированного заряда (рис. 3.1б).

В состав простых сплошных зарядов входят взрывчатые вещества одной марки и промежуточный детонатор.

Согласно п. 179 ФНП «ПБ при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» дублирование внутрискважинной сети применяется при зарядании скважин глубиной более 15 м.

Для повышения качества (равномерности) дробления пород при взрывании уступов высотой более 15 м заряд ВВ стремятся рассредоточивать на части воздушными [5, 6] или иными инертными промежутками, т.е. применяют рассредоточенный заряд. Данное решение усложняет процесс зарядки сква-

жин и увеличивает время их зарядки. Однако, положительным эффектом является тот факт, что сокращается удельный расход ВВ при достижении требуемого качества дробления пород и формы развала взорванной горной массы.

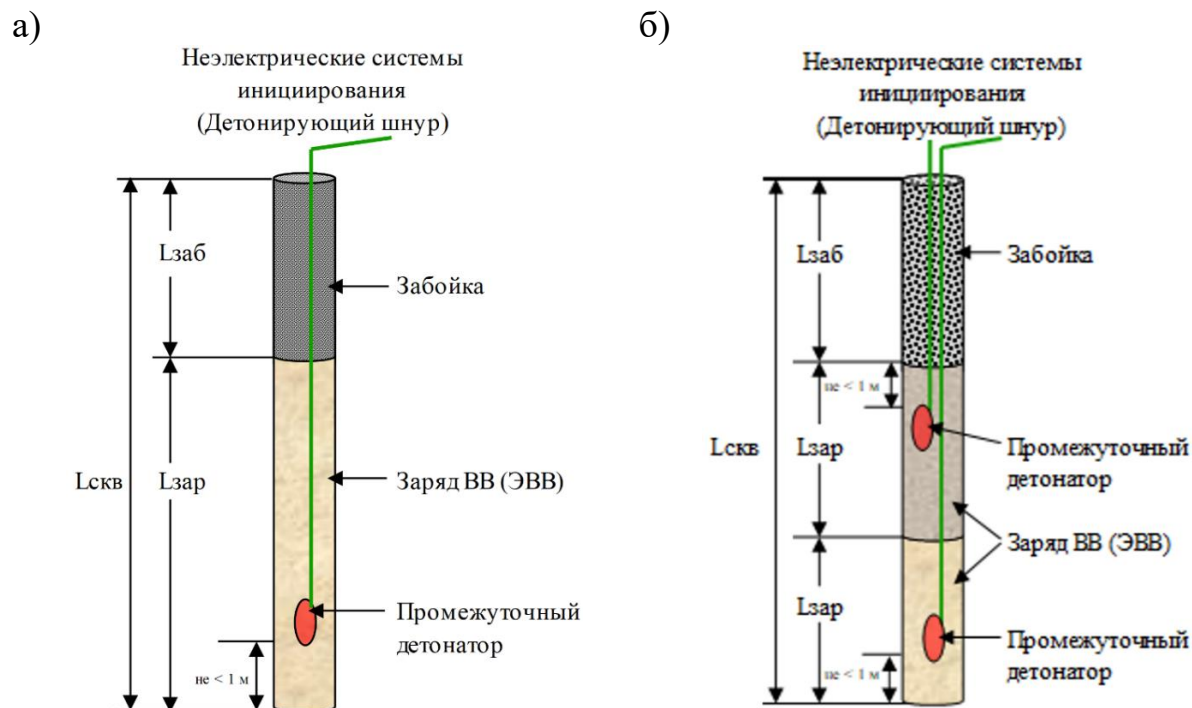


Рисунок 3.1. Конструкция заряда: а – сплошной, б - комбинированный.

Одной из важнейших задач по формированию рассредоточенного заряда является выбор метода и средств по формированию промежутка рассредоточения, от чего зависят дополнительные затраты на приобретение материалов, продолжительность времени на установку.

На основании поставленных в данной работе задачи далее производим расчет параметров буровзрывных работ для сплошного и рассредоточенного зарядов в одинаковых горно-геологических условиях и однотипном взрывчатом веществе. При этом для рассредоточения заряда принимаем утяжеленный подвесной скважинный затвор (ПдСЗ) [7], выпускаемый ООО «Инновационная фирма «ВзрывЭкология» (г. Кемерово). По результатам проведенных расчетов определим требуемое количество взрывчатых материалов, затворов и сравним итоговые затраты.

Подвесные скважинные затворы (рис. 3.2) предназначены для рассредоточения скважинных зарядов взрывчатых веществ в вертикальных и наклонных скважинах с целью снижения удельного расхода взрывчатых веществ и повышения качества дробления горной массы.

Установка подвесных затворов в скважину производится согласно инструкции по применению подвесных скважинных затворов.

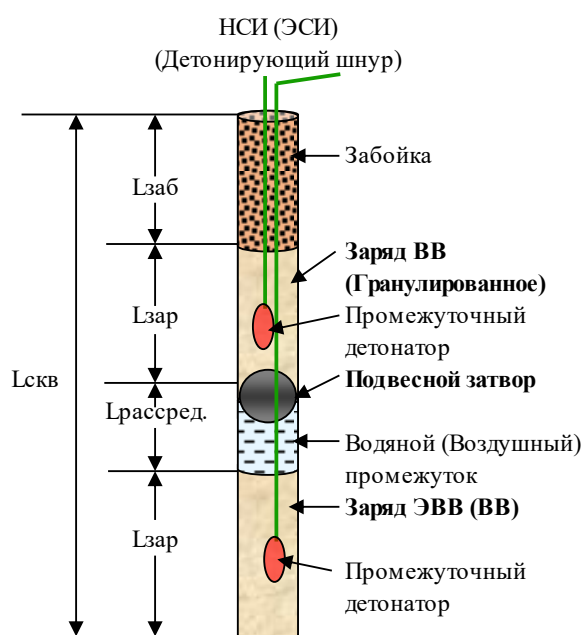


Рис. 3.2. Формирование рассредоточенного заряда с применением подвесного скважинного затвора

Подвесной скважинный затвор представляет собой полипропиленовый мешок (рис.3.3), внутри которого размещен наполнитель. Мешок посередине его длины перевязан отрезком гибкой подвески (шнура). Гибкая подвеска, служащая удерживающим элементом тела затвора, проходит внутри мешка и закреплена узлом за его нижний край. Свободный конец гибкой подвески узлом закреплен к деревянной перекладине.

Монтаж подвесного скважинного затвора производит 1 человек.

Установка подвесных скважинных затворов осуществляется следующим образом (рис. 3.3а). В нижней части скважины формируют часть нижнего заряда ВВ, затем опускают боевик 1 и окончательно формируют нижний заряд ВВ 2 необходимой длины. Далее отмеряют отрезок гибкой подвески 4 необходимой длины, согласно проектной величине глубины установки затвора в скважине. Тело затвора 3, надежным узлом привязывают к гибкой подвеске 4 и опускают на необходимую глубину установки затвора, оставляя при этом между нижней и верхней частями заряда воздушный промежуток, согласно утвержденному проекту массового взрыва.

Для удержания подвесного затвора на заданной глубине свободный конец гибкой подвески 4 привязывают к поперечной перекладине 5, которую размещают горизонтально на устье скважины. Далее на тело установленного затвора помещают небольшое количество (3-4 лопаты) буровой мелочи 1 (Рис. 3.3б). Это необходимо для распираания тела затвора в скважине в поперечном направлении, устранения возможных зазоров между стенкой скважины и телом затвора, выбирания слабины натяжения гибкой подвески. После этого на установленный затвор формируют верхний заряд 3 с установкой боевика и выполняют забойку скважины 4.

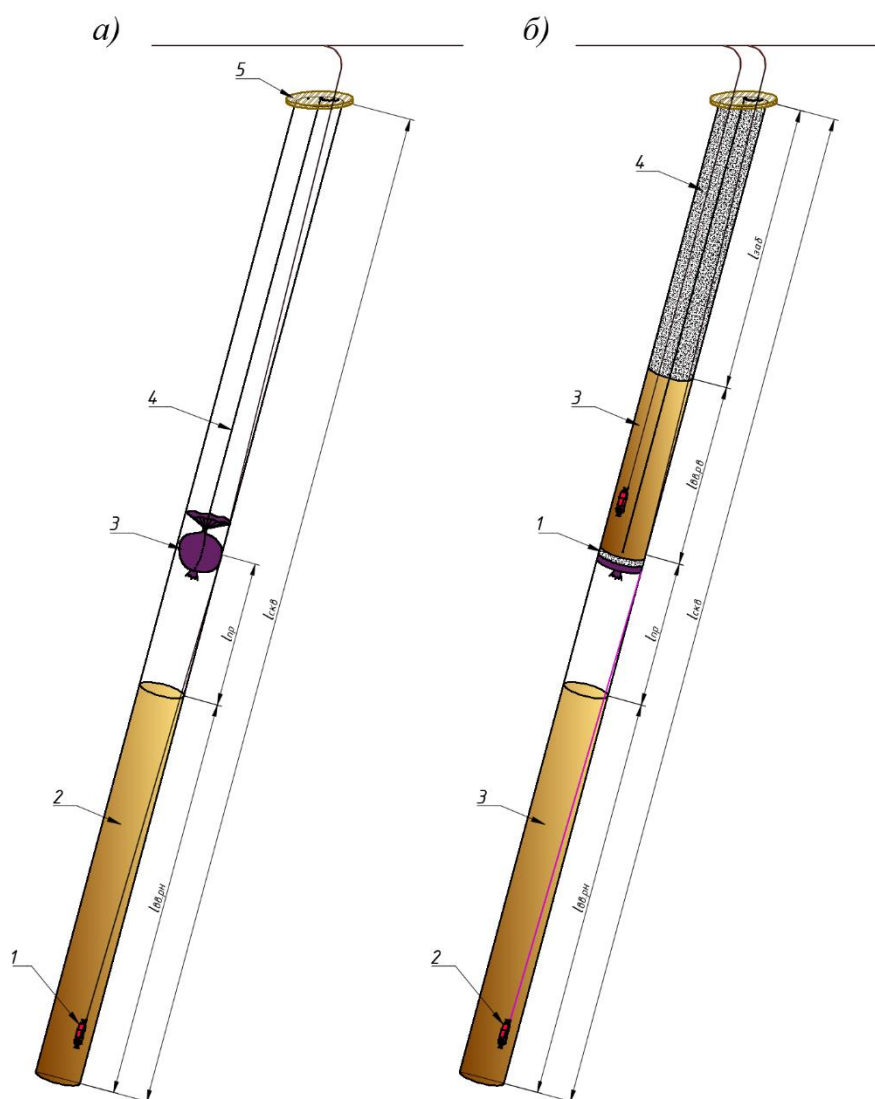


Рис. 3.3. Схема установки подвесного скважинного затвора:

а) формирование нижнего заряда ВВ и установка подвесного затвора:

1 – нижний боевик (промежуточный детонатор), 2 – нижний заряд ВВ, 3 – тело затвора, 4 – гибкая подвеска, 5 – поперечная перекладина;

б) формирование верхнего заряда ВВ: 1 – буровая мелочь, 2 – верхний боевик, 3 – верхний заряд ВВ, 4 – забойка.

4. Расчет параметров буровзрывных работ

Проведем расчет параметров БВР для взрывааемого блока со сплошными и рассредоточенными скважинными зарядами.

Расчет параметров БВР проведем методическому руководству [8] по «волковским» песчаникам: среднезернистые, однородные, удельный вес $2,7 \text{ т/м}^3$, предел прочности (вне зоны выветривания) в среднем 100 МПа.

Следует отметить, что методическое руководство [8] является актуализированной версией методики [5].

Предполагаем, что подготавливаемый блок осушен. В качестве взрывчатого вещества принимаем Гранулит НП, а для инициирования скважинных

зарядов систему неэлектрического инициирования (НСИ). Отработку развала взорванной горной массы планируем экскаватором Р&Н 2800.

Практикой взрывного дела установлено, что наиболее действенными рычагами управления качеством (степенью) взрывного дробления пород являются удельный расход ВВ и диаметр скважин. Удельный расход ВВ, от которого зависит энергия заряда, оказывает определяющее влияние на разрушающее действие взрыва и качество дробления пород. Исследование влияния технологических процессов на грансостав взорванной горной массы (ВГМ) рассмотрено в публикациях [9-13].

Исходные данные для расчета параметров БВР приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Исходные данные для расчета параметров БВР

Наименование показателей	Значение
Тип экскаватора	Р&Н 2800
Геометрическая емкость ковша, м ³	33
Диаметр скважины, м	0,229
Коэффициент крепости пород по шкале М.М. Протоdjяконова	10,0
Диаметр средней естественной отдельности, м	2,0
Высота вскрышного уступа, м	15
Угол наклона скважин к горизонту, град.	75
Тип принятого для расчета ВВ	Гранулит НП (на пористой селитре)
Плотность ВВ в скважине, кг/м ³	900
Переводной коэффициент эквивалентных зарядов	0,95

Результаты расчета параметров БВР приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Результаты расчета параметров БВР

Наименование показателей	Значение	
Высота уступа (Н), м	15	
Диаметр скважины, м	0,229	
Коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протоdjяконова	10,0	
Диаметр средней естественной отдельности, м	2,0	
Рациональная степень взрывного дробления пород	2,4	
Тип принятого для расчета ВВ	Гранулит НП	
Тип промежуточного детонатора	Эмулит-60-1,0	
Вместимость ВВ 1 м скважины, кг/м	37	
Принятое расстояние между рядами скважин (b), м	6,0	6,0
Принятое расстояние между скважинами в ряду (a), м	6,5	6,5
Длина перебура / недобура, м	1,5	1,5
Длина скважины (L _{скв}), м	17,0	17,0
Тип скважинного заряда (сплошной, рассредоточенный)	сплошной	рассред.
Длина забойки, м	4,0	3,6

Наименование показателей	Значение	
Длина воздушного промежутка, м	-	2,0
Длина заряда, м	13,0	11,4
Масса скважинного заряда (с учетом боевика: сплошной заряд – 1 боевик; рассредоточенный заряд – 2 боевика), кг	482	424
Масса верхнего заряда, кг	-	150
Масса нижнего заряда, кг	-	274
Удельный расход ВВ при принятой сетке скважин ($q_{\phi} = Q_{\text{СКВ}}/L_{\text{СКВ}} * a * b$), кг/м ³	0,73	0,64
Рабочий угол откоса уступа (α), град.	75,0	
Устойчивый угол откоса уступа (α_y), град.	60,0	
Минимально допустимое расстояние от верхней бровки уступа до ближайшей точки опоры бурстанка ($C_1 = h \times (ctg\alpha_y - ctg\alpha)$)	4,6	
Принимаемое расстояние от оси скважин до верхней бровки уступа, м ($C_1 \leq b \leq W_{\text{max}}$)	6,0	
Максимально преодолеваемая линия сопротивления по подошве уступа, м ($W_{\text{max}} = (50 - 8,5 \times d_e) \times d$)	8,9	
Количество скважин, шт.	480	
Количество рядов скважин, шт.	8	
Количество скважин в ряду, шт.	60	
Ширина взрываемого блока, м	48	
Длина взрываемого блока, м	383,5	
Фактическая ширина взрываемого блока ($Ш=48+1/2*b$), м	51	
Фактическая длина взрываемого блока ($Д=383,5+2*1/2*a$), м	390	
Объем взрываемого блока (площадь по оси скважин, с учетом перебура), тыс. м ³	≈313	
Объем взрываемого блока ($V_{\text{ВГМ}} = S \times H$)*, тыс. м ³	≈300	
Расход ВВ на взрываемый блок, кг	231 360	203 520

Примечание:

* - на многих разрезах объем взорванной горной массы считается с учетом раскрытия скважин по периметру блока $V_{\text{ВГМ}} = S \times h_{\text{ср}}$; где S-площадь блока с учетом раскрытия скважин по периметру (1/2 сетки); $h_{\text{ср}}$ - средняя глубина скважин без учета перебура.

5. Анализ затрат на проведение буровзрывной подготовки

Учитывая преимущества применения рассредоточенных зарядов ВВ, выполним расчет стоимости взрывания блока со скважинами со сплошными и рассредоточенными зарядами.

Данные по стоимости взрывчатых материалов взяты из статьи ООО «КРУ-Взрывпром» [14], а также из интернета источников (табл. 5.1).

Таблица 5.1

№ п/п	Наименование ВВ, СИ	Стоимость, руб. / количество	
1.	Подвесной скважинный затвор (ПДСЗ), руб.	440	
2.	НСИ Коршун С 1000/8 (скважинный), руб.	290	
3.	Гранулит НП, руб./кг	31,5	
4.	Боевик 1 шт., руб.	150	
5.	Объем взрываемого блока, тыс. м ³	300	
6.	Тип скважинного заряда	сплошной	рассредо- точный
7.	Расход ВВ на взрываемый блок, кг	231 360	203 520
8.	Количество скважин, шт.	480	
9.	Количество дополнительных НСИ Коршун С 1000/8 для скважин с рассредоточенным зарядом, шт.	-	480
10.	Количество дополнительных боевиков для скважин с рассредоточенным зарядом, шт.	-	480

Затраты на бурение, средства инициирования (волноводы поверхностной взрывной сети Коршун П, Коршун СТАРТ), а также услуги охраны, транспортные расходы, накладные и т.п. считаем одинаковыми для обоих блоков.

В табл. 5.2 приведено сравнение затрат на взрывание блоков со скважинами со сплошными (№ 1) и рассредоточенными зарядами (№ 2).

Таблица 5.2

Сравнение затрат на взрывание блоков со скважинами со сплошными и рассредоточенными зарядами (млн. руб.)

№ п/п	Затраты на ВВ	Дополни- тельные за- траты на СИ	Дополни- тельные за- траты на бое- вики	Затраты на ПДСЗ	Затраты на взрывание блока	+/- сплош- ного заряда к рассредото- ченному	Дополни- тельные за- траты на 1 м ³ ВГМ
1.	7,288	-	-	-	7,288	+ 0,455	1,52
2.	6,411	0,1392	0,072	0,2112	6,833	-	-

Рассчитаем экономический эффект от применения подвесных скважинных затворов.

Дополнительные затраты на 1 куб взорванной горной массы (ВГМ) при взрывании блока со сплошными скважинными зарядами составят 1,52 руб./м³.

Годовой объем коренных пород подлежащих рыхлению буровзрывным способом на разрезе «Кедровский» 24,519 млн. м³.

Таким образом при использовании подвесных скважинных затворов экономический эффект составит 37,268 млн. руб.

Вывод

Конструкция скважинного заряда с рассредоточением взрывчатого вещества воздушным промежутком приводит к улучшению дробления вследствие увеличения зоны регулируемого дробления по сравнению со сплошным зарядом [1-5].

Сравнение затрат на взрывание блоков со скважинами со сплошными и рассредоточенными зарядами показало техническую эффективность при применении рассредоточенных зарядов. При применении Гранулита количество ВВ в скважине и на блоке с рассредоточенными зарядами будет меньше, чем на блоке со сплошными скважинными зарядами, то и сейсмическое и ударно-волновое действие взрывов будет меньше [15-19].

Приведенные оценки экономического эффекта могут иметь место при проведении взрывных работ подразделением организации-недропользователя. При привлечении подрядных организаций для ведения взрывных работ экономического эффекта может и не быть из-за высокой стоимости работ у подрядных организаций за специальные работы – установку подвесных скважинных затворов.

Список использованной литературы:

1. Мельников Н.В. Энергия взрыва и конструкция заряда / Н.В. Мельников, Л.Н. Марченко // Из-во «Недра», 1964. – 139 с.
2. Марченко Л.Н. Увеличение эффективности взрыва при добычании полезных ископаемых // Из-во «Наука», 1965. – 211 с.
3. Ефремов Э.И. Взрывание с внутрискважинными замедлениями / Киев, Наукова Думка, 1971. – 171 с.
4. Самусев П.А. Определение дальности разлета отдельных кусков породы при взрывании скважинных зарядов / П.А. Самусев, А.Г. Новиньков, С.И. Протасов // Техника и технология горного дела. – 2023. – № 4(23). – С. 4-25. – DOI: 10.26730/2618-7434-2023-4-4-25.
5. Методическое руководство по выбору схем ведения взрывных работ на угольных разрезах с учетом физико-механических свойств пород и использования средств механизации» // НИИОГР, 1981. – 100 с.
6. Протасов С.И. Практикум по технологии открытой разработки месторождений полезных ископаемых: учебное пособие / С.И. Протасов, П.А. Самусев; КузГТУ. – Кемерово, 2018. - 108 с.
7. Затворы подвесные скважинные утяжеленные. Технические условия. ТУ 28.99.39-003-06042005-2017. Кемерово. – 12 с.
8. Ташкинов А.С. Методическое руководство по обоснованию рациональной степени взрывного дробления вскрышных пород разрезов Кузбасса при разработке их карьерными мехлопатами / А.С. Ташкинов, А.А. Сысоев, С.И. Протасов, И.А. Ташкинов // Кузбас. гос. техн. ун-т, 2011. – 48 с.

9. Самусев П. А. Исследование влияния технологических процессов добычи угля на его грансостав // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 1999. № 2(9). С. 50-51.

10. Бирюков А.В. Прогнозирование гранулометрического состава угля / А.В. Бирюков, С.И. Протасов, П.А. Самусев // В кн.: Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири: материалы 2-й Междунар. науч.-практ. конф., г. Кемерово, 11–14 ноября 1997 года. Кемерово: Кузбас. гос. техн. ун-т; 1997. Ч. 1. С. 165–166.

11. Бирюков А.В. Некоторые вопросы гранулометрии / А.В. Бирюков, П.А. Самусев, С.И. Протасов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 1998. № 1 (2). С. 27-28.

12. Бирюков А.В. Дисперсные системы горного дела / А.В. Бирюков, С.И. Протасов, П.А. Самусев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014. № 3 (103). С. 60-62.

13. Самусев П.А. Развитие фотолинейного метода определения гранулометрического состава угля при открытой разработке месторождений [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.15.11 / П.А. Самусев. - Кемерово, 2000. - 17 с.

14. Фадеев А.А., Заборский Е.Н., Багдасарян О.Е. Цифровые решения буровзрывной деятельности как способ повышения эффективности, безопасности ведения работ при дроблении горной массы / А.А. Фадеев, Е.Н. Заборский, О.Е. Багдасарян // Уголь. 2024;(12):99-102. DOI: 10.18796/0041 -5790-2024-12-99-102.

15. Novinkov A. G., Tashkinov A. S., Protasov S. I., Samusev P. A. Determination of Seismic Safe Distances During Mining Blasts with Consideration of a Dominant Vibration Frequency // Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety. Atlantis Press. 2016. P. 202-205.

16. Novinkov A., Protasov S., Samusev P. Ensuring Seismic Safety of Underground Mines During Blasting Operations in Combined Surface-Underground Deposit Development // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 174. Article 01016. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401016.

17. Самусев П.А. Сравнительная оценка сейсмического действия массовых взрывов при применении различных систем инициирования / П.А. Самусев, А.Г. Новиньков, С.И. Протасов, А.Н. Завьялов // Взрывное дело, 2023. - № 141/98. - С.107-133.

18. Новиньков А.Г. Обеспечение сейсмической безопасности строительных объектов при массовых промышленных взрывах с учетом предельных состояний первой группы / А.Г. Новиньков, С.И. Протасов, П.А. Самусев // Безопасность труда в промышленности. 2024. № 2. С. 48-57.

19. Новиньков А.Г. Определение сейсмобезопасных расстояний при массовых промышленных взрывах с учетом преобладающей частоты колебаний / Новиньков А.Г., Протасов С.И., Самусев П.А., Ташкинов А.С. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. № 6 (118). С. 56-62.