

УДК 622.235.11



К. С. ИЩЕНКО,
канд. техн. наук
(ИГТМ НАН Украины)



В. В. ЗБЕРОВСКИЙ,
канд. техн. наук
(ИГТМ НАН Украины)



А. Н. НИСКЕВИЧ,
инж.
(СП «Шахтоуправление
«Молодогвардейское»
ПАО «Краснодонуголь»)

Новые подходы к формированию врубовой полости

Представлены результаты экспериментальных исследований в полигонных и промышленных условиях по обоснованию рациональных параметров буровзрывных работ при формировании врубовой полости в подготовительных выработках на глубоких горизонтах шахт.

В общем комплексе строительства и реконструкции шахт значительная часть всего объема работ отводится проведению горизонтальных и наклонных горных выработок. Дальнейшее развитие подземной добычи полезных ископаемых связано с освоением все более глубоких горизонтов, поскольку усложняются горно-геологические и горнотехнические условия разработки, обусловленные возросшими статическими напряжениями в горном массиве.

Практика взрывных работ при проведении подготовительных выработок по напряженным породам (например, песчаникам) на глубоких горизонтах шахт Донбасса свидетельствует, что показатели буровзрывных работ (БВР) снизились. Так, коэффициент использования шпуров (КИШ) уменьшился на 15 – 20 %, а соответственно уменьшились объем и кучность взорванной породы, возросла дальность ее отбрасывания, увеличились удельный расход взрывчатых веществ (ВВ) и количество повреждений постоянного крепления. Решение проблем в значительной степени опре-

деляется затратами на проведение подготовительных выработок.

На современном этапе развития работ по добыче и переработке угля одно из перспективных направлений повышения эффективности управления разрушением напряженных горных пород взрывом – разработка и внедрение новых способов проведения подготовительных выработок. Основная особенность базируется на совершенствовании факторов:

технологических – применение новых способов формирования врубовой полости и конструкций шпуровых зарядов для их реализации, в которых используются новые конструктивные элементы – полые сферические вставки (шары), обеспечивающие изменение условий нагружения на разрушаемый массив горных пород и забоечные смеси на основе новых высокоэффективных материалов – расширяющиеся при твердении составы; обоснование рациональных интервалов времени замедления при взрывании врубовых, отбойных, вспомогательных и оконтуривающих шпуровых зарядов, а также их пространственное расположение по площади сечения выработки с учетом распределения напряженно-деформированного состояния (НДС) породного массива вокруг нее и непосредственно в забое [1];

энергетических – свойства и удельный расход применяемых взрывчатых веществ.

Для исследования влияния напряженного состояния массива и граничных условий на результат действия взрыва требуется знать параметры взрывного импульса, который, действуя на стенки зарядной полости, позволяет оценить характер разрушения напряженной среды. При обосновании параметров БВР не учитываются особенности разрушения горного массива в поле действия сил горного давления, что приводит к завышению объемов буровых работ, затратам взрывчатых веществ и средств взрывания (СВ). Поэтому изучение влияния отмеченных факторов – неотъемлемое условие для решения вопросов разработки новых технологических паспортов буровзрывных работ в статически напряженных породах, обеспечивающих скорость проведения и качественное оконтуривание выработок, способствуют снижению потерь угля во время отбойки.

Цель и задачи исследований – установить в полигонных и промышленных условиях основные закономерности разрушения статически напряженных сред зарядами ВВ различных конструкций, позволяющие обосновать рациональные геометрические параметры нового вруба для эффективного проведения подготовительных выработок на больших глубинах в крепких напряженных породах.

Авторы разработали способ образования врубовой полости в крепких напряженных породах [2]. Суть заключается во взрывании зарядов трехъярусного цилиндрического или призматического шагающего вруба с замедлением, начиная от зарядов кумулятивного действия 3-го яруса и заканчивая зарядами 1-го и 2-го ярусов, расположенными вокруг компенсационной полости. В результате повышается эффективность взрыва зарядов ВВ во врубовых шпурах при разрушении массива горных пород в зоне расположения компенсационной полости и перераспределении статических напряжений по ходу проведения выработки. Это дает возможность увеличить глубину и объем врубовой полости, скорость

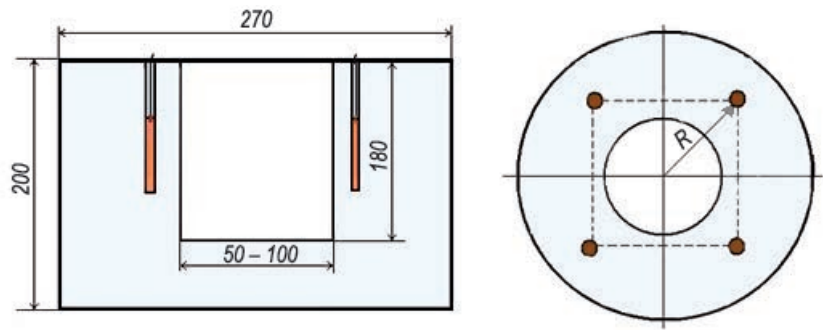


Рис. 1. Схема цилиндрической модели с комплектом врубовых шпуров вокруг компенсационной полости.

проходки, качество дробления пород, снизить удельный расход ВВ, средств взрывания (СВ), объем буровых работ, повысить коэффициент полезного действия (КПД) взрыва и КИШ, производительность работы погрузочно-транспортных средств.

Четыре серии экспериментов, направленные на выявление основных закономерностей разрушения напряженных сред взрывом с различными параметрами элементов вруба и конструкций шпуровых зарядов, проводились на песчано-цементных моделях в полигонных условиях (рис. 1). Модели изготовляли в форме цилиндров диаметром 270 мм и высотой 200 мм, а напряженное состояние среды моделировали путем заливки песчано-цементной смеси в стальную форму (толщина стенок 3 – 4 мм), имеющую одну свободную поверхность с фиксированием ее специальной обжимной обоймой. Смесь готовили из следующих компонентов: кварцевый песок + цемент марки М400 в пропорции 1:1 с добавлением 10 % воды.

В центре модели для каждой серии экспериментов формировали вруб с компенсационной полостью диаметром 50 мм (60 и 100 мм) на глубину 180 мм. Вокруг компенсационной полости в вершинах вписанного квадрата по окружности радиусом $R = (0,3 \dots 0,35) d_{\text{мод}}$ (где $d_{\text{мод}}$ – диаметр цилиндрической модели) создавали с помощью вставок элементы вруба – четыре цилиндрические зарядные полости диаметром 10 мм на глубину 170 мм для размещения в них зарядов взрывчатого вещества.

Чтобы увеличить поверхности контакта взрывчатого вещества с разрушаемой средой заряды помещали в бумажные цилиндры (патроны), в которых формировали заряды сплошной конструкции, с кот-

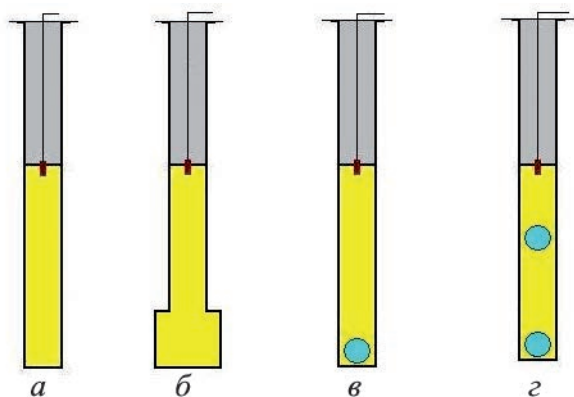


Рис. 2. Схемы конструкций зарядов ВВ: *а* – постоянного сечения; *б* – с котловым расширением в торце шпура; *в* – со сферической пустотелой вставкой в торце шпура; *г* – с чередующимися по колонке сферическими пустотелыми вставками.

ловым расширением в их торцах, переменных по высоте колонки сечения, со сферической вставкой в торце шпура и равномерно расположенными сферическими вставками по высоте колонки заряда (рис. 2). Внешний диаметр патронов составлял 0,95 диаметра зарядной полости, а внутренний – 0,92 (чтобы патрон плотно прилегал к стенкам полости).

В подготовленных цилиндрических полостях формировали удлиненные заряды с заполнением их взрывчатим веществом, которое по характеристикам близко к промышленным ВВ и состоит из смеси – тэна (80 %) и твердого ракетного топлива (20 %). Детонационные характеристики: скорость детонации 4900 м/с, расчетное давление на стенки зарядной полости 2,81 ГПа, расчетная теплота взрыва 4910 кДж/кг, акустический импеданс $0,46 \cdot 10^7$ кг/(м²·с), плотность взрывчатого вещества 935 кг/м³. В качестве забойки использовали кварцевый песок фракции 0,25 мм. Для подрыва зарядов ВВ изготавливали боевики с размещением в бумажные гильзы диаметром 2 – 3 мм тэна массой 80 мг с инициатором из нихромового мостика с навеской капельки из азида свинца массой 10 мг. Общая масса ВВ в зарядах всех серий экспериментов составляла 4 г, а удельный расход ВВ – 0,3 кг/м³.

Так как разрушающее действие взрыва значительно зависит от физико-механических свойств среды, то одновременно с основными моделями изготавливали их образцы, чтобы согласно действующим ГОСТам определить плотность материала, скорость продольной волны и прочность на одноосное сжа-

тие, а также средние квадратичные отклонения и коэффициенты вариации этих величин для песчано-цементных моделей. При обработке результатов установлены средние арифметические показатели физико-механических характеристик материала моделей: плотность – 1920 кг/м³; скорость продольных волн – 3150 м/с и прочность на одноосное сжатие – 24,6 МПа.

Подготовленные модели размещали в металлической взрывной камере с резиновой футеровкой внутренней поверхности (во избежание дополнительного разрушения материала) и дистанционно подрывали их из укрытия.

Для проведения экспериментальных взрывов в полигонных и лабораторных условиях ИГТМ НАН Украины совместно с ГВУЗ «НГУ» разработали электронный конденсаторный прибор [3] для подрыва соединенных в последовательно-параллельную схему электродетонаторов (рис. 3). В электронную схему включен преобразователь напряжения на базе однотактного импульсного генератора с транзистором в цепи делителя напряжения и конденсатора. Они соединены с первичными обмотками трансформатора с выходом на вторичную обмотку, промежуточным конденсатором, диодным блоком и конденсатором-накопителем (имеет систему сигнализации зарядки), входящим в цепь защитного блока пускового ключа управляемого электрода коммутирующего тиристора, соединенную со взрывной цепью. Масса прибора 1,2 кг, габаритные размеры 220×110 мм, источник питания – три батареи типа «Марс-373» напряжением по 1,5 В.

Преобразователь постоянного тока напряжением 4,5 В от батареи питания преобразует напряжение



Рис. 3. Взрывной прибор конденсаторный ВПК.

Таблица 1

Конструкция заряда	Масса отбитой взрывом части модели, кг	Диаметр среднего куска, см	Содержание фракций, %, разрушенных взрывом модели		Объем отбитой взрывом части модели, $10^{-3} \cdot \text{м}^3$	Вновь образованная поверхность, см^2
			$d_i < 20 \text{ мм}$	$d_i > 50 \text{ мм}$		
$d_{\text{к.п}} = 100 \text{ мм}$						
Постоянного сечения	1,397	15,65	57,7	28,1	0,726	66,0
Со сферической вставкой в торце шпура	3,965	33,53	34,2	34,4	2,06	101,7
С чередующимися по колонке заряда сферическими вставками	2,825	37,7	32,8	39,2	1,50	123,0
С котловым расширением в торце	2,325	27,9	38,4	20,6	1,20	68,3
$d_{\text{к.п}} = 60 \text{ мм}$						
Постоянного сечения	2,450	42,7	27,5	51,4	1,27	137,5
Со сферической вставкой в торце шпура	3,360	32,4	43,0	36,8	1,74	101,8
С чередующимися по колонке заряда сферическими вставками	3,804	30,2	44,5	39,2	2,0	89,1
С котловым расширением в торце	2,905	47,0	15,5	60,0	1,5	163,0
$d_{\text{к.п}} = 50 \text{ мм}$						
Постоянного сечения	2,569	36,4	32,0	41,6	1,33	117,7
Со сферической вставкой в торце шпура	3,965	33,5	34,2	34,4	2,06	85,7
С чередующимися по колонке заряда сферическими вставками	3,176	30,3	39,2	29,2	1,65	89,0
С котловым расширением в торце	2,777	48,8	16,8	63,3	1,44	166,7

постоянного тока до 400 В (ВПК-1) и 600 В (ВПК-2) для взрывной цепи. Одновременно взрываемых электродетонаторов 50 – 100 в зависимости от материала, из которого изготовляют мостики накаливания (константан или нихром). Преобразователь снабжен системой предохранительной блокировки и приспособлен к работе в различных климатических условиях, основные элементы размещены в защитном корпусе. Использование предложенного прибора повышает его КПД и надежность управления электро взрыванием.

После взрыва оценивали качество дробления отбитой части модели при действии группы зарядов на компенсационную полость. Гранулометрический состав определяли по методике А. Н. Барона [4]. При обработке гранулометрического состава были установлены общая масса и процентное распределение мелких (до 35 мм), средних (до 44 мм) и крупных (более 50 мм) фракций, диаметр среднего куска, объем отбитой части и площадь вновь образованной поверхности. Результаты ситового анализа и обработка полученных данных гранулометрического состава приведены в табл. 1. По ним построены кумулятивные кривые и гистограммы (рис. 4 и 5) распределения по

классам фракций разрушенной части модели с компенсационной полостью диаметром $d_{\text{к.п}} = 100 \text{ мм}$.

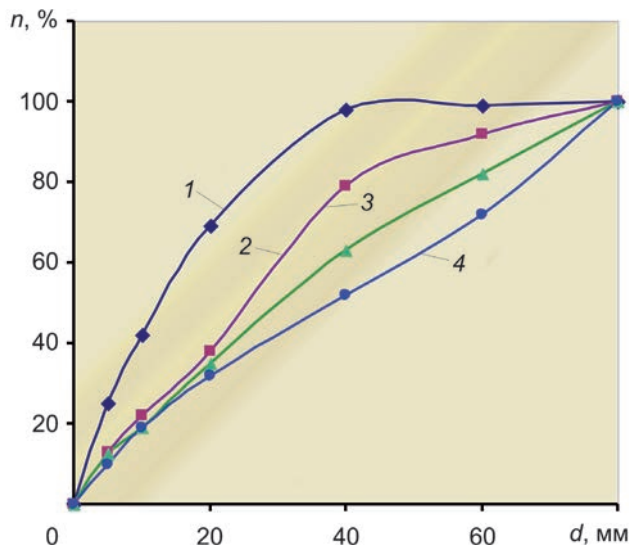


Рис. 4. Зависимость содержания фракций дробления n от их размера d при распределении гранулометрического состава разрушенных взрывом моделей зарядами ВВ на компенсационную полость диаметром $d_{\text{к.п}} = 100 \text{ мм}$: 1; 2; 3 и 4 – заряды ВВ постоянного сечения; с котловым расширением в торце шпура; со сферической пустотелой вставкой в торце шпура и с чередующимися по колонке сферическими пустотелыми вставками.

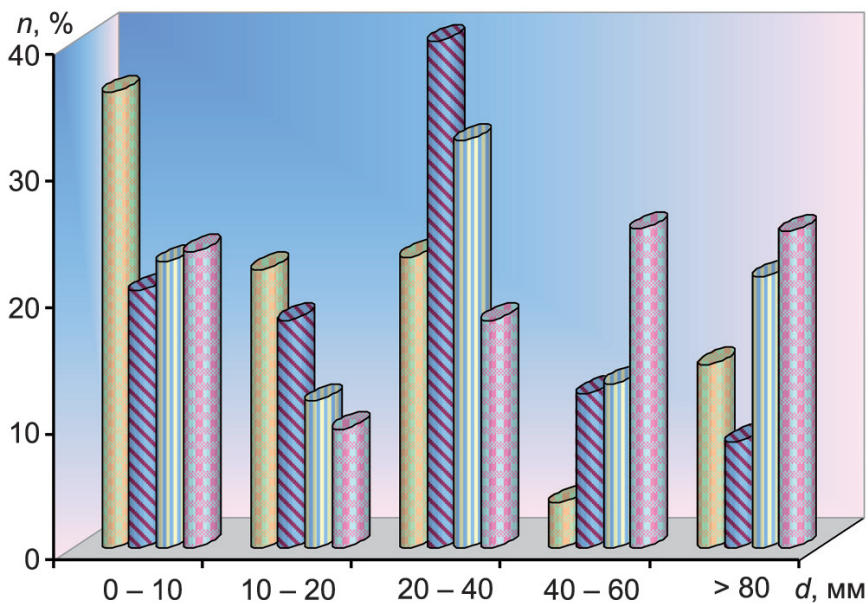


Рис. 5. Гистограмма распределения фракционного состава продуктов разрушения n от их размера d отбитой взрывом части модели зарядами ВВ на компенсационную полость диаметром $d_{к.п} = 100$ мм: \square – заряды ВВ сплошной конструкции; \blacksquare – с котловым расширением в торце шпура; \square – переменного сечения со сферической вставкой в торце шпура; \blacksquare – переменного сечения с равномерно чередующимися по колонке сферическими вставками.

Анализ кумулятивных кривых и гистограмм распределения гранулометрического состава разрушенных взрывом моделей показал, что для зарядов ВВ переменного сечения характерна равномерность распределения гранулометрического состава по сравнению с зарядом постоянного сечения. При этом равномерно распределяется выход как мелких фракций, так и крупных, хотя прослеживается тенденция увеличения среднего куска при существенном повышении массы отбитой взрывом части модели при взрыве зарядов переменного сечения, чем при взрыве зарядов постоянного.

Для подтверждения полученных результатов были проведены опытные взрывы в условиях подготовительных выработок шахты «Молодогвардейская» ПАО «Краснодонуголь», опасной по взрыву метана и угольной пыли.

В качестве объекта исследований для оценки эффективности влияния на процесс формирования полости выбрано несколько вариантов конструкций врубов: при базовом паспорте БВР (рис. 6, а) – спиральный, а при разработанном (рис. 6, б) – прямой призматический трехъярусный шагающий вруб с компенсационной скважиной увеличенного диа-

метра в его центре. Кроме этих врубов, рассматривали также щелевой с незаряженными компенсационными скважинами в его центре и прямой призматический с пробуренными в вертикальной плоскости в центре его двух компенсационных скважин. Причем контур врубовой полости формируется шпуровыми зарядами кумулятивного действия в шпурах увеличенной длины третьего яруса.

Четыре серии экспериментальных взрывов согласно программно-методике выполняли в специально выбранном для этих целей забое полевого квершлага, проводимого на конвейерный штрек первого яруса пласта i_3^1 (горизонт 617 м) площадью сечения $16,5$ м². Шпуры диаметром 43 мм бурили по забою установкой

БВР-2 согласно базовому и разработанному паспортам БВР с различными конструкциями врубов.

Рекомендуемые для испытаний различные типы врубов создавали путем бурения в центральной части компенсационных скважин (шпуров) увеличенного диаметра (горизонтальные, вертикальные и центральная, рис. 6, б), расширенная до диаметра 100 – 150 мм), а вокруг них бурили врубовые шпуры. Разработанный паспорт БВР отличается от базового тем, что врубовую полость формируют с использованием прямого трехъярусного призматического шагающего вруба шпурами увеличенной длины, в шпурах третьего яруса формируют заряды ВВ кумулятивного действия с размещением в торце сферической полости с герметизацией устья шпуров забойкой из твердеющей смеси. При этом расстояние между смежными шпурами увеличено до 0,61 м вместо 0,45 м в сравнении с базовым паспортом, а отбойка оставшейся части породы по площади сечения выработки ведется зарядами сплошной конструкции с герметизацией устья шпуров песчано-глинистой забойкой.

Средняя длина взрывааемых шпуров по базовому паспорту составляла 1,8 м при одновременно взры-

РАЗРАБОТКА ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

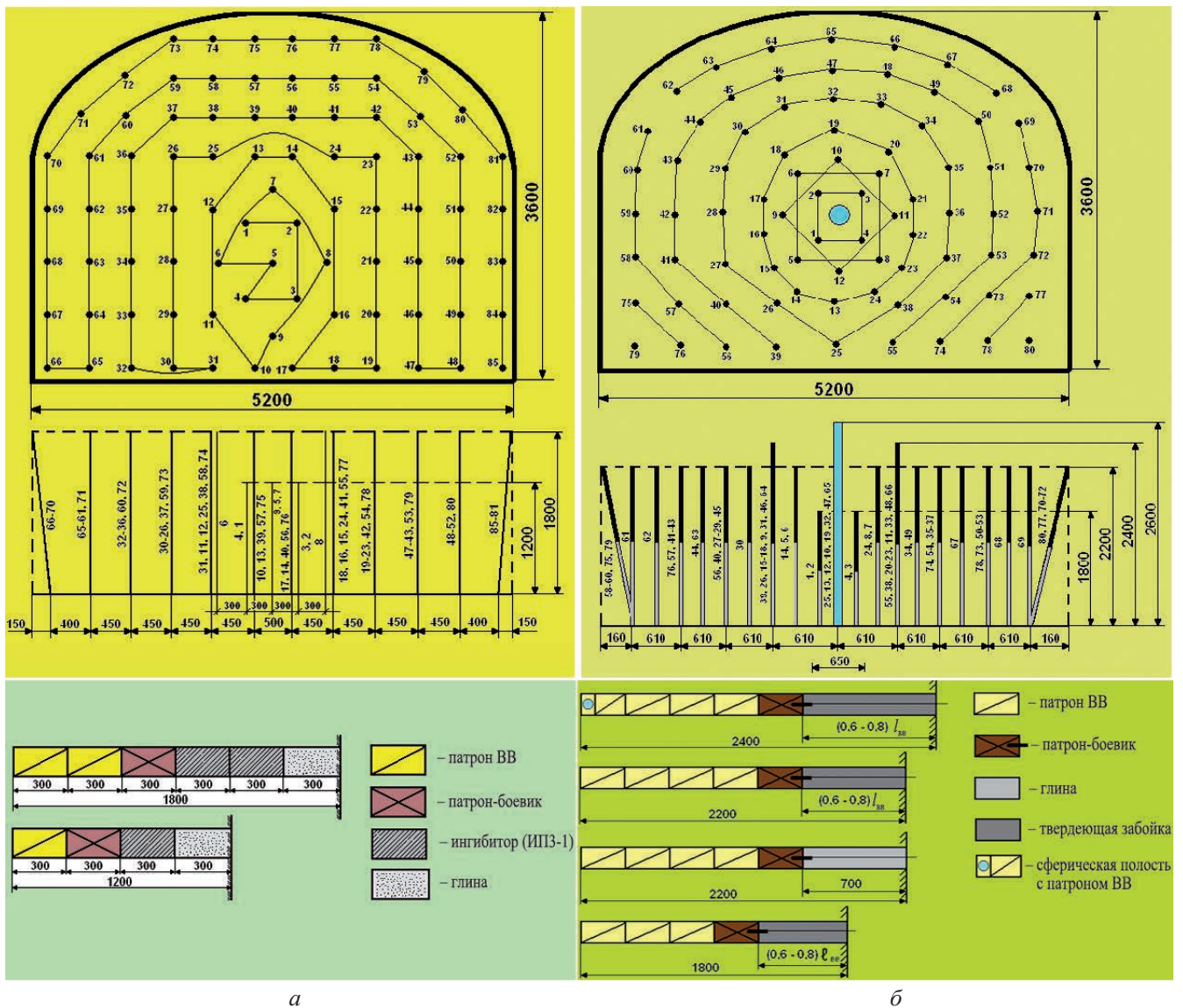


Рис. 6. Паспорта БВР базовый (а) и разработанный (б) для проведения полевого квершлага пласта i_3^1 , горизонт 617 м; $l_{\text{ВВ}}$ – длина колонки заряда ВВ.

Таблица 2

Вруб	Кол-во шпуров, шт.	Средняя длина шпура, м	Уход забоя за взрыв, м	КИШ	Расход ВВ		Отбрасывание породы от забоя, м	Выход фракций дробления, %	
					на цикл, кг	удельный, кг/м ³		-100 мм	+200 мм
Спиральный	85	1,8	1,62	0,9	76,5	2,81	40	54,7	18,0
Щелевой	83	1,8	1,71	0,92	72,5	2,5	37	50,0	21,5
Призматический с двумя компенсационными скважинами	83	2,0	1,8	0,95	73,5	2,54	35	48,5	20,5
Призматический трехъярусный с компенсационной скважиной в центре	80	2,2	1,95	0,97	71,2	2,34	2830	40,4	21,2

ваемых 85 шпурах и общей массе взрывчатого вещества Угленит П-5 – 76,5 кг, а разработанном – 2,2 м, количество шпуров – 80, общая масса ВВ – 71,2 кг.

Заряды инициировали электродетонаторами ЭДКЗ-ОП и ЭДКЗ-МП мгновенного и короткозамедленного действия с восемью ступенями замедления. Врубовые шпуровые заряды взрывали электродетонаторами мгновенного действия с замедлением между ступенями 15 – 20 мс.

Критериями оценки результатов взрывания служил коэффициент использования шпуров, качество отбитой взрывом породы и дальность ее разлета в забое выработки, характер повреждения постоянного крепления. Результаты экспериментальных взрывов при проведении полевого квершлага на конвейерный штрек первого яруса пласта i_3^1 (горизонт 617 м) на шахте «Молодогвардейская» приведены в табл. 2. Из анализа результатов следует, что эффективность взрывного разрушения крепких и напряженных пород в значительной степени зависит от типа вруба и конструкций шпуровых зарядов, участвующих в формировании полости в забое подготовительной выработки.

С использованием предложенных рациональных параметров разработанного нового паспорта БВР в 2011 г. пройдено более 300 м полевого квершлага пласта i_3^1 . Подвигание забоя увеличилось до 20 %, что позволило достичь прироста проходки за счет увеличения КИШ свыше 30 м подготовительной выработки. Общая экономическая эффективность от использования предложенных рекомендаций с учетом экономии по статье постоянных расходов составила более 1400 грн на 1 м погонной длины подготовительной выработки, что дало возможность сократить капитальные затраты на проведение выработок и повысить темпы подвигания забоя в глубоких шахтах Донбасса.

Выводы. На базе результатов выполненных экспериментальных исследований по обоснованию рациональных параметров конструкции вруба разработан новый способ образования врубовой полости при разрушении напряженных горных пород. Его реализация позволила оптимизировать параметры нового паспорта БВР для проведения выработок по породному массиву крепких горных пород. Особенность заключается в том, что врубовую полость формируют, используя прямой трехъярусный призматический шагающий вруб шпурами увеличенной длины. В шпурах третьего яруса размещают заряды ВВ кумулятивного действия установкой и герметизируют устья шпуров забойкой из твердеющей смеси. Отбойка породы при формировании полости ведется на компенсационное пространство в центре вруба. Реализация предложенных рекомендаций позволит увеличить эффективность проходки выработок и уменьшить затраты на их проведение.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ищенко К. С.* Повышение эффективности способов управления взрывным разрушением крепких напряженных пород в глубоких шахтах / К. С. Ищенко, А. К. Ищенко // Уголь. – 2009. – № 2.
2. *Пат.* № 88827 Украина, МПК 9E21C37/00E21D9/00. Спосіб утворення врубової порожнини в міцних напружених породах / А. Ф. Булат, К. С. Іщенко, В. Я. Осінній; заявник і власник патенту ІГТМ НАН України. – № 200803853; замовл. 27.03. 08 р.; надр. 25.11. 09. – Бюл. № 22.
3. *Пат.* № 59776 Украина, МПК 7 F 42 D 3/04. Вибуховий прилад конденсаторний (ВПК-1) / К. С. Іщенко, О. К. Іщенко; заявник і власник патенту Національний гірничий університет. – № 201014552; заявл. 06.12. 10; надр. 25.05. 11. – Бюл. № 10.
4. *Барон Л. И.* Определение свойств горных пород / Л. И. Барон, Б. М. Логунцов, Е. З. Позин. – М.: Госнаучтехиздат, 1962. – 276 с.