

УДК 622.235.113

В. П. Щербинин, М. Д. Войтов, А. Б. Сабанцев

КРАТКИЙ АНАЛИЗ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ВРУБОВ

Главным отличием буровзрывных работ при проведении горных выработок является то, что они производятся при одной обнаженной поверхности, что в сочетании с криволинейностью фронта отбойки массива в пределах контура выработки и наличием горного давления, существенно повышает энергоемкость разрушения. Поэтому для обеспечения их высокой эффективности при проведении выработок необходимы известные технико-технологические решения, обеспечивающие надежное формирование второй обнаженной поверхности на забое выработки достаточной глубины и сечения. Последнее особо актуально при использовании мощной проходческой техники при высокой концентрации нагрузки на забой, производительность которой существенно растет с увеличением глубины заходки за счет сокращения удельного веса непроизводительных трудозатрат.

Поэтому главными задачами повышения эффективности современной техники и производительности труда на проходке выработок буровзрывным способом, наряду с увеличением глубины заходки, являются повышение КИШ, снижение развала породы и динамического воздействия взрывных работ на крепь выработок при удовлетворительном гранулометрическом составе горной массы. Комплексное решение данных задач возможно при применении эффективных врубов, обеспечивающих не предразрушение (ослабление трещинами) массива, а полное разрушение с выносом материала до начала смещения среды под действием зарядов смежных с врубовыми.

Эффективность врубов главным образом определяется, какой режим напряженно-деформированного состояния массива, приводящего к его разрушению, обуславливает его конструкция. Для получения свободной полости важны и кинематические параметры вруба.

При использовании цилиндрических (шпуровых) зарядов, расположенных перпендикулярно открытой поверхности, разрушение массива происходит в основном в условиях всестороннего (объемного) сжатия и только незначительная часть, прилегающая к открытой поверхности, разрушается в квазиодноосных напряженных состояниях (сжатие, срез, растяжение) и их комбинаций в различных сочетаниях. Известно, что наиболее энергоемким является разрушение в условиях объемного напряженного состояния сжатия и уменьшается в следующей последовательности: одноосное сжатие, срез, растяжение. Если принять энергоемкость разрушения в условиях одноосного сжатия за единицу, то, с достаточным приближением, энергоемкость, пропорциональная прочности разрушения в объемном сжатии соста-

вит 10–12 единиц; одноосных – срезе 0,25 единиц и растяжении 0,10 единиц.

Таким образом, задача выбора известных врубов или разработки новых конструкций сводится к поиску конструктивных решений, обеспечивающих наименьшую энергоемкость разрушения массива, а в условиях, опасных по газу и пыли, где согласно [1] ограничено минимальное расстояние между зарядами, время и порядок инициирования смежных зарядов, и минимальное время на смещение массива во врубовой части забоя.

В этой связи прямые врубы простейших конструкций*, состоящие из 4, 6, 8 и более шпуров при минимальных [1] расстояниях между зарядами, широко распространенными на угольных шахтах, не обеспечивают формирования свободных полостей более некоторого предела, определяемого влиянием открытой поверхности. На основании результатов экспериментальных взрывов одиночных шпуровых зарядов ВВ, расположенных перпендикулярно открытой поверхности, выполненных нами в натуральных условиях, глубина образующейся воронки, при величине забойки равной 0,5 м практически не зависит от длины (величины) заряда и может быть оценена по формуле М. М. Борескова для расчета массы сосредоточенного заряда при показателе действия взрыва равном единице, приведенной к виду:

$$L = K_{\text{экс}} \cdot d_{\text{зар}} \cdot \sqrt[3]{\frac{\pi \cdot \rho_x \cdot Q_x}{Q_{\text{ЭТ}} \cdot q_n}},$$

где $K_{\text{экс}} = 1,25$ – экспериментальный коэффициент, учитывающий влияние части заряда, расположенного глубже, принятого в формуле для эмиссии сосредоточенного заряда;

$d_{\text{зар}}$ – диаметр шпурового заряда;

ρ_x – плотность ВВ в патронах;

$Q_x, Q_{\text{ЭТ}}$ – теплота взрыва используемого и эталонного ВВ (аммонита 6 ЖВ);

q_n – расчетный удельный расход ВВ нормального выброса.

В формуле масса заряда принята равной 4 диаметрам шпурового заряда, как равноценного по действию заряду шаровой симметрии.

При использовании промышленных ВВ в патронах диаметром 36 мм глубина воронки, образованной одиночным зарядом в породах с коэффициентом крепости от 3 до 12, меняется в преде-

* Под простейшими конструкциями понимаются врубы, все заряды в которых инициируются одной ступенью ЭД на полную глубину и не имеют вспомогательных зарядов запрессовки устьев, выброса или свободных полостей.

лах от 0,55 до 0,75 м. При одновременном инициировании двух и более шпуровых зарядов при расстояниях между ними, не менее установленных действующими правилами безопасности в опасных условиях угольных шахт [1], глубина воронки увеличивается не более чем на 10–20 см от рассчитанного по формуле для одиночного заряда. Следовательно, части шпуровых зарядов, расположенных глубже воронки выброса, не «чувствуют» влияния открытой поверхности и их энергия в основном расходуется на разрушение массива трещинами в объемном напряженном состоянии под действием радиальных и тангенциальных составляющих ударных волн, распространяющихся от зарядов в глубь массива без участия волн растяжения, отраженных от открытой поверхности ввиду их незначительной интенсивности.

Таким образом, при применении прямых врубов простейших конструкций и использовании предохранительных ВВ с ограниченной по [1] концентрацией энергии во врубе не обеспечивается образование второй открытой поверхности глубиной более 1,0–1,2 м. В этих условиях подвигание забоя более 1,5 м обеспечивается отбойными зарядами, которые с полным основанием можно назвать вспомогательными вплоть до зарядов в оконтуривающих шпурах.

Данное положение подтверждается видом забоя выработки непосредственно после взрыва заходки. Врубовая часть забоя, как правило, отстает от периферийной от 0,3 до 0,5 м в зависимости от проектной глубины шпуров. Поэтому после производства взрывных работ требуется довольно трудоемкая работа по обборке этой части забоя, предразрушенной врубовыми и отбойными зарядами, прилегающими к врубу. По этой причине в угольных шахтах, при применении таких врубов, типичными являются паспорта БВР с практически одинаковыми расстояниями между шпурами по всему забою включая врубовые. Поэтому для подвигания забоя на 2,0 м и более требуется значительно увеличивать количество шпуров относительно того уровня, который был бы необходим, если бы вруб обеспечивал образование второй открытой поверхности на проектную глубину.

Как показывает анализ параметров наиболее эффективных конструкций прямых врубов, без механического ослабления массива свободными шпурами, скважинами или полостями иных форм, таких как ярусный, спирально-шагающий, ярусно-ступенчатый, ассиметричные со сближенными шпурами и зарядами выброса и запрессовки устьев шпуров, в которых благодаря более совершенным конструкциям, обеспечивающим меньшую энергоемкость разрушения массива во врубе, средние затраты энергии ВВ в породах с $f = 7-9$ на единицу обуриваемой врубовой зоны составляют $11,2 \cdot 10^4$ кДж/м³, что превышает данный показатель прямых врубов, с минимально-допустимыми

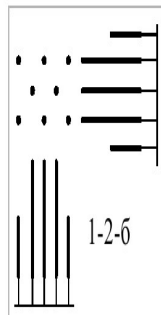
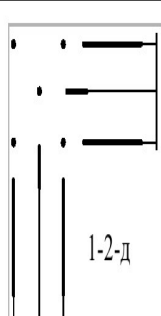
по [1], расстояниями между шпурами в 2,1 раза. При сближении зарядов диаметром 36 мм менее регламентируемых [1], при производстве взрывных работ в условиях невзрывоопасной атмосферы, прямые врубы простейших конструкций не могут обеспечивать удовлетворительную эффективность взрывных работ в крепких породах при глубине заходки более 1,4–1,6 м даже при условии сближения зарядов, когда обеспечивается их действие равноценное сосредоточенному (вруб Кумао Хино).

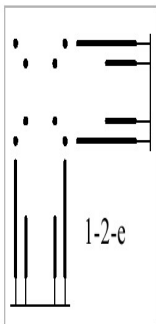
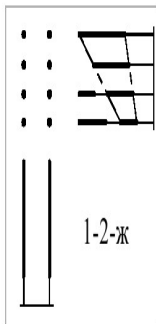
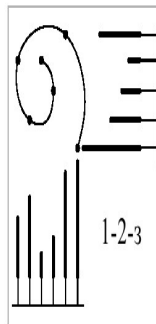
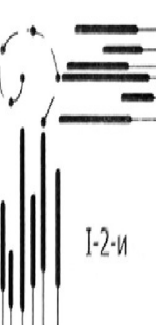
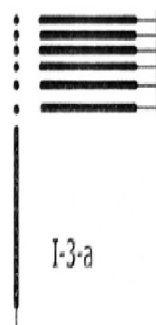


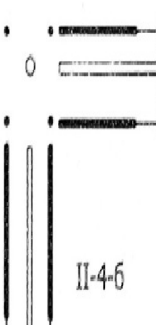

Разнообразные варианты конструктивного исполнения врубов с наклонными шпурами включают следующие элементы конкретного исполнения: положение устьев шпуров на забое по схемам – квадрат, прямоугольник, круг; положений в массиве в виде клина, конуса, пирамиды, щели и их комбинаций и положений вруба на забое – в центре, боках, сверху или внизу выработки без ступенчатого развития полости (простые варианты) в основном более эффективны относительно прямых простых врубов, за счет наличия в наклонных, относительно поверхности забоя, цилиндрических полях напряжений векторов сил, направленных в сторону открытой поверхности, равнодействующая которых в центре вруба равна геометрической сумме векторов, создаваемых противоположными зарядами, а также за счет рационального использования зон естественного ослабления массива. Следует отметить, что при проведении выработок с возведением крепи непосредственно в забое все конструкции врубов с наклонными шпурами должны располагаться в центральной части забоя, поскольку все варианты эксцентричного положения таких врубов имеют повышенную вероятность повреждения крепи.

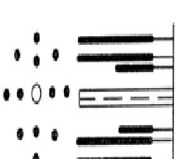
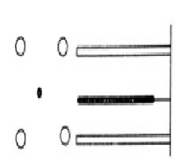
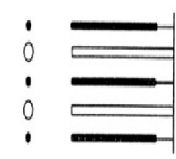
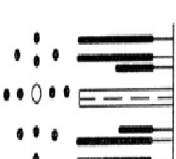
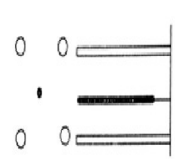
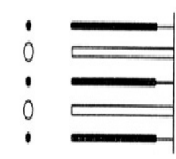
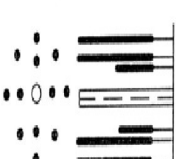
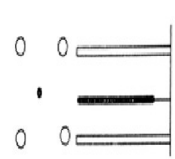
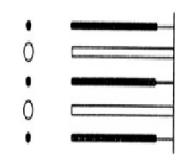

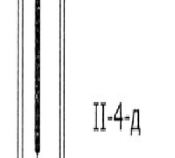
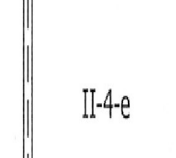

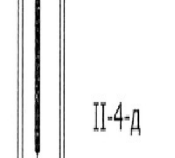
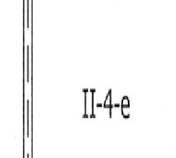

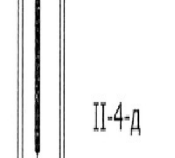
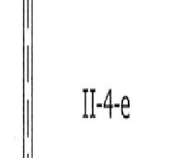
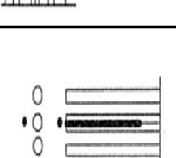
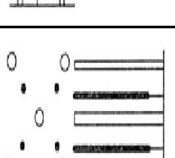
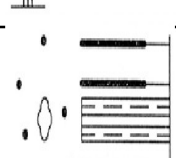
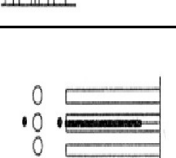
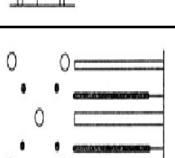
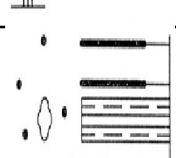
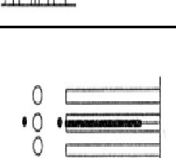
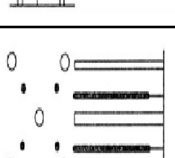
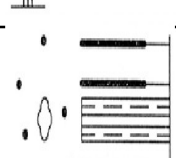
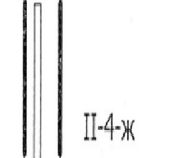
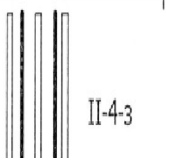
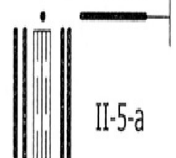
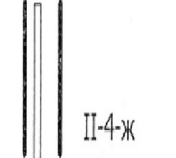
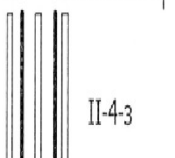
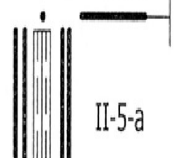
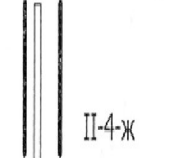
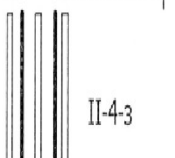
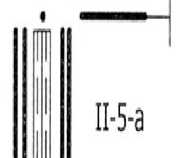
Следует также отметить, что применение врубов с наклонными шпурами с использованием серийных бурильных установок возможно в выработках сечением не менее 15–16 м², а при использовании ручных буровых средств и колонковых электросверл не менее 10–12 м². Кроме того, в условиях, опасных по газу и пыли, недопустимо сближение шпуров, менее установленного [1], даже в конце заходки, отмеченные преимущества врубов с наклонными шпурами относительно простых прямых сводятся к минимальным из-за более низкой концентрации энергии ВВ на обуренный объем. Наряду с энергетическими параметрами эффективная конструкция вруба должна обеспечивать минимум времени на формирование свободной, или частично свободной врубовой полости, что особенно важно в условиях существования возможности образования взрывоопасных концентраций газа в процессе разрушения массива.

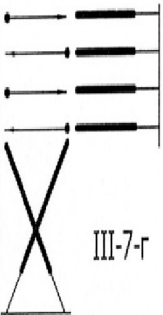
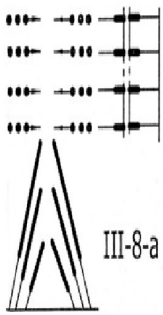
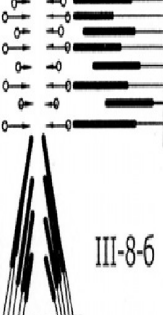
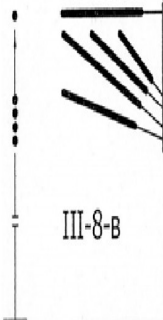
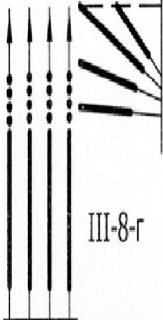

Исследованиями [2, 3] экспериментально установлено, что при взрывании зарядов в шпурах глубиной 1,8–2,0 м, в течение 26–32 мс после подачи импульса тока во взрывную сеть происходит истечение продуктов детонации ВВ без смещения

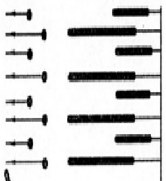
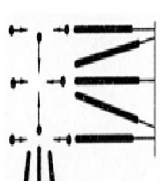
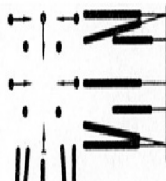
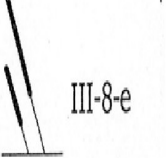


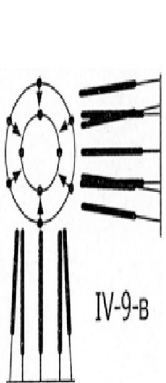
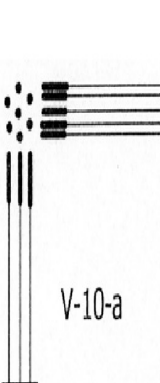
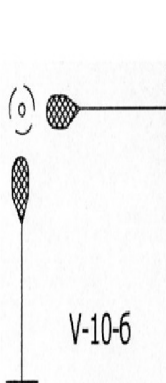
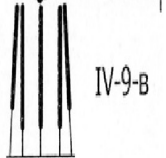
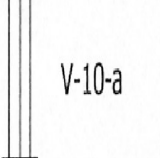
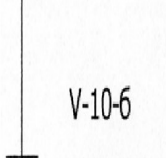
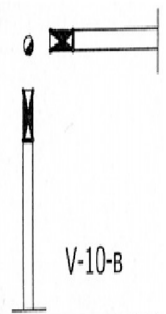
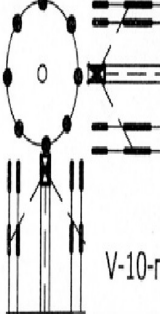
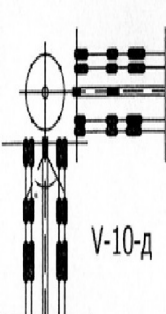
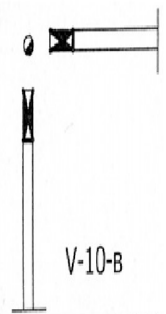
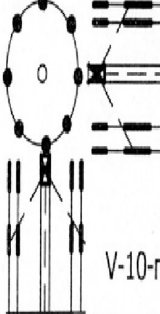
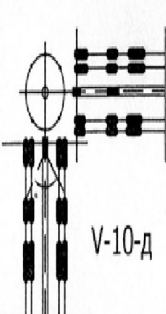
Таблица. Систематизация врубов

Тип врубов			Принципиальная схема основного варианта и шифр вруба			Горно-геологические условия	
Система ориентации бурения относительно поверхности забоя (система)	Взаиморасположения зарядов и полостей (класс)	Вид исполнения основного варианта (тип)					
1	2	3	4			5	
1. Прямые	1. Призматические простые	а) квадратный				Сечение выработок определяется количеством шпуров во врубе и может быть любым. Глубина шпуров до 1,8м в породах f до 7 в выработках с сечением до 20 м ² при применении предохранительных ВВ. До 2,2 м в тех же условиях при применении мощных ВВ и до 2,5 м при $S > 30$ м ² . Иницирование всеми допущенными СВ	
		б) прямоугольный					
		в) цилиндрический					
		г) треугольный					
	2. Призматические сложные	а) призматические с ослаблением массива свободными шпурами	1-1-г				I-2-а. Те же, что для врубов 1-1-а-г
			б) ступенчатые				Сечение выработок и крепость пород не лимитируются. Глубина шпуров до 2,5 м. Способ взрывания: огневой, ЭДКЗ-100+ЭДЗД, ЭДКЗ-300
		в) ярусные	1-2-в				Те же, что для врубов 1-2-б
			г) асимметричные с зарядом выброса				Крепкие, монолитные, хрупкие, не склонные к уплотнению. Глубина шпуров до 2,5 м. Иницирование обратное.
			д) симметричные с зарядом выброса				Те же, что для врубов 1-2-г

		е) с зарядами запрессовки устья				Те же что для вруба 1-2-г. Глубина шпуров может быть увеличена до 3 м при применении ярусных конструкций.		
		ж) ярусно-ступенчатые				Крепость пород и тип ВВ - не лимитируются. Глубина шпуров до 3 м. Иницирование - обратное: огневое, ЭДКЗ-100+ЭДЗД, ЭДКЗ-300		
		з) спирально-ступенчатые				Крепкие монолитные породы. Мощные ВВ. Глубина шпуров до 2,5 м. Иницирование - огневое, ЭДКЗ+ЭДЗД		
		и) спирально-ступенчатые с зарядом трещинообразования				Те же, что для врубов 1-2-з		
	3.Щелевые		а) щелевые простые				Породы средней трещиноватые при наличии слабых прослоев и включений. Глубина шпуров до 1,8 м. Иницирование ЭДКЗ	
			б) щелевые с ослаблением				Породы крепкие трудновываемые. Глубина шпуров до 2,0 м. Иницирование всеми допустимыми СВ	
	II. Прямые с ослаблением массива незаряженными полостями увеличенного сечения	4. С полостями цилиндрических форм	С центральным наложением	а) спиральные				Глубина шпуров до 2,0 м. Иницирование всеми допустимыми СВ
				б) простые со скважиной				Крепкие монолитные породы. Глубина шпуров до 2,5 м. ВВ повышенной мощности. Взрывание огневое. ЭДКЗ-200+ЭДЗД, или ЭДКЗ-300. Породы любой крепости. ВВ средней и высокой мощности. Глубина шпуров до 2,5 м.
в) секционированные							Те же, что для вруба II-4-б. Глубина шпуров до 3,0 м.	

	Со смешанным заложением полостей	г) секционнo-ступенчатые				Те же, что для вруба II-4-в
		д) с внешним заложением плоскостей				Породы крепостью не более 14; абразивность не выше средней. Тип ВВ лобой. Глубина шпуров до 3,5 м. Иницирование всеми способами.
		е) плоские				Те же, что для вруба II-4-д. Глубина шпуров до 2,5 м
		ж) объемные				Те же, что для вруба II-4-в
		з) комбинированные				Те же, что для вруба II-4-д. Глубина шпуров до 3,5 м
	5. С полостями сложных форм	а) двойной спиралью				Породы крепкие, монолитные. ВВ повышенной мощности. Взрывание огневое. ЭДКЗ-100+ЭДЗД, ЭДКЗ-300.
		б) с механическим выбуриванием щели				Породы крепкие и средней крепости, не абразивные. ВМ – не лимитируются.
	6. Со скважинами диаметром более 150 мм	а) простые				Средства иницирования не лимитируются
		б) ярусные				Породы и тип ВВ любые. Все допущенные СВ.
	III. Наклонные	7. Наклонные простые	а) вертикально-наклонные			
б) горизонтально-клиновые						Те же что для вруба III-7-а
в) пирамидальные						Те же, что для вруба III-7-б. Глубина шпуров до 2 м

8. Наклонные сложные	г) «Ножницы»				Крепость пород любая. Глубина шпуров – 1,5-1,8 м.	
	а) ступенчато-клиновой					Крепость пород любая. Глубина шпуров до 2,5 м. СВ-любые
	б) ступенчатые ярусно-клиновые				Те же, что для вруба III-8-а	
	Односторонние	в) щелевые				При наличии развитой системы трещин слоевого или кливажного происхождения, залегающих под углом 60-70° III-в-г – III-8-е. При наличии системы трещин слоевого происхождения, залегающих под углом 60-70°, к направлению проходки и ориентированных приблизительно перпендикулярно направлению бурения врубовых. При наличии наружный или слоев с четким контактом между пластами, расположенных соответственно на контуре кровли, почвы или бока выработки
	г) верхний					
д) нижний						
е) боковой						

IV. Комбинированные	9. Наклонные	а) пирамидально-клиновые				Породы однородные, монолитные, трудновзрываемые. Глубины шпуров до 2,5 м. СВ - любые допущенные.
		б) призматически-клиновые				То же, что для вруба IV-9-а
		в) конически-цилиндрические				Те же, что для вруба IV-9-а. Глубина шпуров дл 2,8 м. Однородные породы. вертикальные стволы. Глубина заходки до 3,0 м при маломощных и мощных ВВ. Иницирование ЭДКЗ-3Д
V. Воронкообразующие	10. Сосредоточенными зарядами	а) шпуровые				Трещиноватые, но однородные породы. Глубина до 15 м. Иницирование одной ступенью электродетонаторов.
		б) котловые				Те же, что для вруба V-10-а. Глубина шпуров до 2,5 м
		в) скважинные				Те же, что для вруба V-10-б
		г) комбинированные				ороды любой крепости. Рациональная глубина шпуров до 2,5-3,0 м.
		г) ступенчатые				Те же что для вруба V-10-г. Глубина шпуров от 2,5 до 4,0 м.

массива и только в последующие 60–80 мс происходит трещинообразование и смещение разрушенной породы. Аналогичные результаты, с учетом масштабов взрывов, получены при изучении кинетики разрушения массива с применением киносьебок.

Работами [4, 5] установлена прямая пропорциональная зависимость времени сдвига массива, отнесенного к л.н.с. зарядов. Время разрушения массива зависит и от физико-механических свойств среды, коррелируя с упруго-прочностными свойствами породы, уменьшаясь с ростом ее прочности, и скорости распространения в ней фронта упругих волн напряжения или звука.

Как показывает анализ временных параметров высокоэффективных врубов в них наряду с высокой концентрацией энергии ВВ, как правило используется не менее 5 ступеней замедления электродетонаторов или огневое взрывание с общим временем замедления 120 мс и более, а в таких как «коромант» – 250–300 мс и вруб Фегерста 325–390 мс. В условиях, опасных по газу и пыли [1] продолжительность формирования вруба должна быть не более 45 мс и 4^я ступеней замедления при использовании короткозамедленных ЭД с интервалом 15 мс и не более 25 мс и 2^я ступеней замедления при применении ЭД с интервалом 25 мс.

Так, главными факторами, определяющими эффективность врубов, являются: концентрация энергии ВВ, характер напряженно-деформированного состояния массива, время на разрушение и смещение среды. Обеспечить высокую эффективность врубов простых конструкций при глубине заходки более 2,0 м за счет высокой концентрации ВВ в них возможно лишь в условиях, не опасных по газу и пыли, в породах не выше средней крепости.

Более эффективны и универсальны по условиям применения конструкции, которые в процессе формирования врубовой полости обеспечивают создание дополнительных поверхностей об-

нажения (ярусные, ступенчатые, шагающие и их комбинации) при этом возрастает доля массива, разрушаемого в менее энергоемких квазиодноосных напряженных состояниях – сжатие, растяжение сред и их комбинации.

Уменьшение времени и энергоемкости разрушения массива во врубах одновременно достигается при применении в них свободных полостей различных форм, размеров и схем положения их относительно зарядов. В данных конструкциях ускорение разрушения проходит за счет уменьшения л.н.с. зарядов, а снижение энергоемкости – за счет возрастания доли массива разрушаемого в режиме среза. Такие концентрации врубов, а также с использованием эффекта воронкообразования, при котором обеспечивается наименьшая энергоемкость разрушения из всех возможных вариантов врубов, могут обеспечивать высокую эффективность взрывных работ при глубине заходки более 2,0 м и возможность применения в условиях, опасных по газу и пыли. При этом их параметры могут и должны удовлетворять требованиям [1].

В основу представленной систематизации врубов (таблица) положены характеристики исполнения зарядных и свободных полостей (система), взаимоположение зарядов и полостей (класс), вид конкретного исполнения схемы на забое и в массиве с учетом порядка инициирования зарядов (тип). Многие типы содержат известные подварианты конкретного исполнения, не меняющие сущности базового типа. При этом, если система врубов в большей степени определяет характер буровых работ, то класс и тип – напряженное состояние массива, в котором преимущественно происходит его разрушение во врубе (объемное сжатие, сжатие с растяжением, срез и их комбинации), чем обусловлено главное отличие предложенной систематизации от приведенных в технической литературе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасность при взрывных работах : Сборник документов. Серия 13. Выпуск 1 / Колл. авт. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002. – 252 с.
2. Борисенко, В. Д. Исследование временных характеристик разрушения напряженных пород энергией взрыва / В. Д. Борисенко, А. Н. Денисенко, А. Н. Федорченко. В сб. «Механика и взрывное разрушение горных пород». – Киев : Наукова думка, 1972. – С. 237-240.
3. Борисенко, В. Д. Исследование рационального времени замедления шпуровых зарядов / В. Д. Борисенко, А. Д. Савостин [и др.]. В сб. «Механика и разрушение горных пород». – Киев: Наукова думка, 1975. – С.149-153.
4. Демидюк, Г. Б. Эффективность взрыва при проведении выработок / Г. Б. Демидюк, В. Ф. Ведутин. – М. : Недра, 1973. – 152 с.
5. Кигач, Г. М. Действие продуктов взрыва в среду до начала ее взрыва / Г. М. Кигач. В сб. «Взрывное дело» № 70/27. – М. : Недра, 1971 – 65-67 с.

□ Авторы статьи

Щербинин
Владимир Петрович
– канд. техн. наук, ведущий
научный сотрудник
ОАО «КузНИИшахтострой».
Тел. 8-3842- 34-06-54)

Войтов
Михаил Данилович
– канд.техн.наук, доц. каф.
«Строительство подземных соору-
жений и шахт» ГУ КузГТУ.
Тел.8-3842-58-32-98

Сабанцев
Алексей Борисович
– ст. преп. каф. «Строительство под-
земных сооружений и шахт»
КузГТУ. Тел.8-3842-58-37-34