

И.М. Паланкоев**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ В СТВОЛАХ ШАХТ, ПРОХОДИМЫХ СПОСОБОМ ИСКУССТВЕННОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ**

Взрывные работы в вертикальных шахтных стволах часто осложняются трудностью разработки некоторых скальных горных пород и опасностью повреждения замораживающих колонок, что зачастую является причиной тяжелых аварий, включая и затопление стволов. Анализируются различные схемы воздействия импульсов напряжений от взрыва на замораживающие колонки, вычислены максимальные напряжения (250 кгс/см^2), действующие на стальные трубы колонок.

Ключевые слова: взрывные работы, проходка ствола с применением искусственного замораживания, влияние взрывных волн.

При строительстве вертикальных стволов способом искусственного замораживания стволом пересекаются водообильные, неустойчивые породы, такие как супеси, обводненные сланцы, известняки, доломиты. Разработка буровзрывным способом таких пород часто осложняется, что вызвано не столько сложностью бурения в замороженных нескальных породах, сколько возможностью повредить замораживающие колонки.

Вопросу влияния взрывания оконтуривающих шпуров на герметичность замораживающих колонок посвящались работы таких авторов, как Я.Н. Цейтлин, И.З. Драговейко, И.Б. Карасик и др.

Известно, что заряд оконтуривающих шпуров в стволе характеризуется отношением

$$\frac{W}{2R_0} = 22 \div 25$$

где W – линия наименьшего сопротивления л.н.с.; R_0 – радиус заряда.

Разрушительное действие взрывания оконтуривающих шпуров относится к работе зарядов наружного действия. Разрушительный эффект таких зарядов проявляется, преимущественно, в направлении л.н.с., т.е. к центру ствола. В направлении массива радиус

зоны трещинообразования не превышает $20 R_0$, или 360–460 мм в скальных породах и $40 R_0$ или 720–920 мм в нескальных.

Толщина ледопородного ограждения чаще всего находится в диапазоне от 2,0 до 3,5 м,

$$\text{т.е. в } \frac{2000 \div 3000}{360 \div 920} = 2,2 \div 8,4 \text{ раза}$$

больше толщины возможной зоны трещинообразования. Кроме того, высокие пластично-вязкие свойства пород, особенно нескальных, сохраняемые в значительной мере и в замороженном состоянии, способствуют быстрому «зарастанию» трещин, которые могут образовываться при взрыве комплекта шпуровых зарядов ВВ.

Эти соображения дают основание полагать, что полного разрушения сплошности ледопородного ограждения путем прорастания трещин едва ли возможно. Но если предположить, что при некотором неблагоприятном стечении обстоятельств все же возникнут отдельные трещины, пронизывающие ледопородный цилиндр, они будут тотчас «залечены» в результате замерзания проникающей в трещины воды и реологических свойств самого ледопородного ограждения.

Гораздо более реальна опасность другого рода – а именно, возможность разрушения замораживающих колонок.

Разрушение замораживающих колонок не только нарушает режим работы замораживающей станции, но, вследствие утечек рассола, интенсивно снижает температуру ледопородного цилиндра, что влияет на его прочность, и может быть причиной тяжелых аварий, включая и затопление ствола в целом.

Разрушающее действие взрыва шпуровых зарядов данного взрывчатого вещества на замораживающие колонки зависит, по мнению [1], в первую очередь, от расстояния от оконтуривающих шпуров до колонок, сейсмической характеристики пород и прочностных параметров колонок.

Замораживающие колонки могут быть разрушены [2] не только действием взрыва, но и в результате напряжений, возникающих в колонках при производстве монтажных работ, в процессе замораживания, и во время проходческих работ в стволе. Эти напряжения изменяются во времени, количественная оценка их весьма затруднена, и, кроме того, они могут комбинироваться между собой в разных взаимосочетаниях. Все это крайне затрудняет возможность их учета и прогнозирования.

Предположим, что для конкретных горнотехнических условий, известны главные σ_1 , σ_2 , σ_3 , а также результирующее напряжение в колонках вследствие совместного действия взрыва и всех вышеперечисленных факторов. По принятой в сопротивлении материалов методике расчетов на прочность, определим расчетное напряжение и сопоставим с допустимым, то есть выберем наиболее приемлемую для напряженного состояния замораживающих колонок схему нагружения и прочностной расчет. Однако, не всегда возможно получить однознач-

ное решение. И не всегда возможно прогнозирование устойчивости колонок в аналогичных горно-технических условиях.

Необходимо напомнить, что безопасное расстояние от действия взрыва на замораживающие колонки будет зависеть от кривизны вертикальности замораживающей колонки. При глубине ствола 100 м погрешность расположения скважина на погоризонтном плане вычисляется по формуле:

$$100 \cdot \operatorname{tg} 10 = 0,0029 \cdot 100 = \pm 29 \text{ см},$$

При глубине 200 м – погрешностью ± 58 см.

Способность передавать взрывные импульсы напряжения в одних и тех же породах изменяется в весьма широких пределах. Так, например, в суглинках, максимальная величина импульса напряжения превышает минимальную в 2–2,5 раза. По данным [1], показатели сейсмических свойств замороженных нескольких пород, как многофазные системы, обладают высокой вариацией (рис. 1).

Для расчета безопасного расстояния колонок от действия взрыва вос-

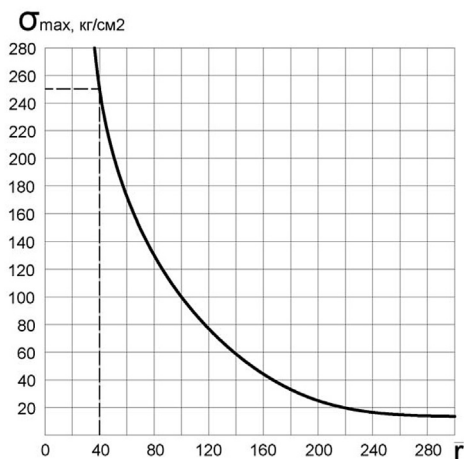


Рис. 1. Затухание максимальных напряжений $\sigma_{\max}$ при взрывании удлиненных зарядов аммонита № 6 весом 226, 400, 3200, 7850 г

пользуемся принципом независимости действия сил, на основании которого, разрушающее действие взрывных импульсов напряжения на замораживающую колонку можно рассматривать независимо от других причин нарушения герметичности замораживающих колонок.

Возбужденные взрывом шпуровых зарядов однократные импульсы напряжения распространяются в среде ледопородного ограждения, быстро затухая по мере удаления от очага взрыва. Чтобы приблизительно вычислить

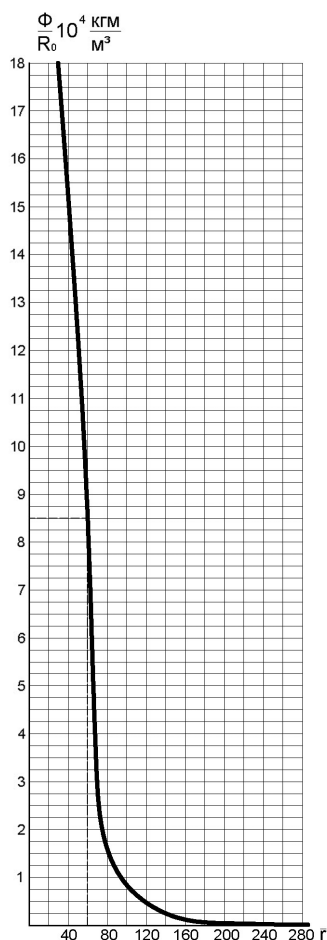


Рис. 2. Приведенная плотность потока энергии при взрывании удлиненных зарядов аммонита № 6 весом 226, 400, 3200, 7850 г

амплитуду и длительность импульсов, а также плотность потока энергии в ледопородном цилиндре, воспользуемся методом проф. А.И. Ханукаева, по данным которого, затухание плотности потока энергии имеет вид (рис. 2)

Этими данными хорошо подтверждена справедливость закона геометрического подобия при взрывании удлиненных зарядов, если отношение длины к диаметру заряда больше 10–12.

Согласно закону геометрического подобия, возбуждаемые взрывом данного ВВ напряжения в массиве горной породы не зависят от веса заряда и определяются только относительным

расстоянием $r^1 = \frac{r}{R_0}$, а длительность импульса напряжений в данной точке линейно зависит от r^1 и прямо пропорциональна R_0 .

Из приведенных графиков следует, что при взрывании в скальных породах шпуровых зарядов аммонита № 6 диаметром 36 мм ($R_0 = 0,018$ м), через точку, удаленную, например на 108 см от оси шпура ($r^1 = \frac{108}{1,8} = 60$), в течение

$$t = \frac{0,08 \cdot 45 \cdot 10^3}{10^3} = 0,8 \text{ мсек «пробега-»}$$

импульс с максимальным напряжением $\sigma = 250 \text{ кг/см}^2$ и плотностью потока энергии $\Phi = 0,018 \cdot 8,5 \cdot 10^4 = 1530 \text{ кгм/м}^2$.

Под плотностью потока энергии Φ подразумевается количество энергии, проходящее через единицу поверхности за время действия импульса. Направлении, нормальном фронту распределения импульса (волны):

$$\Phi = \sigma ut \quad (1)$$

Параметры σ , Φ и t характеризуют импульс напряжения в точке, находящейся на относительном расстоянии

$$r^1 = \frac{r}{R_0} = \frac{108}{1,8} = 60 \text{ от центра взрыва.}$$

Располагая, таким образом, значениями σ , Φ и t импульса напряжения в скальной породе, можно определить σ , Φ и t импульса напряжения, распространяющегося в ледопородном цилиндре. Для этого необходимо иметь в виду следующее.

Продолжительность импульсов напряжения, распространяющихся в породе вследствие взрыва шпуровых зарядов составляет 1–5 мсек. В течение столь короткого промежутка времени пластические деформации не успевают произойти, и породу можно рассматривать как упругую среду, для которой максимальное напряжение в импульсе определяется выражением:

$$\sigma = \frac{\rho c u}{g} \quad (2)$$

где ρ – объемный вес породы; c – скорость распространения продольного импульса (волны); g – ускорение силы тяжести; u – скорость смещения частиц породы в импульсе.

При одинаковых ВВ и относительных расстояниях r^1 , скорость смещения частиц u в различных горных породах имеет примерно одно и то же значение. Поэтому, в соответствии с (2), можно записать следующее соотношение:

$$\frac{\sigma_{\text{пор}}}{\sigma_{\text{л.ц.}}} = \frac{(\rho c)_{\text{пор}}}{(\rho c)_{\text{л.ц.}}} \quad (3)$$

где $\sigma_{\text{пор}}$, $\sigma_{\text{л.ц.}}$ – амплитудные значения импульсов напряжения соответственно в породе и в ледопородном цилиндре; $(\rho c)_{\text{пор.}}$, $(\rho c)_{\text{л.ц.}}$ – акустическое сопротивление соответственно породы и ледопородного цилиндра.

Дальнейшее решение ведется применительно к ледопородному цилиндру, представленному замороженными нескальными породами.

Тогда акустическое сопротивление замороженных пород колеблется в пределах $(4 \div 7) \cdot 10^5$ г/см³ см/сек.

Тогда по формуле (3)

$$\sigma_{\text{л.ц.}} = 250 \frac{(4 \div 7) 10^5}{13,5 \cdot 10^5} = 74 \div 130 \text{ кг/см}^2.$$

Необходимо отметить, что с уменьшением акустического сопротивления ρc продолжительность импульса напряжения t возрастает.

При переходе в первом приближении от корреляционной зависимости к функциональной вида:

$$\frac{t_{\text{пор}}}{t_{\text{л.ц.}}} = \frac{(\rho c)_{\text{пор}}}{(\rho c)_{\text{л.ц.}}} \quad (4)$$

Получим

$$t_{\text{л.ц.}} = 0,8 \cdot \frac{13,5 \cdot 10^5}{(4 \div 7) \cdot 10^5} = 1,5 \div 2,7 \text{ мсек}$$

Сопоставляя выражения (1) с (3) и (4), и учитывая, что u постоянная, можно заключить, что плотность потока энергии Φ в породе и в ледопородном цилиндре практически одинаковая.

По экспериментальным данным амплитудное значение импульса напряжения при взрывании шпурового заряда аммонита № 6 длиной 690 мм, диаметром 32 мм в сланцевой глине на расстоянии $r^1 = 60$ составляет 71 кг/см², что соответствует скорости смещения частиц в импульсе 2 м/сек [3].

Учитывая, что акустическое сопротивление замороженных нескальных горных пород и сланцевых глин незначительно отличаются между собой (соответственно равны $(4 \div 7) \cdot 10^5$ и $3,6 \cdot 10^5$ г/см³ см/сек), сходимость результатов $74 \div 130$ кг/см² и 71 кг/см², можно считать вполне удовлетворительной, а параметры импульса напряжений в ледопородном цилиндре, приведенные в таблице – достоверными.

Поскольку взрыв каждого шпурового заряда происходит почти мгновенно по всей его длине, наиболее вероятным представляется тот факт, что фронт каждого импульса напряжения распространяется по схеме цилиндри-

Параметры импульса напряжений

Породы	Параметры импульса напряжения на расстоянии $r^1 = 60$ от центра взрыва		
	Амплитуда σ , кг/см ²	Плотность потока энергии Φ , кгм/м ²	Продолжительность t мсек.
Гранит $\rho c = 13,5 \cdot 10^5$ г/см ³ см/сек	250	1530	0,8
Ледопородный цилиндр $\rho c = (4 \div 7) \cdot 10^5$ г/см см/сек	74 ÷ 130	1530	1,5 ÷ 2,7

ческой симметрии и параллелен поверхности замораживающих колонок, что говорит о том, что колонки работают на смятие.

В зависимости от взаимного расположения оконтуривающих шпуров и замораживающих колонок возможны

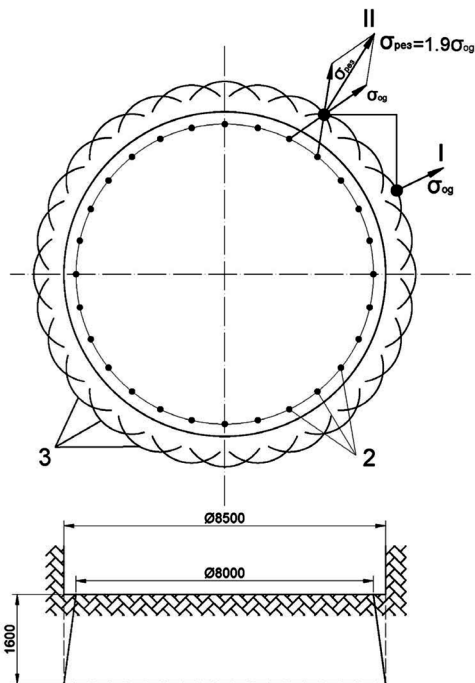


Рис. 3. Плоская картина воздействия импульсов напряжения на замораживающие колонки; схема 1 – на колонку действует одиночный импульс напряжения; схема 2 – на колонку действует результирующий импульс напряжения; 1 – замораживающая колонка; 2 – оконтуривающие шпуровые заряды; 3 – положение фронта распространяющихся импульсов (волн) напряжения спустя 0,5 мсек после взрыва периферийных шпуровых зарядов, скорость распространения волны $C = 2000$ м/сек

различные схемы воздействия импульсов напряжения на замораживающие колонки. На рис. 3 показаны две схемы: по схеме 1 на колонку действует одиночный импульс, максимальное значение которого $\sigma = 74 \div 130$ кг/см², по схеме 2 – когда колонка находится в точке пересечения фронтов двух соседних импульсов, на нее действует результирующий импульс $\sigma_{рез}$. Из геометрических построений (рис. 3) видно, что для обычных условий проходки максимальное его значение $\sigma_{рез} = 1,9 \sigma_{од} = 140 \div 250$ кг/см².

Воздействуя на замораживающую колонку, импульс напряжения проходит через два контакта: I – замороженная порода-замороженный глинистый раствор и II – замороженный глинистый раствор – стальная труба колонки.

Известно, что при нормальном падении импульса на плоскость контакта двух сред он увеличивается или уменьшается в зависимости от соотношения акустических сопротивлений сред в

$$\frac{2\rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2} \text{ раза;}$$

где $\rho_1 c_1$ – акустическое сопротивление среды, в которой распространяется падающий импульс (волна), $\rho_2 c_2$ – акустическое сопротивление среды, в которой распространяется преломленный импульс (волна).

Рассматриваемые среды характеризуются следующими средними значениями акустического сопротивления:

замороженная порода – $5,5 \cdot 10^5$ г/см³ см/сек;

замороженный глинистый раствор – $1,9 \cdot 10^5$ г/см³ см/сек;
сталь – $45 \cdot 10^5$ г/см³ см/сек.

Поэтому, при прохождении контакта I импульс уменьшается в

$$\frac{2 \cdot 1,9}{5,5 + 1,9} = 0,51 \text{ раза; при прохождении}$$

контакта II – увеличивается в

$$\frac{2 \cdot 45}{45 + 1,9} = 1,92 \text{ раза, а в итоге практически}$$

не изменяется по величине, так как произведение $0,51 \cdot 1,92$ близко к 1.

Таким образом, в результате взрывания оконтуривающих шпуровых рядов замораживающие колонки, находящиеся от них на расстоянии 1–1,1 м, оказываются подверженными в течение $1,5 \div 2,7$ мсек сминающему напряже-

нию, максимальное значение которого достигает 250 кг/см^2 .

Известно, что для монтажа замораживающих колонок применяют обсадные трубы бесшовные стальные марки Е, наружным диаметром 146 мм и толщиной стенки 7 мм. При статическом действии нагрузки допускаемое напряжение на смятие таких труб составляет 208 кг/см^2 .

Поэтому, целесообразно продолжить исследования буровзрывных работ в направлении изучения условий сохранности замораживающих колонок при взрывании шпуров глубиной 4 м и разработки патронированных взрывчатых веществ с продольной кумуляцией, обеспечивающих направленный к центру ствола взрыв, то есть минимуму сотрясения в направлении замораживающих колонок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карасик И.Б. Буровзрывная выемка замороженных пород при проходке стволов / Проектирование и строительство угольных предприятий. Реферативный сборник № 11–12. – М.: ЦНИЭНУголь, 1969. – С. 12–14.

2. Паланков И.М. Анализ причин возникновения аварийных ситуаций при про-

ходке вертикальных стволов способом искусственного замораживания грунтов // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 2. – С. 49–54.

3. Цейтлин Я.И., Смолий Н.И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов. – М.: Недра, 1981. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Паланков Ибрагим Магомедович – аспирант, МГИ НИТУ «МИСиС», президент ЗАО «ОШК «Союзспецстрой», e-mail: palankov.im@souzspectstroy.ru.

UDC 622.235.622.253

PARTICULAR QUALITIES OF BLASTING IN SHAFTS, CONSTRUCTED BY METHOD OF GROUND FREEZING

Palankov I.M., Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia, President of UMCC Souzspectstroy, e-mail: palankov.im@souzspectstroy.ru.

Blasting works in vertical shafts often are complicated by working out of rock soils and by menace of freezing columns damage. This accounts for serious emergency situations, including flood of shaft.

In this article were analyzed different diagrams of exertion pulse effects, was counted a top exertion (24.5 MPa) which affects on steel tubes of freezing columns. Were formulated aims of following tests.

Key words: blasting, ground freezing method, freezing columns, exertion pulse effects.

REFERENCES

1. Karasik I.B. *Proektirovanie i stroitel'stvo ugol'nykh predpriyatii. Referativnyi sbornik no 11–12* (Coal mine planning and construction. Collected abstracts no 11–12), Moscow, TsNIENugol', 1969, pp. 12–14.

2. Palankov I.M. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2014, no 2, pp. 49–54.

3. Tseitlin Ya.I., Smolii N.I. *Seismicheskie i udarnye vozdushnye volny promyshlennykh vzryvov* (Seismic and shock waves of production blasting), Moscow, Nedra, 1981.