

УДК 622.235

**Лещинский Александр Валентинович**  
доктор технических наук, доцент, профессор,  
Тихоокеанский государственный университет,  
680035 г. Хабаровск,  
ул. Тихоокеанская, 136  
e-mail: [000399@pnu.edu.ru](mailto:000399@pnu.edu.ru)

**Шевкун Евгений Борисович**  
доктор технических наук, профессор,  
Тихоокеанский государственный университет  
e-mail: [ev.shevkun@yandex.ru](mailto:ev.shevkun@yandex.ru)

### **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗАБОЙКИ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН НА СНИЖЕНИЕ ВЫХОДА НЕГАБАРИТНЫХ КУСКОВ ГОРНОЙ МАССЫ**

#### *Аннотация:*

Приведены требования, предъявляемые к забойкам взрывных скважин; в Тихоокеанском государственном университете проведен поиск конструкций забоек взрывных скважин, которые бы отвечали указанным требованиям; рассмотрены наиболее удачные решения. Для забойки скважин с гладкими стенками разработана конструкция распорной забойки, представляющей собой полый разрезной цилиндр, в который вставлен распорный конус. Экспериментальные полигонные и промышленные испытания распорных забоек показали, что они могут запираться взрывные скважины до камуфлета, но высокие давление и температура требуют изготовления таких забоек из стали, они дороги при изготовлении, а также вместе с горной массой могут попасть в зев дробилки. Для скважин с трещиноватыми стенками разработана забойка в виде монолитного бетонного конуса, полость скважины вокруг забойки и над ней до устья заполняется крупнокусковым материалом, перемешанным для газонепроницаемости с мелкофракционным материалом. Экспериментальные полигонные и промышленные испытания забоек такой конструкции показали, что они могут запираться взрывные скважины до камуфлета, однако бетонные конусы имеют большую массу, особенно при забойке скважин больших диаметров, что ограничивает их применение. Для того чтобы объединить достоинства и устранить недостатки рассмотренных забоек, предложена комбинированная забойка, выполненная в виде конуса, изготовленного из эластичного материала, например, вулканизированной резины. Конус в верхней части выполнен монолитным, а в нижней части – полым с продольными разрезами в виде лепестков. Обеспечивая длительную замкнутость зарядной полости до разрушения устья скважины, такая забойка способствует более полному протеканию вторичных реакций в продуктах детонации и, соответственно, повышает энергию взрыва.

*Ключевые слова:* забойка, взрывная скважина, распорный конус, газонепроницаемость забойки, энергия взрыва, продукты детонации.

DOI: 10.25635/2313-1586.2020.01.093

**Leshchinsky Alexander V.**  
Doctor of Technical Sciences,  
Associate Professor, Professor,  
Pacific State University,  
680035 Khabarovsk, 136 Tikhookeanskaya street  
e-mail: [000399@pnu.edu.ru](mailto:000399@pnu.edu.ru)

**Shevkun Yevgeny B.**  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Pacific State University  
e-mail: [ev.shevkun@yandex.ru](mailto:ev.shevkun@yandex.ru)

### **INFLUENCE OF THE DESIGN OF BLASTING WELLS TAMPING ON REDUCING THE YIELD OF OVERSIZE ROCK MASS MATERIAL**

#### *Abstract:*

The paper contains the requirements for tamping the blasting wells. The Pacific State University has made a search for structures of blast hole faces that would meet these requirements and considered the most successful solutions. For tamping wells with smooth walls, a spacer design has been developed, which is a hollow split cylinder with a spacer cone inserted into it. Experimental field tests and industrial tests of spacer tamping have shown that they can lock explosive wells up to camouflet, but high pressure and temperature require making them from steel. They are expensive to manufacture, and they can get into the mouth of the crusher together with the rock mass. For wells with fractured walls, a tamping in the form of a monolithic concrete cone has been developed. The well cavities around the tamping and above it up to the mouth is to fill with coarse aggregate mixed with fine-grained material for gas tightness. Experimental land-fill tests and industrial tests of such design have shown that they can lock explosive wells up to camouflet, however, concrete cones have a large mass, especially when drilling large diameter wells, this can limit their use. In order to combine the advantages and eliminate the disadvantages of the considered tamping designs, a combined tamping is proposed in the form of a cone made of an elastic material, such as vulcanized rubber. The cone in the upper part is made monolithic, and in the lower part – hollow with longitudinal sections in the form of petals. Providing a long-term closure of the charging cavity until the wellhead is destroyed, this plugging contributes to a more complete flow of secondary reactions in the detonation products and, accordingly, increases the energy of the explosion.

*Keywords:* tamping, blast well, shut-off cone, gas tightness of the tamping, explosion energy, detonation products

## Введение

Повышению полезного использования энергии взрыва способствует длительное запираание продуктов детонации в зарядной полости с помощью забойки, роль которой, согласно современным теоретическим представлениям, многообразна. В настоящее время продолжается исследование различных конструкций забоек взрывных скважин [1-7]. Анализ существующих исследований работы забоек показал, что забойка должна иметь малую длину, располагаться у устья скважины и надежно запирает скважину до момента разрушения массива [8 –10]. Засыпные забойки не отвечают указанным требованиям, т. к. длина их велика. Большинство отечественных и зарубежных ученых считает, что оптимальное соотношение длины засыпной забойки и диаметра скважины составляет от 14 в трудно взрывающихся породах и до 28 в легко взрывающихся в зависимости от свойств ВВ и породы, а также направления инициирования скважинного заряда.

Целью работы является создание конструкции такой забойки, которая бы запирает продукты детонации в зарядной полости до разрушения устья скважины, обеспечивая замкнутость зарядной полости до разрушения устья скважины.

Кроме того, ставятся задачи обеспечения более полного протекания вторичных реакций в продуктах детонации и, соответственно, повышения энергии взрыва, это особенно важно для современных крупнодисперсных взрывчатых веществ (ВВ) типа гранулитов и граммонитов, у которых значительная доля энергии выделяется в процессе вторичных реакций. Забойка должна быть одноразового использования, проста в изготовлении, иметь низкую стоимость и при попадании в дробилку не выводить ее из строя.

В связи с этим в Тихоокеанском государственном университете был проведен поиск конструкций забоек взрывных скважин, которые бы отвечали указанным выше требованиям. В результате работы получено около 40 патентов на изобретения. Далее предлагается рассмотреть наиболее удачные решения.

### Изложение рассматриваемых вопросов

Для забойки скважин с гладкими стенками разработана конструкция распорной забойки [11]. В принципе она представляет собой полый разрезной цилиндр, в который вставлен распорный конус (рис. 1).

В первый момент после взрыва распорный конус под действием газообразных продуктов взрыва работает как клин. Сила  $P_r$ , с которой давят газообразные продукты взрыва на торцевую поверхность забойки и выдавливают ее из скважины, равна  $P_r = 0,25\rho\pi D_{ц}^2$ , где  $\rho$  – давление газов взрыва, МПа;  $D_{ц}$  – наружный диаметр разрезного цилиндра, м.

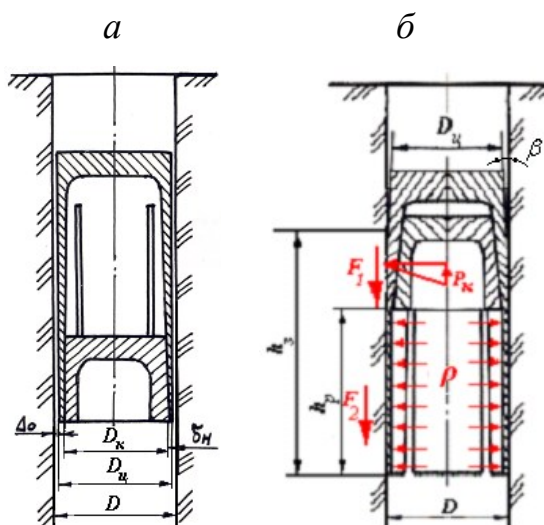


Рис. 1 – Схемы для расчета основных параметров распорной забойки:  
а – положение распорного конуса до взрыва;  
б – положение распорного конуса после взрыва

Сила, с которой распорный конус вдавливается газами в разрезной цилиндр,  $P_k = 0,25\rho\pi D_k^2$ , где  $D_k$  – диаметр нижнего основания распорного конуса, м.

Расклинивающее усилие  $N$ , действующее от распорного конуса на разрезной цилиндр, равно  $N = P_k \sin \beta$ , где  $\beta$  – угол наклона образующей распорного конуса к вертикальной плоскости, град.

Учитывая, что диаметр скважины  $D$ , наружный диаметр цилиндра  $D_{ц}$  и диаметр нижнего основания распорного конуса  $D_k$  незначительно отличаются по величине, с достаточной степенью точности можно сделать допущение об их равенстве и принять равными  $D$ .

Сила, с которой разрезные элементы цилиндра прижимаются к стенкам скважины,  $Q = N \cos \beta = P_k \sin \beta \cos \beta = \rho\pi \frac{D^2}{8} \sin 2\beta$ .

Распорный конус под давлением газообразных продуктов взрыва работает как клин. Сила трения  $F_T$ , удерживающая забойку в скважине, равна

$$F_T = Q f_1 = \frac{\rho\pi D^2 f_1}{8} \sin 2\beta,$$

где  $f_1$  – коэффициент трения разрезного цилиндра о стенки скважины.

Для того чтобы забойка не вылетела из скважины до разрушения породы в устье скважины, где она установлена, должно соблюдаться следующее условие:

$$P_k \leq F_T, \quad (1)$$

или  $\rho\pi \frac{D_{ц}^2}{4} \leq \rho f_1 \pi \frac{D_k^2}{8} \sin 2\beta$ , а коэффициент трения  $f_1$  материала забойки о стенки скважины:

$$f_1 \geq \frac{2D_{ц}^2}{D_k^2 \sin 2\beta}. \quad (2)$$

Анализ выражения (2) показывает, что коэффициент трения разрезного цилиндра о стенки скважины должен быть в несколько раз больше единицы, что невозможно. Отсюда можно сделать вывод, что нельзя удержать забойку в скважине при взрыве только за счет трения о стенки скважины расклинивающим действием распорного конуса.

Таким образом, для обеспечения запирающего действия устья скважины при взрыве требуются забойки такой конструкции, чтобы для удержания использовалось не только расклинивающее воздействие распорного конуса на разрезной цилиндр, но и давление газообразных продуктов взрыва.

Сила  $Q_{г}$ , с которой газы давят на внутреннюю боковую поверхность  $S_k$  распорного полого разрезного конуса, равна  $Q_{г} = \rho S_k$ .

Внутренняя полость разрезного цилиндра имеет коническую форму, тогда площадь  $S_k$  определится  $S_k = \pi h_3 \frac{(D + D_k)}{2}$ , а сила  $Q_{г}$ , с которой газы давят на внутреннюю боковую поверхность распорного полого разрезного конуса  $Q_{г} = \rho \pi h_{зг} \frac{(D + D_k)}{2}$ , где  $h_{зг}$  – высота площади контакта забойки со стенками скважины за счет прижатия газами.

Для рассматриваемой конструкции забойки сила трения, удерживающая забойку в скважине,  $F_2 = (Q + Q_{г})f_1$ , или в развернутом виде

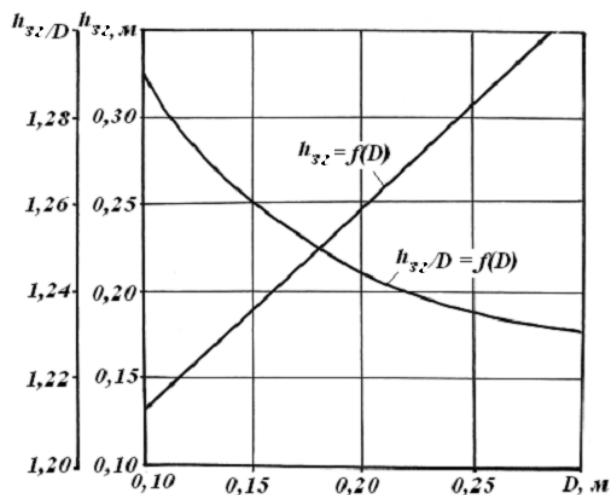
$$F_2 = \frac{\pi \rho}{2} \left( \frac{D^2}{4} \sin 2\beta + (D + D_k)h_3 \right) f_1.$$

Учитывая условие (1), чтобы забойка не вылетела из скважины до разрушения породы в устье скважины, можно определить минимально необходимую высоту площади контакта забойки со стенками скважины  $h_{зг}$  за счет прижатия газами:

$$\rho\pi\frac{D^2}{4} \leq \frac{\rho\pi}{2} \left( \frac{D^2}{4} \sin 2\beta + (D + D_k)h_{зг} \right) f_1, \text{ отсюда } h_{зг} \geq \frac{D^2 \left( \frac{1}{f_1} - \frac{\sin 2\beta}{2} \right)}{2(D + D_k)}.$$

На рис. 2 приведены зависимости минимально необходимой высоты контакта забойки  $h_{зг}$  со стенками скважины и отношения  $h_{зг}/D$  от диаметра скважины.

Рис. 2 – Зависимость минимально необходимой высоты контакта  $h_{зг}$  забойки со стенками скважины от диаметра скважины  $D$



Зазор  $\Delta_0$  между разрезным цилиндром и стенкой скважины для свободного опускания забойки принят равным 5 мм, а толщина разрезных элементов в нижней части разрезного цилиндра  $\delta_n = 2$  мм. Угол наклона образующей конуса к вертикали –  $11^\circ$ .

$$D_k = D - 2(\Delta_0 + \delta_n).$$

Анализ приведенных графиков показывает, что с увеличением диаметра скважины  $D$  необходимая для удержания в скважине высота контакта  $h_{зг}$  забойки со стенками скважины увеличивается, при этом соотношение  $h_{зг}/D$  снижается. Это уменьшение объясняется тем, что зазор  $\Delta_0$ , необходимый для свободного опускания забойки в скважину, и толщина разрезных элементов в нижней части цилиндра  $\delta_n$  не зависят от диаметра скважины, поэтому чем меньше диаметр скважины, тем их влияние на отношение  $h_{зг}/D$  больше.

Подвесная распорная забойка (рис. 3) размещается в скважине опусканием на удерживающем канатике 3, а устанавливается в скважине с помощью натяжного приспособления 5, для чего она опускается на глубину, обеспечивающую размещение верха распорной трубы 4 на уровне поверхности уступа.

Затем на скважину устанавливается натяжное приспособление, канатик забойки пропускается через отверстие платформы приспособления.

Распорная труба подвесной забойки упирается снизу в платформу натяжного приспособления и удерживает разрезной цилиндр 1 забойки в неподвижном положении, в то время как распорный конус 2 канатиком, наброшенным в несколько витков на натяжной рычаг 6, втягивается в цилиндр. При смещении распорного конуса вверх он раздвигает элементы нижней части разрезного цилиндра, прижимает их к стенкам скважины и создает предварительный распор забойки.

При взрыве динамический удар по распорному конусу продуктов взрыва с весьма высоким давлением вдавливают его в стенки цилиндра и окончательно заклинивает забойку в скважине.

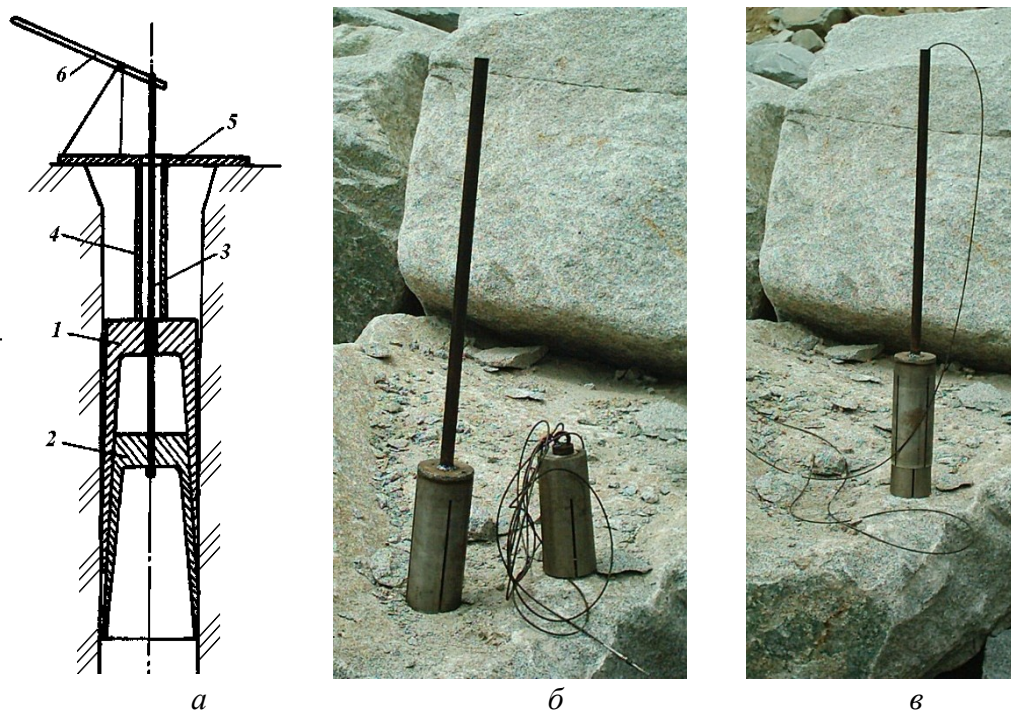


Рис. 3 – Подвесная распорная забойка:  
*а* – схема забойки; *б* – элементы забойки; *в* – забойка в сборе

По результатам взрывов можно сделать вывод о том, что распорные забойки, установленные в скважины с ровными и гладкими стенками, хорошо удерживаются в скважине и запирают газы. После разрушения породы вокруг забойки она не может далее удерживаться в скважине за счет сил трения и остаточным давлением газов выбрасывается из скважины.

Для скважин с трещиноватыми стенками была разработана забойка [12] в виде монолитного бетонного конуса (рис. 4).



Рис. 4 – Закладные элементы (*а*) и размещение их в скважине (*б*)

Конус *1* (рис. 5) размещен на буферном воздушном промежутке *2*, выполненном, например, из пенополистирола. Над зарядом взрывчатых веществ *8* также устанавливается воздушный промежуток *10*, выполненный, например, из пенополистирола, а на него подсыпается подушка *9* из мелкозернистого материала, например, песка или бурового шлама.



В скважине 5 над воздушным промежутком высотой 2 м размещена забойка, состоящая из засыпной части внизу высотой 2,2 м ( $10,2 d_c$ ) и закладной части сверху из бетона высотой 0,8 м ( $3,7 d_c$ ). Бетон изготавливали на блоке в подручной емкости, замешивание и размещение бетона в скважину осуществляли вручную. Интервал времени между помещением бетона в скважину и массовым взрывом составил около 22 ч.

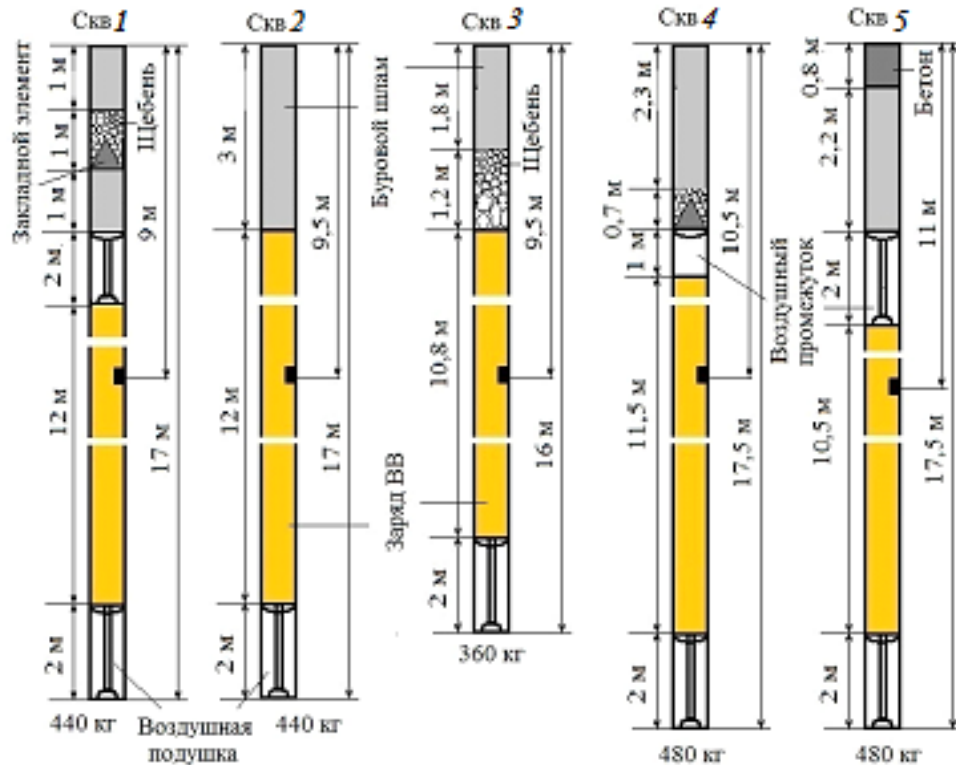


Рис. 6 – Параметры и конструкция скважинных зарядов

В результате взрыва можно отметить следующее. Из скважин 1 и 4 выброса материала забоек не отмечено, комбинированная забойка с закладными элементами в виде конуса со щебневой засыпкой длиной  $14 d_c$ , размещенная над воздушным промежутком, надежно запирает ПВ до разрушения массива горных пород.

Динамика процессов выброса забоечного материала из скважин приведена на рис. 7.

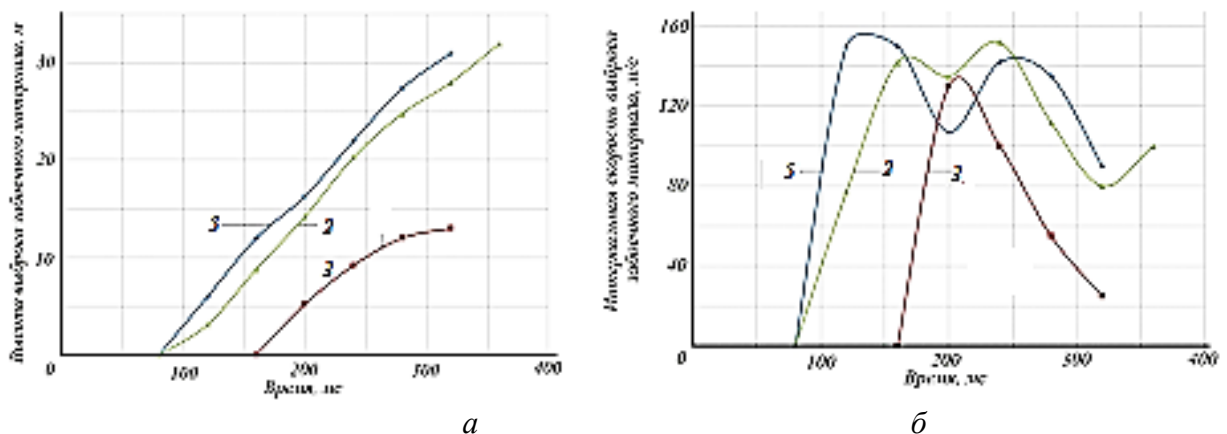


Рис. 7 – Динамика выбросов забоечного материала из скважин: а – высота выброса; б – интервальные скорости

По рис. 7 можно отметить следующее. Каменно-засыпная забойка в скважине 3 на 80 мс дольше запирает продукты детонации, и динамика ее выброса отличается четким и резким нарастанием и спадом интервальной скорости. Комбинированная бетонно-засыпная забойка 5 (при существенно больших затратах на установку) имеет близкие показатели с засыпной забойкой 2 такой же длины: одинаковое время задержки выброса забоечного материала до 120 мс и практически одинаковую динамику выброса забоечного материала. В целом комбинированные забойки с закладными элементами в виде бетонного конуса, расклиненного щебнем в стенки скважины, и бетонно-засыпные забойки показали более высокую запирающую способность в сравнении с засыпными.

Экспериментальные полигонные и промышленные испытания забоек такой конструкции показали, что они могут запирают взрывные скважины до камуфлета, однако бетонные конусы имеют большую массу, особенно при забойке скважин больших диаметров, что ограничивает их применение.

Выявлено, что запирающая способность комбинированных забоек с закладными элементами в виде бетонных конусов длиной  $13,6 d_c$  сопоставима с засыпными забойками длиной  $23 d_c$ .

Для того чтобы объединить достоинства и устранить недостатки рассмотренных забоек, предложена следующая конструкция комбинированной забойки скважин [14].

Комбинированная забойка 1 выполнена в виде конуса, изготовленного из эластичного материала, например, вулканизированной резины (рис. 8).

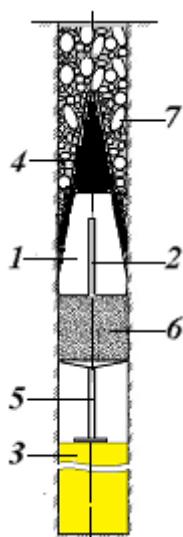


Рис. 8 – Схема комбинированной засыпной забойки скважин:

1 – забойка; 2 – разрез; 3 – заряд взрывчатых веществ; 4 – скважина; 5 – затвор; 6 – подушка; 7 – крупнокусковой засыпной материал

Конус в верхней части выполнен монолитным, а в нижней части – полым переменной эластичности с наибольшей эластичностью в нижней части. Конус имеет минимум три вертикальных разреза 2 в нижней полый части, образуя лепестки.

Комбинированная забойка работает следующим образом. На поверхность заряда 3 взрывчатых веществ в скважине 4 устанавливается затвор 5, на который засыпается подушка 6 из мелкофракционного материала, например, бурового шлама, песка и т. п. высотой около двух диаметров скважины. Высота стойки затвора определяет высоту расположения забойки в скважине. Забойку опускают в скважину и устанавливают на подушку. Полость скважины вокруг забойки и над ней до устья заполняется крупнокусковым материалом 7 размером 0,2 – 0,5 диаметра скважины, перемешанным для газонепроницаемости с мелкофракционным материалом. Комбинированная забойка готова к работе.

После детонации заряда взрывчатых веществ в зарядной полости резко возрастает давление продуктов детонации до величин в несколько десятков тысяч атмосфер и про-



исходит удар газов по подушке, несколько смягченный наличием воздушного промежутка, снижающего пиковое давление продуктов детонации. Начавшая движение засыпная подушка смягчает удар по конусу, прижимает лепестки разрезной части конуса к стенкам скважины и обеспечивает герметичность контакта лепестков забойки со стенками скважины. Таким образом, первый удар принимает разрезная часть забойки, удерживая продукты детонации за счет их давления на лепестки. Однако высокие давление и температура воздействуют на разрезную часть забойки, и она может быть разрушена. В это время вступает в работу верхняя часть забойки, выполненная в виде сплошного конуса.

Забойка, сдвигаясь, расклинивает крупный щебень в стенки скважины, создает еще одну удерживающую пробку в забойке, позволяющую исключить выброс забойки до полного разрушения массива горных пород в районе устья скважины и прорыва продуктов детонации из зарядной полости в атмосферу через трещины в разрушенном массиве.

### *Выводы*

Обеспечивая замкнутость зарядной полости до разрушения устья скважины, такая забойка способствует более полному протеканию вторичных реакций в продуктах детонации и, соответственно, повышает энергию взрыва; это особенно важно для современных крупнодисперсных ВВ типа гранулитов и граммонитов, у которых значительная доля энергии выделяется в процессе вторичных реакций. Забойка одноразового использования имеет низкую стоимость, проста в изготовлении, и безопасна при попадании в дробилку.

### **Литература**

1. Пат. № 2709847 Российская Федерация. Способ взрыво-динамической забойки взрывных скважин / К.Н. Трубецкой, Ю.П. Галченко, Е.Д. Якушева; заявл. 24.04.2019, опубл. 23.12. 2019.
2. Катанов И.Б. Обоснование рационального состава пеногелей для забойки скважин / И.Б. Катанов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018. – № 3 (127). – С. 22 - 30.
3. Дугарцыренов А.В. Исследование процесса вылета забойки при взрыве скважинных зарядов с учетом ее разрушения / А.В. Дугарцыренов // Взрывное дело. – 2017. – № 117/74. – С. 37 - 49.
4. Дугарцыренов А.В. Учет сил трения при движении забойки в скважине / А.В. Дугарцыренов // Взрывное дело. – 2017. – № 117/74. – С. 37 - 49.
5. Комков В.Г. Лабораторный стенд для исследования запирающей способности забоек взрывных скважин / В.Г. Комков // Ученые заметки ТОГУ. – 2019. – Том. 9. – № 2. – С. 1047 - 1051.
6. Пат. № 2704694 Российская Федерация. Подвесная скважинная забойка / С.А. Белозеров, А.Ю. Жаринов, В.А. Зыков, А.С. Иванов, С.А. Кондратьев, С.А. Поздняков, С.В. Ушаков; заявл. 29.05.2019, опубл. 30.10.2019.
7. Chernobai V., Kovalevsky V. Solving the issue of regulating the granulometric composition of shattered rock mass depending on the quality of locking explosion products in the explosion cavity // International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET). - 2017. - Vol. 8. Issue 11, November. - P. 1133 - 1142.
8. Влияние забойки на степень дробления горных пород взрывом / Г.П. Демидюк, В.Д. Росси, Н.Ф. Андрианов, В.А. Усачев // Взрывное дело. – 1963. – № 53/10. – С. 96 - 105.
9. Ignatov V.N., Hakulov V.V. (2017) Open pit mining robotization. Proceedings 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM. - 2017. - P. 1 - 5. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076149

10. Influence of quarry mining dust on PM<sub>2.5</sub> in a city adjacent to a limestone quarry: Seasonal characteristics and source contributions/ Xing Peng, Guo-Liang Shi, Jun Zheng, Jia-Yuan Liu et al. // Science of The Total Environment. - 2016. - Vol. 550. - P. 940 - 949.

11. Пат. № 2285898 Российская Федерация. Подвесная забойка взрывных скважин / А.В. Лещинский, Е.Б. Шевкун, Д.В. Левин, Г.В. Матушкин; заявл. 22.03.2005, опубл. 20.10.2006, Бюл. № 29.

12. Пат. №2462688 Российская Федерация. МПК F42D 1/08. Комбинированная засыпная забойка скважин / Е.Б. Шевкун, А.В. Лещинский, К.А. Рудницкий, А.С. Николаев; заявл. 28.02.11, опубл. 27.09.2012, Бюл. № 27.

13. Миндели Э.О. Забойка шпуров / Э.О. Миндели, П.А. Демчук, В.Е. Александров. – М.: Недра, 1967. – 152 с.

14. Пат. № 2371670 Российская Федерация. Комбинированная забойка / А.В. Лещинский, Е.Б. Шевкун, А.В. Языков; заявл. 27.05.2008, опубл. 27.10.2009, Бюл. № 30.