УДК 622.235

А.В.ЛЕЩИНСКИЙ, Е.Б.ШЕВКУН
Тихоокеанский государственный университет,
Хабаровск, *Россия*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ПЕНОПЛАСТА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ

Исследована возможность применения элементов из пенопласта для создания воздушных промежутков скважинных зарядов. Сформулированы требования к элементам, используемым в различных типах скважин. Выявлено, что элементы кубической формы наиболее универсальны и подходят для формирования воздушных промежутков в любых типах скважин.

The possibility of elements from a foam plastics use for creation of air gaps deep-hole charge is analyzed. The requests to elements used in various types of slits are formulated. Is revealed, that the elements of the cubic form are most universal and approach for shaping air gaps in any types of slits.

Многочисленными исследованиями установлено [1-3], что метод скважинных зарядов, рассредоточенных воздушными промежутками, дает возможность значительно повысить полезную работу взрыва. При этом достигается снижение расхода ВВ, уменьшается доля энергии на переизмельчение породы в ближней зоне взрыва, снижается выход негабарита, а размер среднего куска уменьшается в 1,5-2,0 раза.

В настоящее время одним из наиболее технологичных способов создания воздушных промежутков является использование пенополистирола, широко применяемого в строительной индустрии для изготовления, например, пенопласта для утепления стен [5]. Плотность пенополистирола составляет 10-15 кг/м^3, в гранулах он содержит до 98 % воздуха. Однако такая малая плотность материала создает некоторые трудности: в ветреную погоду пенополистирол при засыпке из мерной емкости в скважину раздувается ветром. Это требует применения дополнительных приспособлений (воронок, рукавов и пр.). Кроме того, гранулы пенополистирола электризуются, что также затрудняет засыпку его в скважину.

Для устранения указанных недостатков целесообразно формировать воздушные промежутки в скважинах выполненными из пенопласта элементами различной формы, свободно проходящими в скважину.

Прежде чем определять оптимальную форму элементов из пенопласта, следует установить тип скважин, в которых создаются воздушные промежутки:

- при бурении в породах ненарушенной структуры скважины имеют правильную цилиндрическую форму постоянного диаметра;
- при бурении в породах нарушенной структуры наблюдаются местные разрушения (вывалы) стенок скважины и диаметр скважины изменяется по высоте;
- при бурении в трещиноватых с субвертикальными трещинами породах ненарушенной и нарушенной структур буровая штанга изгибается, и скважина получается искривленной относительно продольной оси. Кроме того, отмечаются вывалы стенок скважины и диаметр скважины изменяется по высоте.

В первую очередь при выборе формы элементов из пенопласта для создания воздушных промежутков скважинных зарядов следует сформулировать предъявляемые к ним требования. Для скважин, имеющих правильную цилиндрическую форму, должны выполняться следующие требования:

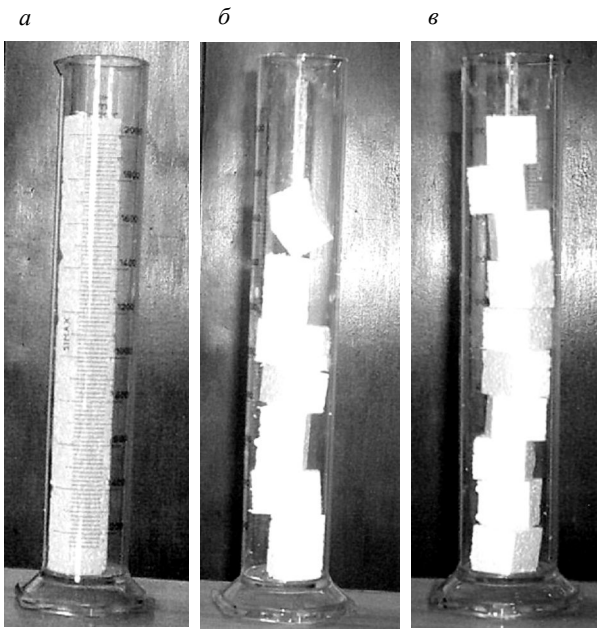


Рис.1. Расположение элементов прямоугольной формы в скважине: *а* – параллелепипедов с длиной одной из граней, равной высоте воздушного промежутка; *б* – параллелепипедов с длиной одной из граней, меньшей диаметра скважины, но большей ее радиуса; *в* – кубиков

1. Элемент свободно опускается в скважину.

2. Для снижения расхода пенопласта необходимо стремиться к минимальному коэффициенту заполнения скважины. Это условие будет соблюдаться при следующих требованиях:

- на одном уровне в скважине располагать не более одного элемента;
- форма элемента должна обеспечивать его минимальный объем.

3. Необходимо, чтобы каждый из элементов создавал одинаковый промежуток и достижение заданной высоты определялось количеством уложенных элементов.

Рассмотрим возможность использования элементов прямоугольной формы, которые легко нарезать из стандартных плит пенопласта, широко применяемого в строительной индустрии. Наиболее простой случай – применять элементы, нарезанные в виде параллелепипедов (рис.1).

В скважинах правильной цилиндрической формы постоянного диаметра воздушные промежутки предлагается создавать параллелепипедами с длиной одной из граней, равной высоте воздушного промежутка (рис.1, *а*). Размеры поперечного сечения параллелепипеда должны, с одной стороны, обеспечить свободное прохождение элемента в скважину, с другой – изгибную прочность элемента. Одинаковая прочность элемента по осям x и y (рис.2, *а*) соблюдается при его сечении в форме квадрата. Длина стороны

$$b = \frac{D}{\sqrt{2}} = 0{,}71D\,. \qquad (1)$$

Как уже указывалось, уменьшение диаметра скважины, пробуренной изношенной коронкой, составляет до 7,8 %, поэтому максимальный размер грани параллелепипеда

$$b = 0{,}71 \cdot 0{,}92\,D \approx 0{,}65\,D\,. \qquad (2)$$

Для экономии заполнителя в зависимости от прочности пенопласта, из которого изготовлены элементы, и также высоты воздушного промежутка, длину грани квадрата можно уменьшать. Окончательные размеры поперечного сечения элемента определяются опытным путем.

В скважинах, пробуренных в породах нарушенной структуры, имеющих вывалы стенок, воздушные промежутки также предлагается создавать параллелепипедами с длиной одной из граней, равной высоте воздушного промежутка.

В скважинах, искривленных относительно продольной оси, создание воздушного промежутка установкой параллелепипеда с длиной одной из граней, равной высоте этого промежутка, затруднено. Рассмотрим два варианта.

Первый вариант. В искривленную скважину длинный параллелепипед опускается до упора в стенку скважины ниже ее искривления. Однако при этом неизвестно, какой длины следует изготавливать элемент, потому что точно неизвестно, на какой высоте он упрется в стенку скважины. Можно изготовить элемент уменьшенной длины, после упора в стенку скважины замерить положение его верхней части и опустить до необходимой высоты воздушного промежутка второй параллелепипед. Но все равно

этот способ не гарантирует заданную высоту воздушного промежутка из-за возможного проседания нижнего параллелепипеда.

Второй вариант. Изготовление параллелепипеда с уменьшенным поперечным сечением, в результате чего элемент становится гибким. Это позволяет ему изогнуться при погружении в скважину в соответствии с ее формой. Однако при погружении в скважину нижний конец элемента может упереться в стенку скважины ниже места изгиба и не дойти до места установки, что влечет за собой отмеченные недостатки.

Таким образом, применение параллелепипедов с длиной одной из граней, равной высоте воздушного промежутка, целесообразно в скважинах правильной цилиндрической формы, а также пробуренных в породах нарушенной структуры и имеющих вывалы стенок.

Рассмотрим целесообразность выполнения воздушных промежутков в скважинах правильной цилиндрической формы постоянного диаметра короткими параллелепипедами, размер длинной стороны которых должен обеспечивать первое условие, т.е. свободное прохождение элемента в скважину (см. рис.1, *б*). Для обеспечения второго условия поперечное сечение параллелепипеда должно представлять квадрат со стороной, равной *a*. Условие, когда форма элемента обеспечивает его минимальный объем, будет соблюдаться лишь в том случае, если параллелепипед расположен длинной стороной параллельно образующей цилиндра (скважины). Однако (рис.1, *б*) элементы располагаются в скважине длинной стороной перпендикулярно образующей цилиндра, в этом случае коэффициент заполнения скважины увеличивается. При этом не соблюдается не только данное требование, но и третье условие – чтобы каждый из элементов создавал одинаковый промежуток.

Таким образом, для соблюдения второго и третьего условий параллелепипед должен быть равносторонним, т.е. кубом. Однако изготовление элементов кубической формы требует бльших затрат, чем изготовление длинных параллелепипедов, поэтому в скважинах правильной цилиндрической формы воздушные промежутки следует создавать параллелепипедами с длиной одной из граней, равной высоте воздушного промежутка.

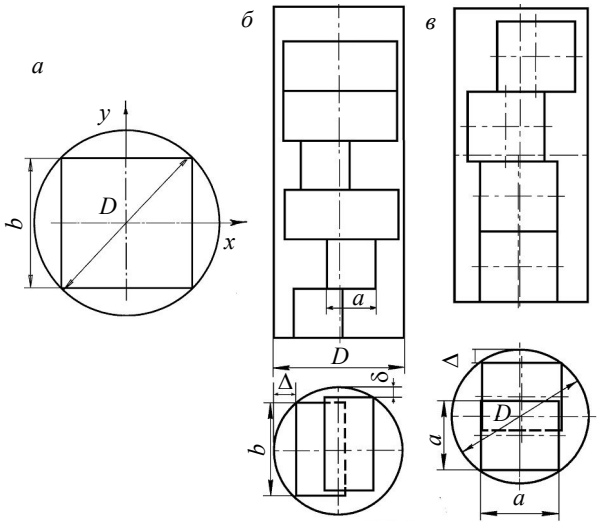


Рис.2. Схемы для определения рациональных параметров параллелепипедов из пенопласта в скважине: *а* – параллелепипедов с длиной одной из граней, равной высоте воздушного промежутка; *б* – с короткими параллелепипедами; *в* – кубиков

Рассмотрим целесообразность выполнения воздушных промежутков в скважинах, пробуренных в породах нарушенной структуры, имеющих вывалы стенок, искривленных относительно продольной оси короткими параллелепипедами. Размер длинной стороны элементов b должен обеспечивать первое условие, т.е. свободное прохождение элемента в скважину (рис.1, *б*; 2, *б*):

$$b \le D - 2\delta ,$$

где δ – зазор между стенкой скважины и короткой гранью параллелепипеда.

Для того чтобы при создании воздушного промежутка в скважине заполнением ее короткими параллелепипедами из пенопласта, последующий элемент не проваливался в зазор между стенкой скважины и предыдущим элементом, необходимо соблюдать следующее условие (рис.2, *б*):

$$a + \Delta > \frac{D}{2},$$

где a – длина короткой грани параллелепипеда; Δ – зазор между короткой гранью параллелепипеда и стенкой скважины.

Определим минимальный объем короткого параллелепипеда из условия, что $a = 0{,}5\sqrt{D^2 - b^2}$. Площадь проекции параллелепипеда на горизонтальную поверхность

$$F = a\,b = 0{,}5b\sqrt{D^2 - b^2}\ .$$

Возьмем первую производную от F и приравняем ее нулю:

$$F' = \frac{b}{\sqrt{D^2 - b^2}} = 0.$$

Отсюда $b = 0{,}71D$, тогда $a = 0{,}354D$.

Поскольку диаметр скважины, пробуренной новой коронкой, превышает номинальный размер до 6,4 %, следует увеличить размер грани параллелепипеда a на 0,07-0,08D. Тогда длина грани

$$a = 0{,}43D\ ,$$

а объем одного параллелепипеда

$$V_{\text{ï}} = a^2 b = 0{,}13D^3\ .$$

Рассмотрим возможность выполнения второго требования – для снижения расхода пенопласта необходимо на одном уровне в скважине располагать не более одного элемента. Это требование невыполнимо, так как размеры поперечного сечения скважины с разрушенными стенками колеблются в широких пределах и не позволяют точно определить форму, размеры и количество элементов.

Далее рассмотрим, как влияет форма короткого параллелепипеда на коэффициент заполнения скважины кубиками из пенопласта. Предположим, что параллелепипеды укладываются упорядоченно длинной стороной перпендикулярно образующей цилиндрической поверхности скважины, а высота воздушного промежутка кратна длине грани a. Тогда коэффициент заполнения

$$K_{\text{ç}} = \frac{V_{\text{ý}}}{V_{\text{ï}}} = \frac{4a^2 b}{\pi D^2 a} = 0{,}385D.$$

Фактически величина $K_{\text{з}}$ имеет меньшее значение, так как элементы в скважине укладываются не упорядоченно, а хаотически. Поэтому между ними увеличивается пустотность.

Все изложенное свидетельствует о том, что элементы из пенопласта, имеющие форму коротких параллелепипедов, вполне применимы для создания воздушных промежутков в скважинах, пробуренных в горных породах с нарушенной структурой и имеющих вывалы стенок скважины. По мере формирования воздушного промежутка необходимо производить замеры для определения соответствия фактической высоты воздушного промежутка заданной.

В скважинах, пробуренных в породах нарушенной структуры и искривленных относительно продольной оси, целесообразно выполнять воздушные промежутки кубиками из пенопласта.

Для того, чтобы при создании воздушного промежутка в скважине заполнением ее кубиками из пенопласта, кубик не проваливался в зазор между стенкой скважины и предыдущим кубиком, необходимо соблюдать следующее условие (рис.2, *в*):

$$a + \Delta > \frac{D}{2},$$

где a – длина грани кубика; Δ – зазор между гранью кубика и стенкой скважины,

$$\Delta = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2}\ ,$$

тогда

$$a + \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} > \frac{D}{2};$$

$$a > 0{,}447D\ . \qquad (3)$$

Поскольку диаметр скважины, пробуренной новой коронкой, превышает номинальный размер до 6,4 % [4], следует увеличить размер грани кубика a на 0,07-0,08D. Тогда длина грани кубика

$$a = 0{,}52D\ . \qquad (4)$$

Коэффициент заполнения скважины $K_{\text{з}}$ кубиками из пенопласта

$$K_{\text{ç}} = \frac{V_{\text{ê}}}{V_{\text{ö}}},$$

где $V_{\text{к}}$ – объем кубиков в скважине; $V_{\text{ê}} = a^3 n$, n – количество кубиков в скважине, рассчи-

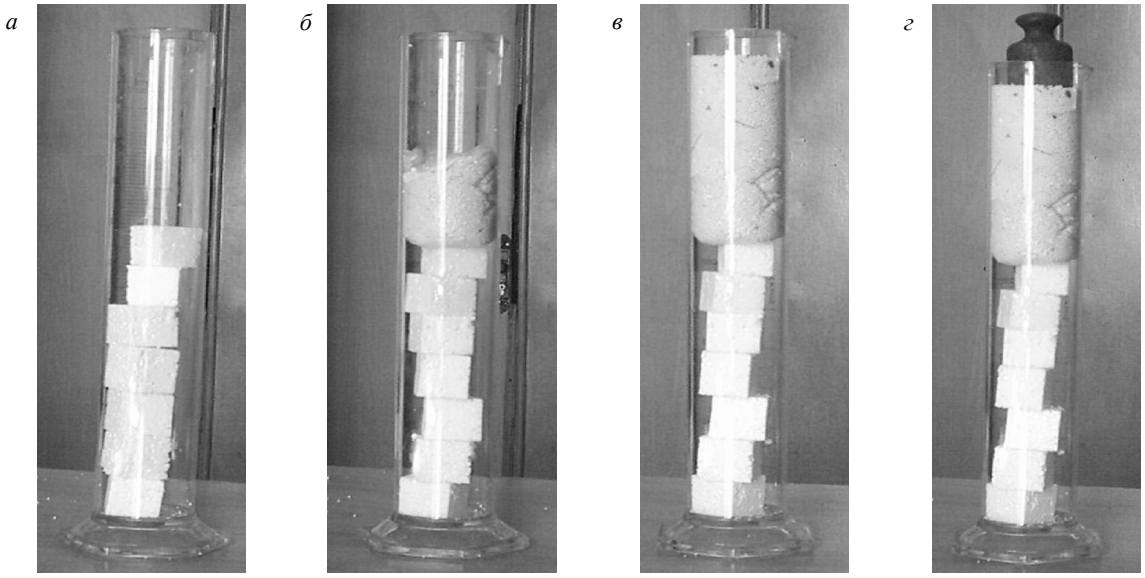


Рис.3. Использование кубиков из пенополистирола для создания воздушного промежутка:
а – формирование воздушного промежутка; *б* – перекрытие воздушного промежутка гранулированным ВВ в полиэтиленовом пакете; *в* – завершение формирования верхней части заряда засыпкой гранулированного ВВ; *г* – дополнительное нагружение кубиков пенопласта

тывается в зависимости от заданной высоты $H_{\text{п}}$ воздушного промежутка:

$$n = \frac{H_{\text{ï}}}{a};$$

$V_{\text{ц}}$ – объем скважины, в котором располагаются кубики из пенопласта;

$$V_{\text{ö}} = \frac{4a^3 n}{\pi D^2 an} = \frac{4a^2}{\pi D^2}.$$

Учитывая условие (4),

$$K_{\text{ç}} = \frac{4(0{,}52D)^2}{\pi D^2} = 0{,}344.$$

На рис.3 представлены результаты лабораторных исследований процесса заполнения скважины кубиками из пенопласта.

Исследования показали, что кубики, выполненные в соответствии с рекомендациями (1), не застревают в цилиндре, а устанавливаются гранями друг на друга (рис.3, *а*).

После создания в скважине воздушного промежутка элементами, изготовленными из пенопласта, производится засыпка ВВ или устройство засыпной забойки. Чтобы гранулы ВВ или забойка не просыпались между элементами воздушного промежутка, их следует отделить от верхней части скважины пробкой. Такую пробку предлагается изготавливать из того же гранулированного ВВ или материала засыпной забойки, помещенных в мягкий пакет, выполненный, например, из полиэтилена (рис.3, *б*). Объем пакета должен быть таким, чтобы после помещения его на кубики воздушного промежутка высота пакета составляла 0,5-1,0D. После этого на пробку засыпается остальная часть гранулированного ВВ или засыпной забойки (рис.3, *в*). Также была проверена возможность просадки воздушного промежутка, выполненного из кубиков пенопласта (рис.3, *г*). Для этого к поверхности заряда была приложена нагрузка величиной 0,002 МПа, соответствующая нагрузке от засыпной забойки. Исследование показало отсутствие просадки воздушного промежутка, выполненного из кубиков пенопласта.

Таким образом, для создания воздушных промежутков в скважинах в наибольшей степени отвечают элементы кубической формы с размером стороны $a = 0{,}52D$. Они свободно, не зависая, опускаются в скважину, обеспечивают минимальный коэффициент заполнения скважины пенопластом и

снижают его расход. Заданная высота воздушного промежутка определяется количеством уложенных элементов и не требует затрат времени на замеры.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баум Ф.А.* К вопросу оценки эффективности действия взрыва зарядов с воздушными промежутками // Взрывное дело. 1964. № 54/11. С.48-52.

2. *Кривошлык И.Р.* Выбор рациональной конструкции заряда на Всеволодо-Вильвенском карьере / И.Р.Кривошлык, М.И.Рудник, Г.С.Коркунов // Взрывное дело. 1963. № 51/8. С.159-169.

3. *Марченко Л.Н.* Методические указания по применению скважинных зарядов, рассредоточенных воздушными промежутками на открытых горных разработка / Л.Н.Марченко, В.С.Кудряшов // Взрывное дело. 1963. № 51/8. С.199-206.

4. *Степанов А.В.* Проектирование и ведение буровзрывных работ на предприятиях строительных материалов / А.В.Степанов, А.Д.Гдалин. Л.: Стройиздат, 1973. 184 с.

5. *Хайлов Б.А.* Технология производства и опыт применения в строительстве пенополистирольных комплексных систем ТИГИ-Кнауф. / Б.А.Хайлов, А.И.Палиев // Строительные материалы 1995. № 3. С.24-29.