



Электронное научное издание
«Ученые заметки ТОГУ»
2013, Том 4, № 4, С. 1430 – 1438

Свидетельство
Эл № ФС 77-39676 от 05.05.2010
<http://ejournal.khstu.ru/>
ejournal@khstu.ru

УДК 622.014.3:502.76

© 2013 г. А. В. Лещинский,
Е. Б. Шевкун

(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

РАССРЕДОТОЧЕНИЕ ЗАРЯДОВ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН ТЕЛАМИ ВРАЩЕНИЯ ИЗ ПЕНОПЛАСТА

При определении соотношения размеров шаров и скважины следует учитывать, что фактические диаметры скважин отличаются от диаметра бурового инструмента как из-за частичного обрушения стенок скважины при бурении, так и вследствие износа инструмента. Область применения шаров с номинальным диаметром вполне обеспечивает коэффициент заполнения скважины K_z , близкий к минимальному, что требует малого расхода пенопласта и повышает экономические показатели.

Ключевые слова: взрывные скважины, рассредоточение зарядов, пенопласт

A. V. Leschinsky, E. B. Shevkun

DISPERSAL OF CHARGES OF BLAST WELLS BY THE POLYFOAM BODIES OF ROTATION

When determining the ratio of the size of the balls and wells should take into account that the actual diameters of the wells differ from diameter drilling tools as due to the partial collapse of the walls of the well during drilling, and as a result of wear. Scope balls with nominal diameter of well provide the filling factor of the well K_z , close to the minimum, that requires small consumption of polyfoam and improves economic performance.

Keywords: blast wells, dispersal of charges, polyfoam

Одним из наиболее технологичных и дешевых способов рассредоточения скважинных зарядов является формирование воздушных промежутков из вспененного гранулированного полистирола (пенополистирола) [1]. Плотность пенополистирола составляет 15...20 кг/м³, и он содержит в гранулах до 98 % воздуха. Однако такая малая плотность материала создает некоторые трудности: в ветреную погоду пенополистирол при засыпке из мерной емкости в скважину раздувается ветром, что 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. Пенопласт широко применяется в строительной индустрии как материал для утепления стен, поэтому не дефицитен и достаточно дешев [2].

При выборе оптимальной формы и размеров элементов из пенопласта следует иметь в виду следующее:

- при бурении в породах ненарушенной структуры скважины имеют правильную цилиндрическую форму постоянного диаметра;
- при бурении в породах нарушенной структуры буровая штанга изгибается, особенно при субвертикальной трещиноватости, и скважина получается искривленной относительно продольной оси, кроме того, могут иметь место вывалы стенок скважины, что приводит к изменению диаметра скважины по высоте.

Поэтому 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:

1. Элемент свободно, не застревая, опускается в скважину.
2. Для снижения расхода пенопласта необходимо стремиться к минимальному коэффициенту заполнения скважины. Это условие будет соблюдаться при следующих требованиях:
 - 2.1. Размеры элементов таковы, что на одном уровне в скважине располагается не более одного элемента;
 - 2.2. Форма элемента обеспечивает его минимальный объем.
3. Для того, чтобы не производить замеров по мере формирования воздушного промежутка необходимо, чтобы каждый из элементов создавал одинаковый промежуток, и факт достижения заданной высоты определялся количеством уложенных элементов.

Рассмотрим элементы, выполненные в форме тел вращения (рис.1): сплюснутый эллипсоид (с осью вращения относительно короткой оси), вытянутый эллипсоид (с осью вращения относительно длинной оси), эллипсоид вращения с разной полуосью длиной оси (яйцевидной формы), и шар.

Определим целесообразность выполнения воздушных промежутков в скважинах из пенопласта элементами в форме сплюснутых эллипсоидов вращения (сфероидов).

Из рис. 2 видно, что есть различные варианты взаимного расположения в скважине сфероидов. Первое из вышеперечисленных требований соблюдается при условии, что $2a < D$, где a – половина длины сфероида по длинной оси; D – диаметр скважины.

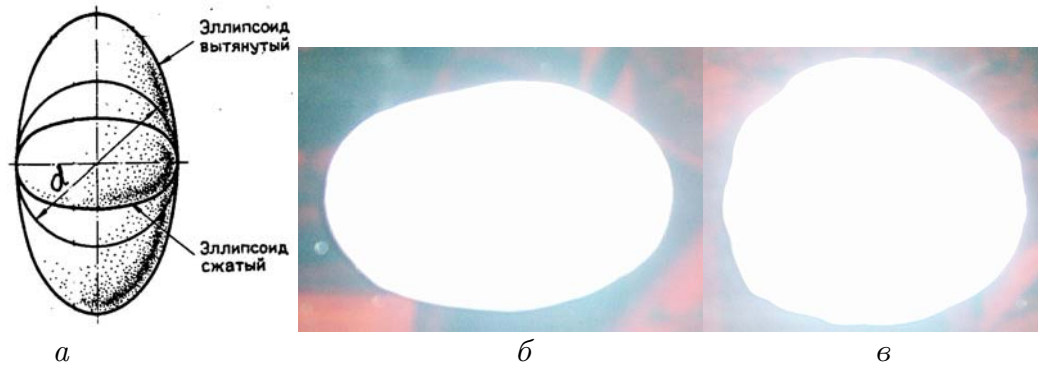


Рис. 1. Элементы в форме тел вращения: *a* – схема эллипсоидов; *б* – элемент в форме вытянутого эллипсоида; *в* – элемент в форме сфероида

Условию 2.1. отвечают сфероиды, у которых $2b > 0,5D$, где *b* - половина длины сфероида по короткой оси.

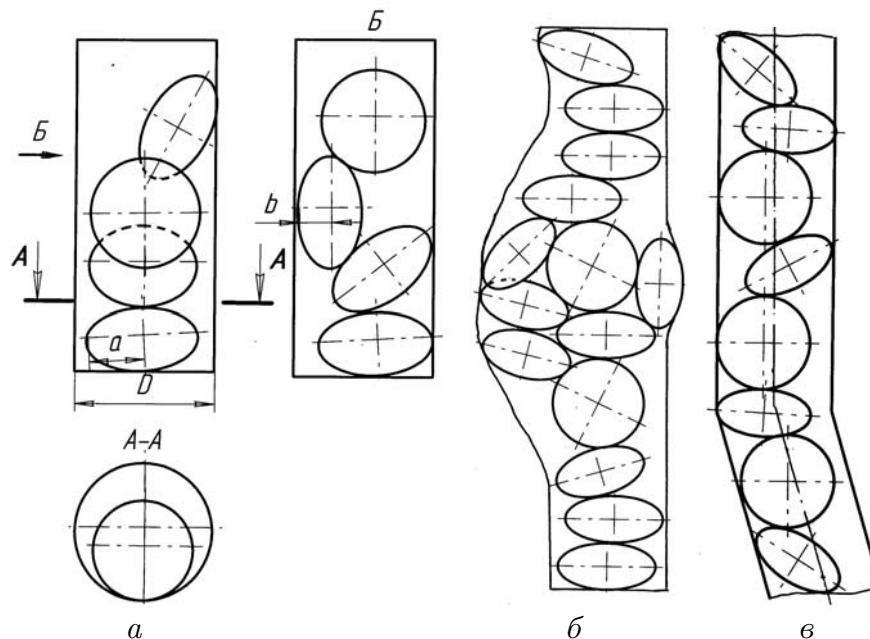


Рис. 2. Схема расположения в скважине элементов, имеющих форму сфероидов: *a* – в скважине правильной цилиндрической формы; *б* – в скважине с частично обрушенными стенками; *в* – в искривленной скважине

Известно, что объем сфероида V_{sc} равен $V_{sc} = \frac{4}{3}\pi a^2 b$, и его минимальный объем получается, когда $\frac{a}{b} \rightarrow 1$, т.е. он принимает форму шара.

Третье условие соблюдается лишь в том случае, когда сфероиды расположены короткой осью параллельно образующей цилиндра (скважины). Однако, как видно из рис. 2. *a*, сфероиды в скважине располагаются хаотично и расстояния между центрами элементов различные, поэтому для определения высоты создаваемого такими элементами воздушного промежутка требуется делать замеры. Расстояния между центрами элементов будет одинаковыми лишь в том случае, когда $b = a$, т.е. сфероид принимает форму шара.

Таким образом, элементы сфероидной формы не отвечают второму и третьему условиям и их применение для создания воздушных промежутков во взрывных скважи-

нах с ненарушенными стенками нецелесообразно.

Определимся с возможностью применения сфероидов для создания воздушных промежутков в скважинах, пробуренных в породах нарушенной структуры, где имеются местные разрушения стенок скважины, и диаметр скважины изменяется по высоте (рис. 2. б). Для таких скважин, безусловно, должно выполняться первое требование о том, что элемент свободно, не застревая, опускается в скважину.

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, влияет ли форма сплюснутого эллипсоида вращения на величину коэффициента заполнения скважины пенопластом. Предположим, что сфероиды укладываются упорядоченно и обеспечивают наиболее плотную упаковку (рис. 3, а).

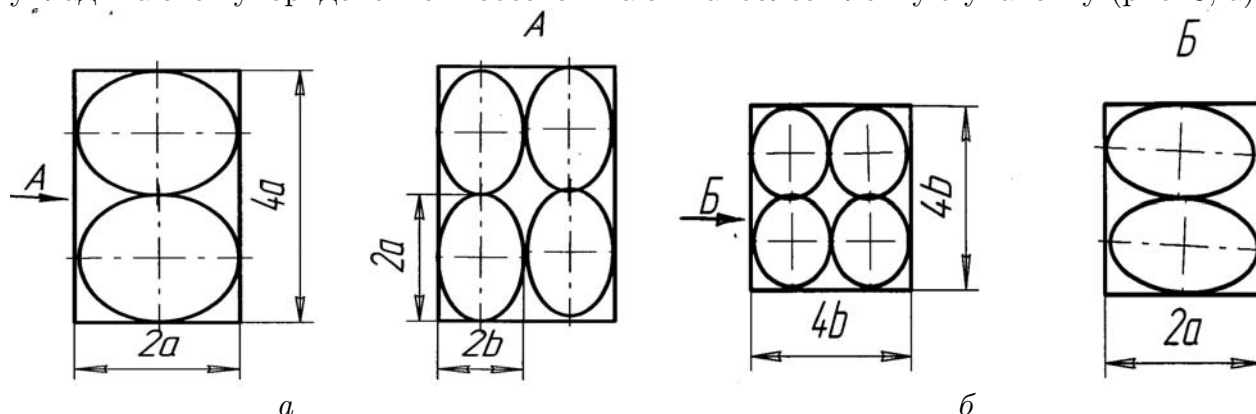


Рис. 3. Схемы для определения коэффициента заполнения сечения скважины элементами из пенопласта: а – сплюснутые эллипсоиды вращения; б – вытянутые эллипсоиды вращения

Коэффициент заполнения K_3 определится по формуле:

$$K_3 = \frac{V_3}{V_n}$$

где V_3 – суммарный объем элементов, выполненных из пенопласта; V_n – объем параллелепипеда, в котором заключены элементы.

$$k_3 = \frac{16\pi a^2 b}{3 \cdot 32 a^2 b} = \frac{\pi}{6} = 0,52.$$

Отсюда видно, что объем пустот не зависит от формы тел вращения, а максимальное значение коэффициента заполнения равно 0,52. Фактически величина K_3 имеет меньшее значение, так как элементы в скважине укладываются не упорядоченно, а хаотически. Поэтому промежутки между ними увеличиваются, т.е. увеличивается пустотность.

Таким образом, элементы из пенопласта, имеющие форму сфероида, вполне применимы для создания воздушных промежутков в скважинах, пробуренных в горных породах с нарушенной структурой и имеющих вывалы стенок скважины. Однако при этом, по мере формирования воздушного промежутка, необходимо производить замеры для определения заданной высоты.

Практика работы станков ударного бурения с выносными гидроударниками показывает, что при бурении скважин малого (100...130 мм) диаметра в породах с субвер-

тикальной трещиноватостью скважина искривляется, а при пересечении трещин с переменным направлением возникают резкие искривления, (рис.2, в), на которых даже закупают взрывчатые вещества кусковой формы, например, гексотал. Очевидно, что для таких скважин, как и для прямолинейных скважин цилиндрической формы, должно выполняться первое требование о том, что элемент свободно, не застревая, опускается в скважину. Но элементы сфероидной формы не отвечают второму и третьему условиям и их применение нецелесообразно для создания воздушных промежутков в искривленных взрывных скважинах с ненарушенными стенками.

Рассмотрим целесообразность выполнения воздушных промежутков элементами из пенопласта в форме вытянутых эллипсоидов вращения.

На рис. 4 показаны различные варианты взаимного расположения в скважине вытянутых эллипсоидов вращения.

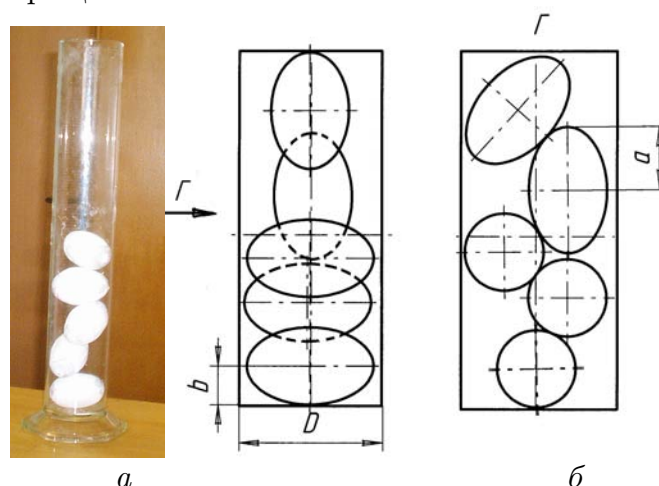


Рис. 4. Расположение в скважине элементов, имеющих форму вытянутых эллипсоидов: *a* – расположение элементов в лабораторном цилиндре; *б* – расчетная схема

Анализ показывает, что для элементов такой формы присущи те же недостатки, что и для сфероидов. Это же относится и к эллипсоидам вращения с разной длиной полуосей длинной оси (яйцевидной формы). Отсюда следует вывод, что предъявляемым требованиям к элементам в виде тел вращения для создания воздушных промежутков в цилиндрических скважинах в наибольшей степени отвечают элементы в форме шара.

Первое условие соблюдается, когда диаметр шара $d < D$, где d и D – диаметры шара и скважины.

Очевидно, что наибольшие пустоты между шарами и стенками скважины будут в том случае, если в поперечном сечении скважины, проходящем через центр шара, будет располагаться не более одного шара (условие 2.1). На рис. 5, *a* показано расположение в цилиндре шаров, диаметр которых меньше радиуса цилиндра, т.е. $d < 0,5D$. Видно, что упаковка элементов в скважине довольно плотная, и расстояние между центрами шаров не фиксированное, т.е. второе и третье условия не соблюдаются.

При условии, что $d > 0,5D$ шары в скважине располагаются упорядоченно, что хорошо видно в сравнении с шарами с соотношением диаметров $d < 0,5D$ (рис.5, *б*). Зная количество шаров и диаметры, можно подсчитать высоту воздушного промежутка (рис.5, *в*) следующим образом.

Объем скважины $V_{\text{ш}}$, в котором располагаются шары из пенопласта, определится:

$$V_{\text{ш}} = 0,25\pi D^2 H_n, \quad (1)$$

где H_n – высота части скважины, занятой воздушным промежутком из n шаров.

Эту высоту можно рассчитать по формуле:

$$H_n = 0,5d(n+1) + 0,5(n-1)\delta, \quad (2)$$

где δ – расстояние между двумя соседними шарами, оси которых расположены в одной вертикальной плоскости. Это расстояние (рис. 6) определится из следующих соображений:

$$\delta = 2a o_1 - d.$$



Рис. 5. Расположение шаров в цилиндре: a – диаметр шаров меньше радиуса цилиндра; b – в нижней части диаметр шаров меньше радиуса цилиндра, в верхней части – диаметр шаров больше радиуса цилиндра; δ – диаметр шаров больше радиуса цилиндра

$$\text{Отрезок } a o_1 = \sqrt{(o_1 o_2)^2 - (a o_2)^2}.$$

$$\text{Отрезок } a o_2 = D - d, \text{ а отрезок } o_1 o_2 = d.$$

$$\text{Отсюда отрезок } a o_1 = \sqrt{d^2 - (D - d)^2}.$$

Таким образом, δ определится:

$$\delta = \sqrt{2Dd - D^2} - d. \quad (3)$$

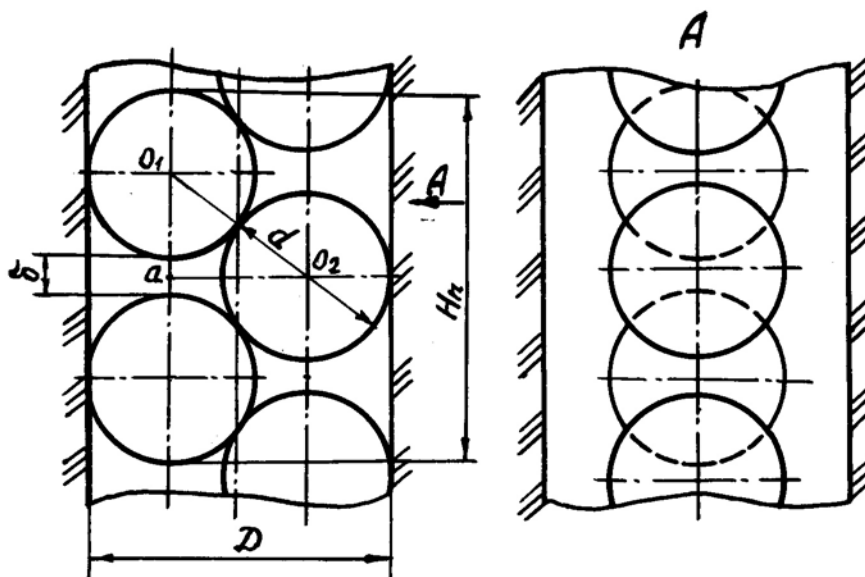


Рис. 6. Расчетная схема для определения рациональных параметров шаров из пенопласта в скважине при условии $d > 0,5D$

Подставив полученные значения δ в (2) и H_n в (1), получим выражение для расчета объема скважины V_u , занимаемого n количеством шаров:

$$V_u = 0,25\pi D^2 \left[0,5d(n+1) + (n-1) \left(2\sqrt{2Dd - D^2} - d \right) \right]. \quad (4)$$

Объем n числа шаров из пенопласта V_u , расположившихся в скважине на высоту H_n , равен:

$$V_u = 0,167\pi n d^3,$$

а коэффициент заполнения шарами скважины K_s определится:

$$K_s = \frac{V_u}{V_u} = \frac{0,67nd^3}{D^2 \left[0,5d(n+1) + (n-1) \left(2\sqrt{2Dd - D^2} - d \right) \right]}. \quad (5)$$

При достаточно большом количестве шаров в скважине выражение (5) можно упростить, приравняв $(n+1) \approx (n-1) \approx n$:

$$K_s = \frac{0,67d^3}{D^2 \sqrt{2Dd - D^2}}. \quad (6)$$

Так, например, при высоте воздушного промежутка $H_n = 1$ м в скважине диаметром $D = 11,6$ см количество шаров диаметром $d = 0,6D = 7$ см можно подсчитать, преобразовав выражение (3):

$$n = \frac{H_n + 0,5(\delta - d)}{0,5(\delta + d)}, \quad (7)$$

и для заданных условий работы $n = 19$.

Коэффициент заполнения скважины шарами K_s , подсчитанный по формуле (5), равен $0,316$, а по упрощенной (6) – $0,321$.

Погрешность незначительна и составляет $\frac{0,321 - 0,316}{0,316} 100 = 1,65$, %.

Таким образом, в дальнейшем для расчетов коэффициента заполнения скважины шарами из пенопласта K_s с достаточной степенью точности можно использовать зависимость (6).

На рис. 7 представлена зависимость величины коэффициента заполнения K_s от соотношения размеров шаров и сечения скважины d/D . Анализ приведенного графика показывает, что имеется экстремальное значение, при котором обеспечивается минимальный расход пенопласта, обеспечивающий заданную высоту воздушного промежутка H_n в скважине. Для определения оптимального соотношения d/D возьмем первую производную по d в выражении (6) и приравняем ее нулю:

$$\begin{aligned} K'_s &= \frac{\frac{1,33}{2(0,5d)^2} 3(0,5d)^2 \sqrt{0,25(2Dd - D^2)} - \frac{1,33(0,5d)^3 D}{4(0,5D)^2 \sqrt{0,25(2Dd - D^2)}}}{0,25(2Dd - D^2)} = \\ &= \frac{0,5d^2(2Dd - D^2) - 0,166Dd^3}{0,25D^2(2Dd - D^2) \sqrt{0,25(2Dd - D^2)}} = 0. \end{aligned}$$

В результате преобразований приведенного выражения получим, что оптимальное соотношение диаметров шаров из пенопласта и диаметра скважины равно:

$$d/D = 0,6. \quad (8)$$

Коэффициент заполнения K_s при этом составляет $0,322$.

Однако при определении соотношения размеров шаров и скважины следует учитывать, что фактические диаметры скважин отличаются от диаметра бурового инструмента как из-за частичного обрушения стенок скважины при бурении, так и вследствие износа инструмента [3].

В таблицах 1 и 2 приведены фактические диаметры скважин при шарошечном и

ударно-вращательном бурении для пород различной крепости.

Для обеспечения возможности использования шаров из пенопласта одного диаметра во всем диапазоне фактических размеров скважин, пробуренных одним долотом, следует учесть увеличение сечения скважин для новых коронок и снижение его при бурении изношенными коронками.

Анализ данных, приведенных в таблицах, показывает, что наибольший разброс фактических диаметров происходит при ударно-вращательном бурении, причем отклонение диаметров скважин от номинального (диаметра новой коронки) составляет:

- для изношенных коронок – до 7,8 % в сторону уменьшения;
- для новых коронок – до 6,4 % в сторону увеличения.

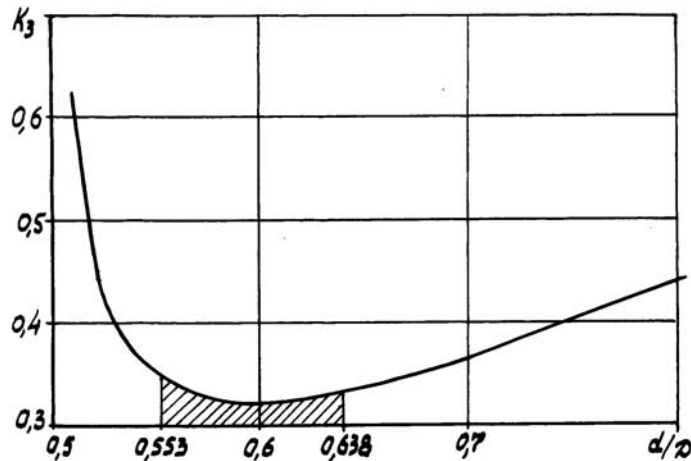


Рис. 7. Зависимость коэффициента заполнения скважины шарами из пенопласта K_3 от соотношения d/D

Таблица 1

Фактический диаметр скважин при шарошечном бурении, мм

Коэффициент крепости горной породы, f	Диаметр шарошечного долота, мм				
	97	145	190	214	243
3...4	107	160	210	235	270
4...6	105	156	205	230	260
6...8	103	154	200	227	255
8...10	101	151	197	222	253
10...14	99	148	194	218	248
14...18	98	146	192	216	246

Таблица 2

Фактический диаметр скважин при ударно-вращательном бурении, мм

Коэффициент крепости горной породы, f	Диаметр коронки, мм							
	105		115		125		150	
	Начальный	Конечный	Начальный	Конечный	Начальный	Конечный	Начальный	Конечный
6...8	111	105	122	115	133	125	159	153
8...10	109	102	120	113	131	123	156	150
10...14	108	100	118	110	129	119	154	147
14...18	107	99	117	108	128	118	153	145
18...20	106	97	116	106	127	116	152	144

Соотношение d/D для скважин, пробуренных изношенными коронками, составит:

$$\frac{d}{D} = 0,6(1 - 0,078) = 0,553, \quad (9)$$

а для буровых скважин, в которых использовались новые коронки, это соотношение равно:

$$\frac{d}{D} = 0,6(1 + 0,064) = 0,638. \quad (10)$$

Как видно из рис. 7, область применения шаров с номинальным диаметром вполне обеспечивает коэффициент заполнения скважины K_3 , близкий к минимальному, что требует малого расхода пенопласта и повышает экономические показатели.

Список литературы

- [1] Результаты промышленных испытаний скважинных зарядов с промежутками из гранулированного полистирола. / М.И. Жаркенов., Е.Б. Бекетаев, Т.А. Кинеев, К.Н. Жунусов // Сб. Взрывное дело № 78/35. М.: Недра, 1978. – С. 102-106.
- [2] Хайлов Б.А., Палиев А.И. Технология производства и опыт применения в строительстве пенополистирольных комплексных систем ТИГИ-Кнауф. // Строительные материалы № 3, 1995. – С. 24-29.
- [3] Степанов А.В., Гдалин А.Д. Проектирование и ведение буровзрывных работ на предприятиях строительных материалов. Л.: Стройиздат, 1973. – 184 с.

E-mail: lesch@sdm.khstu.ru