



УДК 622.235

© А. В. Лещинский, Е. Б. Шевкун, Г. Г. Воскресенский, 2006

ФОРМИРОВАНИЕ ЗАРЯДОВ С ВОЗДУШНЫМИ ПРОМЕЖУТКАМИ ИЗ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА В ОБВОДНЕННЫХ СКВАЖИНАХ

Лещинский А. В. – канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительные и дорожные машины»; *Е. Б. Шевкун* – д-р техн. наук, проф. кафедры «Строительные и дорожные машины»; *Г. Г. Воскресенский* – канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительные и дорожные машины» (ТОГУ)

Предложены способы формирования зарядов взрывчатых веществ с воздушными промежутками в обводненных скважинах на карьерах строительных материалов. Рассмотрены варианты формирования для различного положения статического уровня воды относительно уровня установки воздушного промежутка. Определены зависимости для расчета допустимой высоты обводнения столба пенополистирола, при которой не всплывет верхняя часть заряда.

The authors show the ways to form charges with explosive substances having air intervals in drowned chinks in the quarry of building materials. They consider the variants of formation for various static levels of water concerning an installation level of an air interval. The dependences for calculating an allowable height of drowning a cellular pole are determined, with the top part of the charge not emerging.

Все большее число горных предприятий применяют заряды, расщепленные воздушными промежутками. Они используются как в самом заряде ВВ, так и между зарядом и забойкой [1]. Однако в обводненных скважинах создание воздушного промежутка существенно затрудняется, поскольку его обычно формируют опусканием деревянной рейки с кружками или крестовинами на концах, помещением бумажных пыжей и т. п., поэтому в обводненных скважинах полученный промежуток заполняется водой, а не воздухом.

Наиболее простым и технологичным способом формирования расщепленных зарядов является использование вспененного полистирола, но, к сожалению, не исследована возможность его применения в обводненных скважинах.

Известен способ формирования колонки заряда ВВ в гидроизоляционной оболочке, предварительно размещенной в скважине до ее заполнения водой (вслед за бурением) [2], однако возможность создания воздушного промежутка в заряде ВВ, сформированном в гидроизоляционной оболочке, защищающей заряд неводоустойчивого ВВ от воздействия воды, до настоящего времени не рассматривалась.

Нами предложен способ формирования зарядов с воздушными промежутками (рис. 1).

Формирование заряда в скважине производят, пока в ней нет воды, например, сразу после бурения или после осушения специальными машинами [3]. Сначала в скважину 1 через приемный цилиндр 2 на всю глубину опускают гидроизоляционную оболочку 3, выполненную, например, из пленки полиэтиленовой, цельнотянутой, рукавной с толщиной стенок 200 мм [2] с герметизационным узлом 4 в нижней ее части.

Приемный цилиндр устанавливается над устьем скважины на опорах 5, он снабжен воронкой 6 для равномерной подачи ВВ в гидроизоляционную оболочку. Диаметр приемного цилиндра равен диаметру гидроизоляционной оболочки, а диаметр обруча 7 выбирают таким, чтобы он плотно одевался на приемный цилиндр.

Таким образом, верхний конец гидроизоляционной оболочки пропускают через внутреннее отверстие приемного цилиндра, отбортовывают на внешней его поверхности и зажимают обручем 7. Затем опускают боевик 8, закрепленный на проводнике иницирующего импульса 9, например, ДШ или волноводе.

Формирование нижней части заряда 10 производят подачей ВВ через воронку в гидроизоляционную оболочку, в результате чего ВВ заполняет скважину по всему сечению, прижимая гидроизоляционную оболочку к ее стенкам.

После формирования нижней части заряда 10 через воронку в гидроизоляционной оболочке формируют воздушный промежуток 11 из вспененного полистирола до заданного уровня. Затем формируют верхнюю часть заряда 12 с боевиком 13 на проводнике иницирующего импульса 14. По окончании формирования верхней части заряда через воронку в гидроизоляционной оболочке формируют второй воздушный промежуток 15 из вспененного полистирола до забойки 16. После этого верхний конец гидроизоляционной оболочки освобождают от приемного цилиндра, собирают вместе с проводниками иницирующего импульса 9 и 14 в пучок, укладывают на поверхность уступа и выполняют забойку поверх гидроизоляционной оболочки, удерживая ее верхний конец от увлечения забойкой. Сформированный заряд с воздушными промежутками остается таким и после заполнения сква-



жины водой, независимо от того, откуда она поступает. Если вода поступает по трещинам в горном массиве снизу, заряд защищен от нее гидроизоляционной оболочкой и герметизационным узлом.

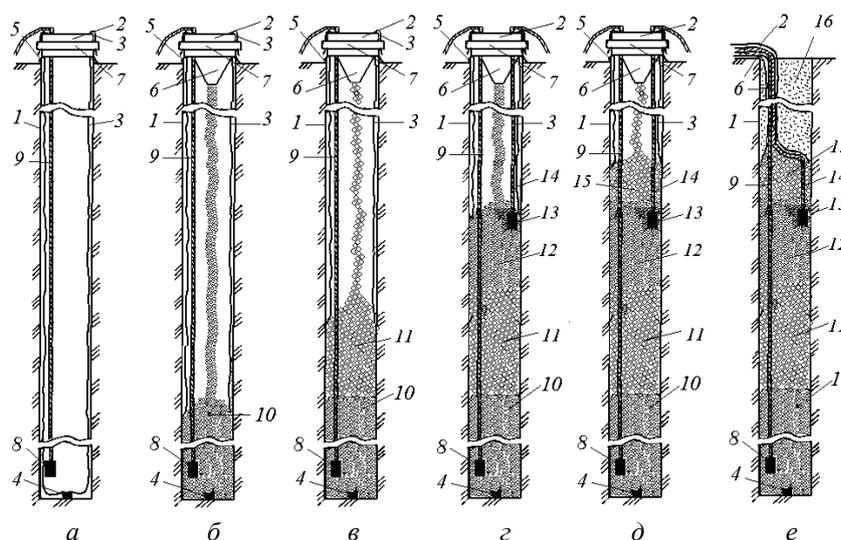


Рис. 1. Принципиальная схема способа формирования зарядов с воздушными промежутками:

a – скважина, подготовленная к заряданию; *б* – формирование в гидроизоляционную оболочку нижней части заряда ВВ; *в* – размещение на нижнюю часть заряда ВВ воздушного промежутка из вспененного полистирола; *г* – формирование в гидроизоляционную оболочку верхней части заряда ВВ; *д* – размещение на верхнюю часть заряда ВВ воздушного промежутка из вспененного полистирола; *е* – заряженная скважина

Если вода поступает через устье скважины и нарушенную верхнюю часть уступа, забойка препятствует ее попаданию в гидроизоляционную оболочку, надежно перекрывая устье последней. Даже в случае попадания воды в гидроизоляционную оболочку из-за нарушения целостности и проникновения ее внутрь воздушного промежутка вода не сможет нарушить воздушный промежуток: несмотря на очень малую плотность вспененного полистирола, заполненный им промежуток пригружен лежащими выше верхней частью заряда и забойкой. Вода лишь заполнит пустоты между гранулами вспененного полистирола, занимающие не более 40 % общего объема скважины, занятой воздушным промежутком. Две трети объема воздушного промежутка сохранят воздух внутри гранул вспененного полистирола, объем которого достигает 98 % [4]. Вспененный полистирол не гигроскопичен, устойчив к действию влаги, агрессивных минеральных сред, слабых и сильных кислот.

Другим способом создания воздушного промежутка из пенополистирола в обводненной скважине является применение комбинированного заряда ВВ (рис. 2).

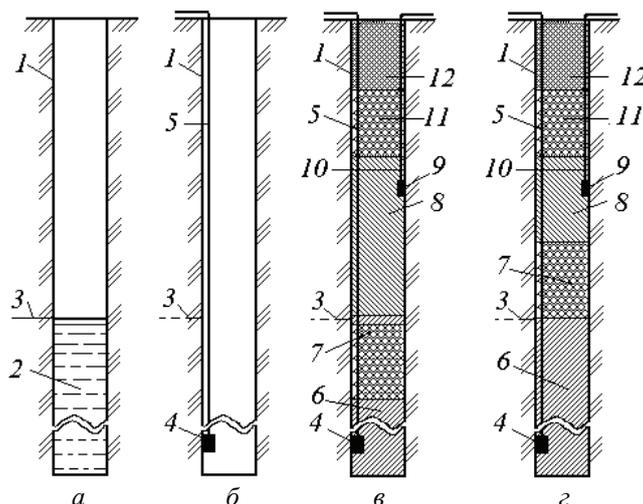


Рис. 2. Принципиальная схема способа формирования комбинированного рассредоточенного заряда ВВ в обводненной скважине:
 а – скважина до осушения; б – скважина, подготовленная к заряданию;
 в – заряженная скважина с воздушным промежутком из вспененного полистирола в обводненной части; г – заряженная скважина с воздушным промежутком из вспененного полистирола в сухой части

Способ формирования комбинированного рассредоточенного заряда ВВ в обводненной скважине осуществляют следующим образом.

В скважине 1, имеющей воду 2, замеряют уровень воды 3 и проводят ее осушение одним из известных способов: специальными машинами, взрыванием малых зарядов ВВ или иным способом [5]. В осушенную скважину размещают боевик 4 на проводнике иницирующего импульса 5, например детонирующем шнуре или волноводе, и формируют комбинированный заряд, рассредоточенный промежутками из вспененного полистирола. При этом возможны следующие характерные случаи расположения воздушного промежутка.

При расположении статического уровня воды ниже уровня установки воздушного промежутка сначала на нижнюю часть заряда 6 из водостойкого ВВ формируют верхнюю часть заряда 8 из неводоустойчивого ВВ до уровня установки воздушного промежутка, далее формируют воздушный промежуток 7 из вспененного полистирола и потом завершают формирование верхней части заряда 8.

При совпадении статического уровня воды с уровнем установки воздушного промежутка его формируют под верхней частью заряда из



неводоустойчивого ВВ. Для этого вначале формируют нижнюю часть заряда из водостойкого ВВ до уровня воды, затем на него формируют воздушный промежуток из вспененного полистирола.

При превышении статическим уровнем воды уровня установки воздушного промежутка он разместится внутри заряда из водостойкого ВВ, поэтому формируют нижнюю часть заряда *б* из водостойкого ВВ, например гранулола, до нижней границы воздушного промежутка. После этого формируют воздушный промежуток из вспененного полистирола расчетной высоты. После достижения заданной высоты воздушного промежутка формируют далее нижнюю часть заряда *в* из водостойкого ВВ до уровня воды и верхнюю часть заряда из неводоустойчивого ВВ, размещая в нем второй боевик *9* на детонирующем шнуре или волноводе *10*. Затем формируют второй воздушный промежуток *11* между комбинированным зарядом ВВ и забойкой. После этого формируют забойку *12*.

Применение воздушных промежутков в зарядах ВВ позволяет при сохранении качества дробления горной массы значительно снизить расход ВВ. При этом достигается большой экономический эффект, т. к. часть дорогого водостойкого ВВ заменяется воздушным промежутком, выполняемым из дешевого вспененного полистирола. Практика показала, что, например, при диаметре скважин 115 мм на длине 1 м помещается 10 л вспененного полистирола, при диаметре 165 мм – 20 л. В среднем 1 л вспененного полистирола заменяет 1 кг ВВ типа граммонита.

Если статический уровень воды восстанавливается после формирования верхней части заряда, то вода не сможет нарушить воздушный промежуток: несмотря на очень малую плотность вспененного полистирола, заполненный им промежуток пригружен лежащими выше верхней частью заряда и забойкой. Вода лишь заполнит пустоты между гранулами вспененного полистирола.

Если же вода достигает своего статического уровня до формирования верхней части заряда, которая является пригрузкой и не дает пенополистиролу всплывать, то следует определить, при каких условиях возможно применение комбинированного способа для создания воздушного промежутка или использование способа формирования в гидроизоляционную оболочку.

Выталкивающая сила воды F , которая поступает в скважину и заполняет воздушный промежуток между частицами пенополистирола, равна

$$F = \frac{\pi D^2}{4} h_e \gamma_e g (1 - k_s), \quad (1)$$

где D – диаметр скважины, м; h_e – высота обводненной части столба пенополистирола; γ_e – объемная масса воды, кг/м³; g – ускорение сво-

бодного падения, m/c^2 ; k_3 – коэффициент заполнения воздушного промежутка скважины пенополистиролом.

Удерживающая сила столба пенополистирола определится следующим образом. Выделим элементарный слой пенопласта высотой dx (рис. 3) и запишем для него условие равновесия

$$\frac{dp}{dx} dx - dT - dG = 0, \quad (2)$$

где $p(x)$ – осевое сопротивление пенополистирола перемещению в сечении скважины с координатой x , отсчитываемой по оси скважины от нижней границы столба пенополистирола; dT – сила, учитывающая трение и сцепление между стенками скважины и пенополистиролом; dG – сила тяжести элемента.

Сила трения и сцепления равна

$$dT = \pi D \left(C_0 + f \lambda \frac{4p}{\pi D^2} \right) dx, \quad (3)$$

где C_0 – сцепление, Па; f – коэффициент трения; λ – коэффициент бокового распора.

$$\lambda = \operatorname{tg}^2 \left(\frac{90 - \varphi}{2} \right),$$

где φ – угол внутреннего трения пенополистирола.

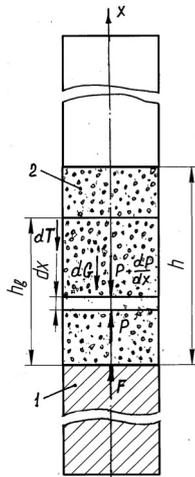


Рис. 3. Схема сил, действующих на столб пенополистирола в обводненной скважине при формировании заряда ВВ:
1 – нижний заряд ВВ; 2 – пенополистирол

Сила тяжести элемента определится по формуле

$$dG = \frac{\gamma_n g \pi D^2 dx}{4}, \quad (4)$$

где γ_n – насыпная масса пенополистирола, $кг/м^3$.



Подставив выражения (3) и (4) в (2), получим дифференциальное уравнение осевого сопротивления

$$\frac{dp}{dx} - \frac{4f\lambda}{D} p = \pi D \left(C_0 + \frac{\gamma_n g D}{4} \right). \quad (5)$$

Примем $\frac{4f\lambda}{D} = a$; $\pi D \left(C_0 + \frac{\gamma_n g D}{4} \right) = b$,

тогда выражение (5) примет следующий вид:

$$\frac{dp}{dx} = ap + b. \quad (6)$$

Разделим переменные dp и dx :

$$\frac{dp}{ap + b} = dx. \quad (7)$$

Примем $ap + b = z$ / (8)

$$a dp = dz; \quad dp = \frac{dz}{a}. \quad (9)$$

Подставим (8) и (9) в выражение (7) и проинтегрируем

$$\int \frac{dz}{az} = \int dx;$$

$$\ln z = ax + \ln C, \quad (10)$$

где C – постоянная интегрирования.

При $x = 0$ $\ln z_0 = \ln C$. (11)

Подставим выражение (11) в (10)

$$\ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = ax; \quad \frac{z}{z_0} = e^{ax}, \text{ или } z = z_0 e^{ax}.$$

С учетом подстановки (8) запишем:

$$ap + b = (ap_0 + b)e^{ax}. \quad (12)$$

$$ap = ap_0 e^{ax} + be^{ax} - b = ap_0 e^{ax} + b(e^{ax} - 1).$$

$$p = p_0 e^{ax} + \frac{b}{a} (e^{ax} - 1). \quad (13)$$

При $p_0 = 0$ выражение (13) примет вид

$$p = \frac{b}{a} (e^{ax} - 1), \text{ и с учетом подстановок (6) и (7)}$$

$$p = \frac{\pi D^2 \left(C_0 + \frac{\gamma_n g D}{4} \right)}{4f\lambda} \left(e^{\frac{4f\lambda h}{D}} - 1 \right). \quad (14)$$

Так как насыпная масса пенополистирола очень незначительна, примем $\gamma_n = 0$, тогда выражение (14) запишется

$$p = \frac{\pi D^2 C_0}{4 f \lambda} \left(e^{\frac{4 f \lambda h}{D}} - 1 \right). \quad (15)$$

Приравняв выталкивающую силу воды F (1) и удерживающую силу столба пенополистирола p (15), определим отношение высоты столба пенополистирола h к диаметру скважины D , при котором столб пенополистирола не будет всплывать.

$$\frac{h}{D} = \frac{\ln \left(h_e \frac{g \gamma_s (1 - k_s) f \lambda}{C_0} + 1 \right)}{4 f \lambda}. \quad (16)$$

Для удобства анализа выражения (16) первое слагаемое числителя умножим и разделим на h :

$$\frac{h}{D} = \frac{\ln \left(\frac{h_e}{h} \frac{g \gamma_s (1 - k_s) f \lambda}{C_0} h + 1 \right)}{4 f \lambda}. \quad (17)$$

Приведем зависимость отношения высоты столба пенополистирола к диаметру скважины от относительной высоты обводненной части столба пенополистирола, при которых столб пенополистирола не будет всплывать (рис. 4).

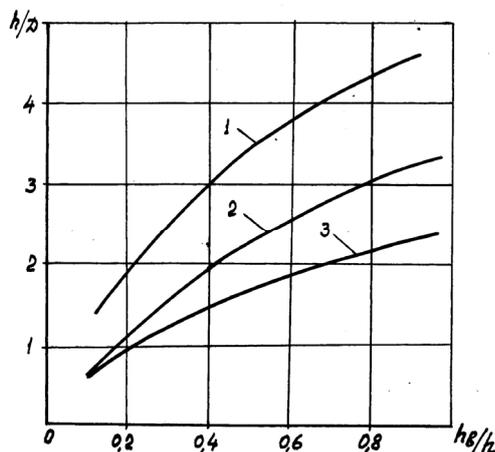


Рис. 4. Зависимость отношения высоты столба пенополистирола h к диаметру скважины D от относительной высоты обводненной части столба пенополистирола h_e/h , при которой столб пенополистирола не будет всплывать:

1 – $f\lambda = 0,1$, $C = 50$ Па; 2 – $f\lambda = 0,1$, $C = 100$ Па;

3 – $f\lambda = 0,2$, $C = 100$ Па



Как видно из приведенного графика, с увеличением трения и сцепления допустимая высота обводнения столба пенополистирола в скважине увеличивается.

Для проверки полученных расчетных зависимостей были проведены лабораторные исследования. В двухлитровый стеклянный цилиндр диаметром 7,8 см засыпался пенополистирол до заданного уровня, после чего отдельными порциями в цилиндр заливалась вода (рис. 5). По мере подъема уровня воды в столбе пенополистирола происходит его уплотнение в связи с тем, что мокрый пенополистирол имеет меньшие коэффициент внутреннего трения и сцепление. Причем верхняя отметка столба удерживается на одном уровне, а поднимается водой его нижняя отметка.

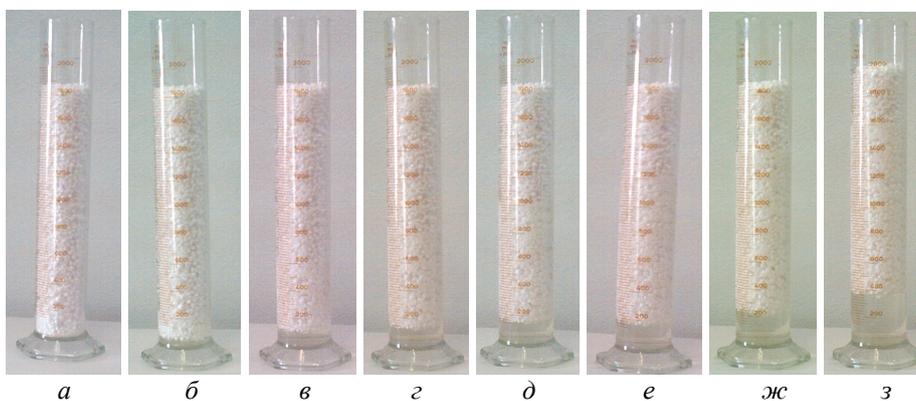


Рис. 5. Лабораторные исследования сопротивления столба пенополистирола выталкивающей силе воды:

a – пенополистирол без воды; *б* – уровень воды 0,11 *h*; *в* – уровень воды 0,33 *h*;
г – уровень воды 0,44 *h*; *д* – уровень воды 0,55 *h*; *е* – уровень воды 0,66 *h*;
ж – уровень воды 0,76 *h*; *з* – столб пенополистирола всплыл

Приведем зависимость изменения относительной высоты столба пенополистирола от относительной высоты обводненной части (рис. 6). По мере обводнения скважины высота столба пенополистирола уменьшается на Δh . Когда уровень воды достиг 0,76 *h*, столб пенополистирола начал всплывать и на отметке уровня воды 0,87 *h* верхний уровень столба пенополистирола поднялся на величину 0,19 *h*. Таким образом, для заданных условий эксперимента при $\frac{h}{D} = 4,86$ столб пе-

нополистирола всплыл при отношении $\frac{h_a}{h} \approx 0,8$. Если сравнить полученные данные с графиком, приведенным на рис. 4, то они близки условиям кривой 3.

Для получения более точных данных при определении сопротивления столба пенополистирола выталкивающей силе воды следует учитывать, что трение и сцепление пенополистирола со стенками скважины отличаются в обводненной и сухой частях воздушного промежутка. В связи с этим выражение (19) примет следующий вид:

$$\frac{h}{D} = \frac{\ln\left(\frac{g\gamma_s(1-k_3)f_{вл}\lambda_{вл}h_s+1}{C_{0вл}}\right)}{4f_{вл}\lambda_{вл}} + \frac{\ln\left(\frac{g\gamma_s(1-k_3)f_c\lambda_c(h-h_s)+1}{C_{0с}}\right)}{4f_c\lambda_c},$$

где величины с индексом *вл* относятся к влажному пенополистиролу, а с индексом *с* – сухому.

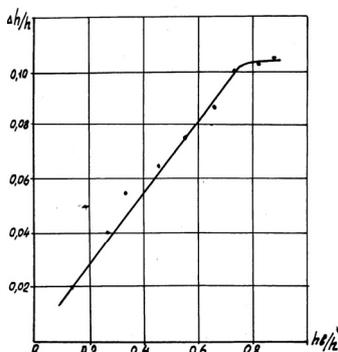


Рис. 6. Зависимость изменения относительной высоты столба $\Delta h/h$ пенополистирола от относительной высоты обводненной части h_s/h при $h/D = 4,86$

Задаваясь отношением h/D , можно определить допустимую высоту обводнения столба пенополистирола h_s , при которой еще не произойдет его всплытие.

Библиографические ссылки

1. Марченко Л. Н., Кудряшов В. С. Методические указания по применению скважинных зарядов, рассредоточенных воздушными промежутками на открытых горных разработках // Взрывное дело № 51/8. М., 1963. С. 199–206.
2. Сеинов Н. П., Валиев Б. С. Технология заряжения обводненных скважин неводоустойчивыми взрывчатыми веществами // Взрывное дело № 89/46. М., 1986. С. 204–215 (прототип).
3. Совершенствование буровзрывных работ на карьерах объединения / М. М. Турдахунов, О. С. Исаченко, М. Ф. Алешко и др. // Горный журнал. 2004. № 7. С. 47–54.
4. Хайлов Б. А., Палиев А. И. Технология производства и опыт применения в строительстве пенополистирольных комплексных систем ТИГИ–Кнауф // Строительные материалы. 1995. № 1. С. 24–28.
5. Шевкун Е. Б. Управление действием взрыва скважинных зарядов. М., 1992. С. 135–148.