

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тихоокеанский государственный университет»

Утверждаю в печать  
Ректор университета д-р техн. наук, проф.

\_\_\_\_\_ С.Н. Иванченко

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2009 г.

**А. В. Лещинский, Е. Б. Шевкун**

# **РАССРЕДОТОЧЕНИЕ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ**

Авторы:

канд. техн. наук, доцент А. В. Лещинский  
д-р техн. наук, доцент Е. Б. Шевкун

Хабаровск  
Издательство ТОГУ  
2009

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тихоокеанский государственный университет»

**А. В. Лещинский, Е. Б. Шевкун**

**РАССРЕДОТОЧЕНИЕ  
СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ**

Хабаровск  
Издательство ТОГУ  
2009

УДК 622.235.5:504

ББК И133

Л543

*Рецензенты:* доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации Г. В. Секисов (Институт горного дела ДВО РАН); Открытое акционерное общество «Амурвзрывпром»

### **Лещинский А. В.**

Л543 Рассредоточение скважинных зарядов / А. В. Лещинский, Е. Б. Шевкун. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2009. – 154 с.  
ISBN 978-5-7389-0759-3

В современных условиях развития открытых горных работ первостепенная роль отводится буровзрывным работам. Решить проблему полезного использования энергии взрыва при дроблении горных пород в значительной степени можно применением в практике ведения взрывных работ воздушных промежутков во взрывных скважинах, благодаря чему происходит снижение начального давления на фронте ударной волны, растягивание во времени воздействия взрыва на окружающую среду и усиление интерференции ударных волн.

Авторы монографии на большом по охвату материале обобщают положительный опыт использования воздушных промежутков во взрывных скважинах и предлагают целый ряд конструктивных разработок по созданию воздушных промежутков в сухих и частично обводненных скважинах из пенополистирола и пенопласта, решение проблемы создания газовых промежутков в обводненных скважинах.

В монографии много иллюстраций, в т. ч. цветных.

Для научных работников, специалистов в области открытых горных работ.

УДК 622.235.5:504

ББК И133

ISBN 978-5-7389-0759-3

© Тихоокеанский государственный университет, 2009

© Лещинский А. В., Шевкун Е. Б., 2009

---

## ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим процессом открытых горных работ является подготовка горных пород к выемке взрывным рыхлением. Концентрация горных работ, комплексная механизация технологических процессов, высокий уровень их организации могут быть успешно реализованы только на основе своевременного создания достаточных запасов взорванной горной массы высокого качества по степени дробления. Тогда возможна независимая работа буровзрывного и погрузочно-доставочного комплексов, наиболее полное и эффективное использование погрузочного и транспортного оборудования.

Практика подтверждает, что разделение скважинного заряда взрывчатого вещества на несколько частей воздушным промежутком существенно меняет динамику развития взрыва: увеличивается время действия взрыва на массив горных пород, снижается пик давления продуктов детонации, появляется интерференционная волновая картина в массиве. Все эти факторы приводят к тому, что повышается равномерность дробления горной массы – снижается выход как крупных, так и мелких фракций. Это особенно важно в промышленности строительных материалов, где зачастую крайне нежелателен выход мелочи. Кроме того, практика применения таких конструкций зарядов показала, что наряду с повышением качества дробления одновременно снижается и расход взрывчатых веществ, в отдельных случаях до 30 %.

Столь важные преимущества зарядов с воздушными промежутками вызвали повышенный интерес к ним – на протяжении свыше 40 лет проводились промышленные испытания практически во всех горнотехнических условиях. Эти испытания подтвердили высокую эффективность такой конструкции зарядов, но вместе с тем показали и несовершенство способов рассредоточения зарядов на части, их низкую технологичность, что, разумеется, постепенно привело к снижению интереса к рассредоточенным зарядам.

Однако с приходом частных инвесторов в горную промышленность вопрос рассредоточения зарядов воздушными промежутками снова актуален. Появились новые технические решения, иногда достаточно удачные.

Основной задачей наших исследований было не столько выяснение целесообразности применения зарядов, рассредоточенных воздушными

промежутками, сколько решение вопроса об эффективном использовании пенополистирола и пенопласта для создания воздушных промежутков в сухих скважинах при использовании различных видов взрывчатых веществ.

Еще нас интересовали вопросы применения насыпного пенополистирола и элементов из пенопласта в скважинах с различной степенью нарушения стенок, а также варианты использования других материалов, например пластиковой тары, технические решения по созданию воздушных промежутков в обводненных скважинах. Большая часть разработанных способов и конструкций успешно прошла промышленные испытания взрыванием в различных породах.

Мы глубоко убеждены, что найденные технические решения просты и надежны, могут применяться в самых различных условиях – от ручной зарядки на малых, удаленных от промышленных центров, карьерах, для которых предложена автономная установка вспенивания полистирола, до крупных предприятий, где целесообразно механизированное формирование воздушных промежутков из дешевого покупного пенополистирола, широко используемого в строительстве.

Авторы надеются, что книга поможет производителям, работникам научно-исследовательских и проектных институтов более грамотно решать задачи оптимизации параметров буровзрывных работ, а также окажется полезной студентам высших учебных заведений горного профиля при изучении вопросов разрушения горных пород взрывом.

---

## Глава 1

# РОЛЬ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В ПРОЦЕССЕ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

### 1.1. Влияние воздушных промежутков на использование энергии взрыва

Самые распространенные в практике ведения взрывных работ скважинные заряды сплошной конструкции с точки зрения механики взрывного дробления являются наименее эффективными. Двумерное движение твердой среды, окружающей сплошной скважинный заряд взрывчатых веществ (ВВ) при инициировании его в одной точке, характеризуется большими градиентами давления и как следствие – значительным переизмельчением породы, что и обуславливает интенсивную диссипацию энергии, особенно в ближней к заряду зоне. При взрыве заряда ВВ в непосредственной близости от него происходит переизмельчение породы с образованием огромной поверхности и расходом большой части энергии на этот процесс. Количество измельченной в пыль породы достигает трех и более объемов заряда, а суммарная поверхность ее частиц может превысить поверхность кусков всей отбитой взрывом горной массы<sup>1</sup>. Анализ гранулометрического состава взорванной горной массы показал, что при взрыве сплошного скважинного заряда образуется максимальный объем не только мельчайших, но и крупных фракций, а выход негабарита может достигать 15 % и более<sup>2</sup>.

Многочисленными исследованиями установлено, что для повышения полезного использования энергии взрыва на дробление горных пород следует снижать пик давления продуктов детонации, растягивать во времени действие взрыва на массив горных пород и увеличивать расстояние между зарядом и забойкой. Решению поставленной задачи способствует рассредоточение скважинных зарядов воздушными промежутками.

---

<sup>1</sup> *Скважинные заряды с воздушными промежутками* / М. С. Акаев, Б. Г. Трегубов, А. А. Крутилин, А. Г. Трофимович. Новосибирск, 1974. 91 с.

<sup>2</sup> *Жариков И. Ф.* Энергосберегающие технологии ведения взрывных работ на разрезах // *Взрывное дело*. 1998. № 91/48. С. 191–195.

В середине прошлого века были проведены обширные экспериментальные исследования по поиску оптимальных параметров скважинных зарядов, рассредоточенных воздушными промежутками. Исследованиями был охвачен практически весь диапазон горных пород, а также различные отрасли народного хозяйства, что широко отражено в горной литературе и, в частности, в сборниках «Взрывное дело». Установлено, что заряды с воздушными промежутками эффективны во всем диапазоне взрывааемых горных пород и область их применения ограничивается лишь присутствием воды в скважине – существующие способы рассредоточения зарядов не позволяют создать газовые полости внутри столба воды.

Сотрудники Института горного дела им. А. А. Скочинского под руководством акад. Н. В. Мельникова провели экспериментальные исследования метода скважинных зарядов, рассредоточенных воздушными промежутками, как в лабораторных, так и в производственных условиях<sup>1</sup>. Ими доказано, что рассредоточение скважинных зарядов воздушными промежутками дает возможность значительно повысить полезную работу взрыва за счет уменьшения доли энергии, затрачиваемой на бесполезное переизмельчение породы вокруг скважины бризантным действием взрыва.

Производственными экспериментами установлено<sup>2</sup>, что применение воздушных промежутков даже при незначительном увеличении высоты заряда в скважине резко увеличивает способность преодоления линии сопротивления по подошве (ЛСПП) уступа такими зарядами по сравнению со сплошными. Объем породы, обрушаемой скважинным зарядом с воздушным промежутком, значительно больше, чем у сплошного заряда. Объясняется это тем, что заряды с воздушными промежутками образуют газовую полость заметно большего объема, чем при применении сплошного заряда. Объем же разрушенной породы должен быть пропорционален объему газовой камеры. Перекачка энергии взрыва из продуктов детонации в ударную волну происходит именно в процессе расширения продуктов взрыва, следовательно, чем больше объем газовой камеры, тем относительно большая часть энергии переходит в ударную волну и тем, следовательно,

---

<sup>1</sup> Мельников Н. В., Марченко Л. Н. Энергия взрыва и конструкция заряда. М., 1964. 138 с. ; Их же. Увеличение эффективности взрыва при дроблении и выбросе горных пород // Горный журнал. 1971. № 2. С. 18–22.

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

больше при прочих равных условиях должен быть объем разрушенной взрывом горной породы <sup>1</sup>.

Как подтвердила многолетняя практика ведения взрывных работ, при рассредоточении зарядов воздушными промежутками достигается более мелкое и равномерное дробление, чем при сплошных зарядах <sup>2</sup>.

Для значительного улучшения в дроблении породы недостаточно только снизить начальное давление газов взрыва и увеличить время их воздействия на массив горных пород, обязательным условием является также существенное увеличение интерференции взрывных волн, обусловленное наличием воздушного промежутка между рассредоточенными частями скважинного заряда. Наличие кольцевого воздушного зазора вокруг заряда снижает давление продуктов взрыва, увеличивает время его воздействия на окружающую среду, но не способствует повышению интерференции взрывных волн. Поэтому, несмотря на снижение пикового давления продуктов взрыва и увеличение времени его воздействия на массив горных пород при кольцевом зазоре, разрушение горных пород происходит хуже не только по сравнению с зарядом, рассредоточенным воздушным промежутком, но и по сравнению со сплошным зарядом.

Значимость в процессе разрушения интерференционных явлений довольно существенна: наибольшее разрушение модели происходит в месте расположения воздушного промежутка, т. е. именно в области интерференции ударных волн, распространяющихся от двух разделенных частей заряда.

Экспериментальные массовые взрывы на Соколовском руднике в Казахстане показали, что взрывное рыхление скважинными зарядами, рассредоточенными воздушными промежутками, значительно улучшает равномерность дробления горных пород, при этом выход негабарита резко уменьшается, а в некоторых случаях практически отсутствует <sup>3</sup>. Рассредоточение колонки заряда ВВ поднимает ее по высоте уступа и способствует более равномерному распределению энергии взрыва между отдельными частями взрываемого массива, поэтому при взрыве создается более или

---

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

<sup>2</sup> Марченко Л. Н. Исследование процессов образования и развития трещин в твердых средах в зависимости от конструкции заряда // Взрывное дело. 1964. № 54/11. С. 102–113.

<sup>3</sup> Ким М. Ф. Опыт применения зарядов с воздушными промежутками на карьерах Казахстана // Взрывное дело. 1967. № 62/19. С. 215–225.

менее однородное поле разрушающих напряжений во всех зонах уступа, обуславливающее хорошую равномерность дробления пород. Разделение заряда воздушным промежутком на две или три части позволяет более рационально использовать энергию взрыва и повысить равномерность дробления горной массы за счет уменьшения выхода самых мелких и наиболее крупных кусков и соответствующего увеличения процента средних.

Если говорить о причинах положительного влияния воздушных промежутков на качество дробления горной массы, то воздушный промежуток, с одной стороны, выполняет роль аккумулятора, в котором собирается запас энергии, с другой стороны, воздушный промежуток в течение определенного интервала времени препятствует распространению газообразных продуктов взрыва нижнего заряда в сторону устья скважины, задерживая их до 64...70 мс вместо 35,4 мс у промежутка из инертного материала<sup>1</sup>.

Увеличение длительности воздействия взрыва на массив горных пород является одним из основных направлений интенсификации дробления горных пород на карьерах, ибо необходима такая длительность воздействия взрыва, чтобы деформация отбиваемой породы была максимальной. Применение воздушных промежутков позволяет более равномерно распределить энергию взрыва и вызвать максимальное смещение в большей части массива, но величина этих смещений может быть меньше разрушающих, поскольку одна и та же энергия распределяется на больший объем горной массы и растягивается во времени. Поэтому добиться хороших результатов взрывного рыхления горных пород можно лишь в том случае, если обеспечивать наряду с рассредоточением заряда воздушными промежутками достижение оптимальной величины удельной энергии взрыва, достаточной для обеспечения заданной степени дробления.

Как указывалось выше, область применения зарядов с воздушными промежутками охватывает весь диапазон взрываемых горных пород и единственным сдерживающим фактором их применения является наличие воды в скважине<sup>2</sup>. Наиболее эффективны такие заряды в вязких крепких средах, представленных монолитными породами. При взрыве скважинного

---

<sup>1</sup> *Исследование эффективности зарядов с воздушными промежутками / М. Г. Новожилов, М. Ф. Друкованый, Л. М. Гейман, В. М. Комир, И. А. Семенюк // Взрывное дело. 1964. № 54/11. С. 113–125.*

<sup>2</sup> *Тиховидов А. Ф. Воздушные промежутки и простейшие ВВ – важные резервы повышения эффективности взрывной отбойки // Взрывное дело. 1964. № 54/11. С. 241–244.*

## 1.1. ВЛИЯНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЗРЫВА

---

заряда с 2...3 воздушными промежутками наблюдается резкое снижение реактивного действия заряда: в обычных условиях при величине забойки менее 0,5 высоты уступа скважина «стреляет» в сторону устья столбом газов и забойки на десятки метров вверх; напротив, при наличии воздушных промежутков уменьшение длины забойки до 0,25...0,3 высоты уступа не приводит к ее выбросу. Создалась реальная возможность и даже необходимость уменьшения длины забойки рассредоточенного заряда по сравнению со сплошным, поднимая на еще большую высоту колонку рассредоточенных зарядов ВВ. При этом более полно используется выбуренный объем зарядной полости, равномернее распределяется ВВ в массиве горных пород, улучшается и степень дробления верхней части уступа, и – существенно – профиль уступа: в отдельных случаях вертикальная стенка забоя простирается на 0,6 и даже до 0,75 его высоты, что объясняется лучшей проработкой подошвы уступа и снижением заколообразования в верхней его части. Увеличение крутизны откосов уступов весьма важно при последующем их обушивании и взрывании – значительно облегчается забуривание скважин, более равномерно распределяется заряд ВВ в верхней части скважины.

Исследования особенностей работы рассредоточенных воздушными промежутками зарядов длительный период времени проводились на апатитовом карьере Расвумчорр-Цирк<sup>1</sup>. При высоте уступа 15 м применяли следующую конструкцию рассредоточенного заряда: внизу основной заряд массой 240...400 кг, над ним двухметровый воздушный промежуток и верхний заряд массой 100...160 кг, далее забойка длиной 3...6 м. По результатам испытаний были сделаны выводы о том, что применение зарядов, рассредоточенных воздушными промежутками, даже при удельном расходе ВВ, уменьшенном на 7 %, обеспечивает по сравнению со сплошными зарядами значительное улучшение дробления руды, снижение выхода негабарита. При этом одновременно наблюдается некоторое уменьшение выхода мелких фракций крупностью до 70 мм, что особенно важно для условий апатитовых карьеров. Одновременное сокращение выхода мелких и негабаритных фракций обуславливается существенным изменением характера протекания взрыва за счет снижения первоначального пика давления продуктов взрыва, что уменьшает переизмельчение горной породы

---

<sup>1</sup> Грачев Ф. Г., Павлов В. П., Кулешов А. А. Опыт применения рассредоточенных зарядов с воздушными промежутками на апатитовом карьере Расвумчорр-Цирк // Взрывное дело. 1966. № 59/16. С. 113–117.

вблизи заряда. Применение на апатитовых карьерах метода рассредоточенных воздушными промежутками скважинных зарядов обеспечило снижение удельного расхода ВВ, повышение выхода горной массы с 1 м скважины, заметное улучшение качества и равномерности дробления пород и как следствие – повышение производительности выемочно-погрузочного оборудования.

Следует отметить, что рассредоточение заряда ВВ инертным материалом (песок, отходы обогащения или буровая мелочь) не улучшает качество взрыва. Как отмечает Л. Н. Марченко<sup>1</sup>, рациональной конструкцией является заряд, разделенный именно воздушным промежутком, а не забоечным или каким-либо другим инертным материалом. Только при воздушном промежутке обеспечиваются три условия, необходимые для существенного повышения полезной работы взрыва при дроблении горных пород: снижение начального давления на фронте ударной волны, растягивание во времени воздействия взрыва на окружающую среду и усиление интерференции ударных волн.

Это положение хорошо иллюстрируется графиком (рис. 1.1), составленным по результатам опытных массовых взрывов, проведенных в карьере Каракубского рудоуправления в известняках с  $f = 8 \dots 10^2$ . Как видно из этого графика, при использовании скважинных зарядов ВВ, рассредоточенных воздушными промежутками, наибольшая доля кусков в отбитой горной массе приходится на размеры 20...30 см, в то время как при взрывах скважинных зарядов, рассредоточенных инертным материалом, преобладают куски размером 50...90 см.

Опыты, проведенные в Иртышском угольном разрезе (Экибастузское месторождение) по испытанию скважинных зарядов ВВ, разделенных одним или двумя воздушными промежутками, показали, что как при одном, так и при двух воздушных промежутках дробление угля по сравнению со сплошными зарядами заметно улучшается. Выход негабарита снизился с 30 до 10...15 %. Следовательно, интенсивность дробления массива повышается уже при делении заряда на две части одним воздушным промежутком, вследствие чего в большинстве случаев совершенно достаточно деления скважинного заряда ВВ только на две части. Это существенно облег-

---

<sup>1</sup> Марченко Л. Н. Исследование процессов образования и развития трещин в твердых средах в зависимости от конструкции заряда. С. 111.

<sup>2</sup> Марченко Л. Н. Увеличение эффективности взрыва при добычании полезных ископаемых. М., 1965. 154 с.

## 1.1. ВЛИЯНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЗРЫВА

чает организацию работ, снижает трудозатраты при достижении практически таких же результатов дробления, как и при использовании двух и более воздушных промежутков.



Рис. 1.1. Зависимость гранулометрического состава известняков от конструкции заряда скважин:

1 — заряды, рассредоточенные инертным материалом;  
2 — заряды с воздушными промежутками

Анализ результатов применения рассредоточенных воздушными промежутками скважинных зарядов ВВ по данным многочисленных исследований позволил сделать следующие выводы <sup>1</sup>.

1. При взрыве скважинных зарядов ВВ, рассредоточенных воздушными промежутками, разрушаются нижняя и средняя части уступа и происходит интенсивное дробление массива. Только верхняя часть уступа разрушается при падении на его подошву. При взрыве же сплошного скважинного заряда ВВ только нижняя треть уступа выбивается и отбрасывается на сравнительно большое расстояние, а остальные две трети разрушаются в основном при падении на подошву.

2. Взрыв скважинных зарядов ВВ, рассредоточенных воздушными промежутками, образует более компактные формы развала отбитой горной

<sup>1</sup> Скважинные заряды с воздушными промежутками. 91 с.

массы по сравнению со взрывами сплошных скважинных зарядов ВВ. Уменьшаются заколы внутри массива, откосы уступа получаются более крутыми.

3. Применение скважинных зарядов ВВ, рассредоточенных воздушными промежутками, дает по сравнению со сплошными зарядами более равномерное дробление при уменьшении среднего размера куска в 1,5...2,0 раза и выхода негабарита в те же 1,5...2,0 раза.

### 1.2. Воздушные промежутки между зарядами ВВ и забойкой

Практика ведения взрывных работ в карьерах показала, что значительного повышения качества дробления горных пород взрывом можно добиться, если наряду с рассредоточением зарядов ВВ применять воздушные промежутки между зарядом и забойкой. Как уже указывалось ранее <sup>1</sup>, перекачка энергии взрыва из продуктов детонации в ударную волну происходит в процессе расширения продуктов взрыва, поэтому чем больше объем газовой камеры, тем относительно большая часть энергии переходит в ударную волну и тем, следовательно, больше при прочих равных условиях должен быть объем разрушенной породы.

При взрыве любого ВВ, даже относительно слабого типа игданитов, начальное давление в зарядной камере достигает нескольких десятков тысяч мегапаскалей, что существенно больше величины прочностного сопротивления любой наикрепчайшей породы. В то же время при отсутствии забойки над зарядом скважины его взрыв в ряде случаев не вызывает сколько-нибудь ощутимых разрушений в окружающей его горной породе. Благодаря свободному осевому разлету продуктов взрыва из устья скважины давление в зарядной полости быстро падает, вследствие чего удельный импульс взрыва может оказаться меньше его критического значения для разрушения данной породы.

При взрыве сплошного заряда значение удельных импульсов взрыва относительно велико в той части скважины, где расположен заряд, и существенно меньше вдоль остальной ее части. Такое неравномерное распределение импульсов приводит и к неравномерному дроблению горной породы при взрыве.

---

<sup>1</sup> Баум Ф. А. К вопросу оценки эффективности действия взрыва зарядов с воздушными промежутками. С. 48.

При этом не исключена возможность, что порода, примыкающая к той части скважины, где импульсы велики, будет раздроблена и выброшена в направлении свободной поверхности раньше, чем будут разрушены верхние слои породы. Это может привести к образованию сравнительно большого количества крупных негабаритных кусков горной породы.

При величине воздушного промежутка, равной длине заряда ВВ, начальное усредненное давление при взрыве заряда с воздушным промежутком окажется в восемь раз меньше, а усредненная плотность ВВ в заряде в три раза меньше, чем при взрыве обычного заряда. Такие заряды обеспечивают более равномерное распределение удельных импульсов. В нижней части скважины величины удельных импульсов соответственно меньше, а в остальных сечениях скважины несколько больше, чем при взрыве заряда обычной конструкции. Это обстоятельство, в свою очередь, приводит и к более равномерному дроблению горной породы в случае применения зарядов с воздушными промежутками.

Изыскания, проведенные на железорудных карьерах Кривого Рога, показали, что при взрывании скважинных зарядов ВВ со сплошной забойкой, расположенной непосредственно на верхней части заряда, значительная часть выхода негабарита приходится именно на ту часть уступа горных пород, где в скважине расположена забойка <sup>1</sup>. При наличии воздушного промежутка между зарядом и забойкой высота вспучивания горной массы увеличивается, а порода в верхней части забоя разрыхляется на более мелкие отдельности, что повышает производительность экскаватора. Это положение соответствует данным, приведенным основоположниками метода воздушных промежутков <sup>2</sup>. Применение воздушного промежутка между зарядами и забойкой уменьшило выход негабарита с 2,3 до 0,4 %, хотя распределение кусков по фракциям почти не изменилось. Изучение кино съемок развития взрыва показало следующее. При взрыве обычных сплошных зарядов разрушение уступа начинается у его подошвы и раздробленная порода примерно в нижней трети уступа силой взрыва выбрасывается вперед. Оставшаяся верхняя часть уступа разрушается в основном за счет соударения кусков при падении их вниз со сравнительно небольшой живой силой, что и приводит к более крупному дроблению.

---

<sup>1</sup> *Ткачук К. Н.* Разрушение и перемещение уступа горных пород взрывом // Колыма. 1965. № 3. С. 25–28.

<sup>2</sup> *Мельников Н. В., Марченко Л. Н.* К вопросу о работе и механизме действия взрыва в твердых средах // Взрывное дело. 1960. № 45/2. С. 5–19.

При взрыве рассредоточенных воздушными промежутками скважинных зарядов разрушение уступа начинается одновременно примерно с двух третей его высоты от подошвы с интенсивным дроблением и отбросом значительной части горной породы за счет интерференции взрывных волн. Оставшаяся верхняя часть уступа дробится при падении на более мелкие куски за счет большой живой силы, обусловленной увеличенной высотой падения.

Воздушные промежутки являются не только средством управления временем действия взрыва на среду и усиления интерференционного взаимодействия ударных волн и газовых потоков, но и средством управления размерами зон принудительного (управляемого) разрушения и подбоя (неуправляемого обрушения), что чрезвычайно важно при увеличении высоты разрабатываемого уступа <sup>1</sup>.

Из элементов конструкции скважинного заряда основное влияние на интенсивность дробления среды оказывают наличие или отсутствие воздушных промежутков, а также степень заполнения скважины взрывчатым веществом – длина незаряженной (неактивной) ее части. С применением воздушных промежутков выход негабарита уменьшился в 2 раза за счет минимизации длины неактивной части скважины и достижения максимально возможного размера зоны принудительного разрушения. Воздушные промежутки обеспечивают более равномерное и мелкое дробление скальных горных пород; размер среднего куска уменьшается в 1,5...2,0 раза. Выход негабарита снижается от двух до десяти раз, а в некоторых случаях полностью исключается <sup>2</sup>. Наблюдалось очень много случаев снижения расхода ВВ при одновременном улучшении результатов взрыва. Воздушный промежуток увеличивает длину скважины, подверженную непосредственному воздействию заряда (до 60...70 %), поскольку взрывные газы оказывают давление на стенки скважины и на участке воздушного промежутка. Происходит перераспределение энергии взрыва – уменьшается доля энергии, затрачиваемой на бесполезное переизмельчение породы вокруг скважины в результате бризантного действия ВВ.

---

<sup>1</sup> *Кутач Г. М.* Факторы, предопределившие высокую степень дробления породы на горно-обогатительных комбинатах Кривбасса // Взрывное дело. 1967. № 62/19. С. 76–84.

<sup>2</sup> *Марченко Л. Н., Кудряшов В. С.* Методические указания по применению скважинных зарядов, рассредоточенных воздушными промежутками на открытых горных разработках // Взрывное дело. 1963. № 51/8. С. 199–206.

Таким образом, в результате анализа приведенных большим числом исследователей результатов применения скважинных зарядов ВВ с размещением воздушных промежутков между зарядом и забойкой, можно сделать следующие выводы.

1. Размещение воздушного промежутка между зарядом ВВ и забойкой уменьшает выход негабарита.

2. При взрыве зарядов с воздушными промежутками разрушение уступа начинается одновременно примерно на двух третях его высоты от подошвы с интенсивным переламыванием и отбросом значительной части породы за счет интерференции взрывных волн, а оставшаяся верхняя часть уступа дробится при падении на более мелкие куски.

### **1.3. Воздушные промежутки в нижнем торце зарядов**

Особенностью открытых горных работ является бурение взрывных скважин ниже отметки подошвы взрываемого уступа, что вызывается необходимостью усиления заряда для удовлетворительной проработки подошвы уступа. Усиление заряда скважин в их нижней части может достигаться также и помещением в призабойной части скважин более мощного ВВ, расширением нижней части скважин (камуфлетирование, разбуривание и другие способы), но наиболее широко применяется именно бурение скважин ниже подошвы уступа, так называемый перебур.

Величина перебура обычно составляет 15...20 диаметров скважины и достигает 1,5...3 м. Это существенно завышает общий объем буровых работ, дополнительно увеличивая расходы на бурение. Кроме того, применение перебура хотя и необходимо для удовлетворительной проработки подошвы уступа, но сопровождается интенсивным трещинообразованием в верхней части нижележащего уступа. Это приводит к увеличению выхода негабаритных кусков и сильно затрудняет забуривание скважин при обработке нижележащего уступа – устье скважин обрушается, приводя к увеличению диаметра в этом месте, особенно интенсивен этот процесс при ударном бурении. Разбуривание обрушенных кусков повышает износ долота, снижает производительность бурения на этом интервале. Следовательно, взрывание заряда по схеме, при которой взаимодействие ударных волн будет происходить в его нижней части, должно обеспечить значительное уменьшение величины перебура скважин.

Лабораторными исследованиями влияния на качество взрыва воздушных промежутков в верхней и нижней торцовых полостях скважинного заряда установлено, что у таких зарядов радиус зоны измельчения в среднем на 10 % меньше по сравнению с обычными зарядами, а экспериментальные точки расположены значительно ближе к аппроксимирующей кривой <sup>1</sup>.

Уменьшение радиуса зоны измельчения и выхода переизмельченных частиц породы при взрывании зарядов с воздушными полостями у торцов зарядов указывает на существенную роль снижения начального давления продуктов взрыва за счет свободного их расширения в воздушной полости; при этом не только снижается удельное давление и удлиняется время действия взрыва на массив горных пород, но и изменяется плотность энергии взрыва на единицу поверхности контакта продуктов взрыва с разрушаемой средой. Снижение плотности заряжания за счет торцовых воздушных полостей уменьшает местное или, иначе говоря, бризантное действие взрыва при общем увеличении выхода дробленого продукта. Видимо, к такому же результату может привести уменьшение плотности заряжания за счет применения ВВ с меньшей насыпной плотностью, но с одинаковой теплотой взрыва.

В целом воздушные полости в скважинном заряде снижают начальное давление взрыва и плотность энергии взрыва на единицу поверхности заряда, удлиняют время действия взрыва на разрушаемую среду и таким образом уменьшают местное (бризантное) действие взрыва, приводящее к переизмельчению среды в ближней зоне взрыва, и способствуют большей равномерности и стабильности результатов дробления значительных объемов среды.

Для выявления степени эффективности взрывного рыхления горных пород скважинными зарядами с воздушной подушкой в нижней части скважины были проведены несколько опытных массовых взрывов с такой конструкцией зарядов в Златоуст-Беловском карьере Дзержинского горно-металлургического комбината <sup>2</sup>. Анализ результатов этих взрывов показал, что при одинаковой сетке расположения скважин заряды с воздушной подушкой по сравнению с зарядами сплошной конструкции позволяют:

---

<sup>1</sup> Демидюк Г. П., Иванов В. С. Влияние формы одиночного заряда на дробление твердой среды взрывом // Взрывное дело. 1963. № 53/10. С. 47–59.

<sup>2</sup> Результаты промышленных испытаний скважинных зарядов с промежутками из гранулированного пенополистирола / М. И. Жаркенов, Е. Б. Бекетаев, Т. А. Кинеев, К. Н. Жунусов // Взрывное дело. 1977. № 78/35. С. 102–106.

### 1.3. ВОЗДУШНЫЕ ПРОМЕЖУТКИ В НИЖНЕМ ТОРЦЕ ЗАРЯДОВ

- значительно улучшить качество дробления трудно взрывааемых серых песчаников за счет увеличения продолжительности воздействия продуктов взрыва на массив горных пород и общей высоты колонки заряда на 1...2 м при соответствующем уменьшении длины забойки (рис. 1.2);
- снизить удельный расход ВВ на 8...10 % при взрывании крепких труднодробимых горных пород и на 18...20 % при взрывании легко- и среднедробимых горных пород;
- уменьшить разрушение массива за последним рядом скважин в 1,3...1,6 раза (рис. 1.3).

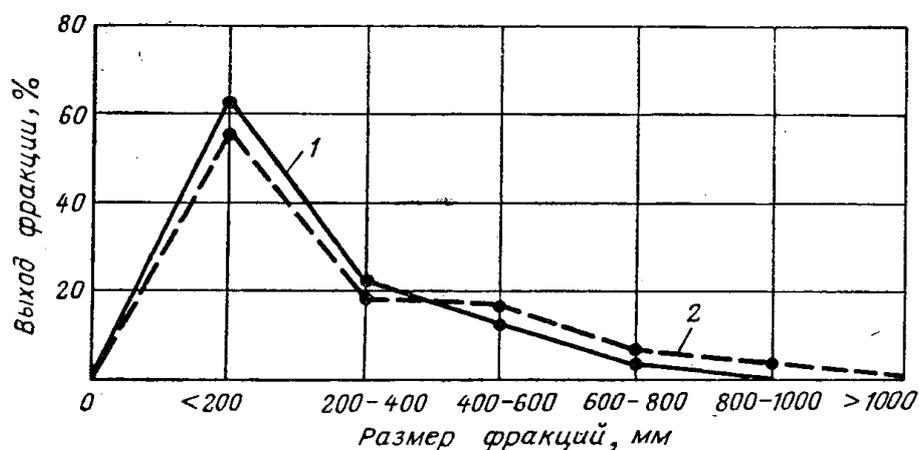


Рис. 1.2. Гранулометрический состав взорванной горной массы при взрыве зарядов:  
1 – с воздушной подушкой; 2 – сплошного

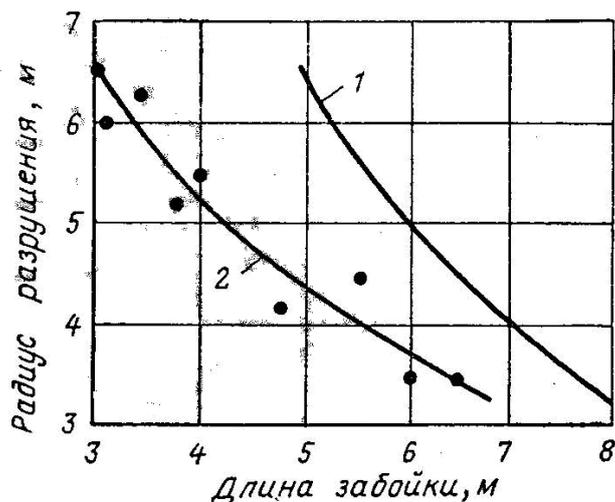


Рис. 1.3. Зависимость величины разрушения массива за последним рядом скважин от длины забойки при различной конструкции заряда:  
1 – сплошного; 2 – с воздушной подушкой

В процессе промышленных испытаний конструкций скважинных зарядов с воздушной подушкой из вспененного полистирола в одном из карьеров гранодиоритов Хабаровского края нами было замечено еще одно интересное обстоятельство. При взрывании таких зарядов по порядной схеме происходит существенный выброс горной массы в сторону откоса уступа – разрушенная горная порода летит практически горизонтально. Уместно будет заметить, что видна даже тень от летящего облака горной массы (рис. 1.4, *а*). После взрыва горная масса была отброшена на значительное расстояние от уступа – откос его открыт практически на полную высоту, в то же время высота навала горной массы снижена, причем достаточно существенно (рис. 1.4, *б*), а выброса горной массы за пределы блока в тыльную сторону блока не наблюдалось.

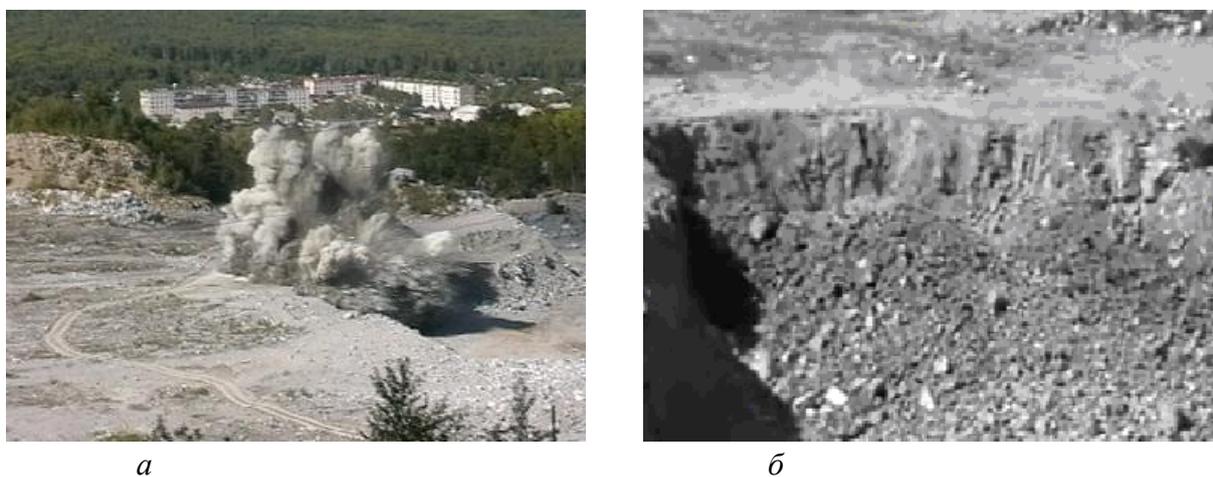


Рис. 1.4. Развитие и результат массового взрыва с воздушной подушкой

Такой эффект от взрыва с воздушной подушкой может быть использован, например, для понижения высоты развала горной массы в случае местного завышения высоты уступа, что позволит использовать выемочно-погрузочное оборудование на запредельных для его рабочих параметров высотах взрываемого уступа. Кроме того, направленный выброс горной массы в сторону откоса уступа при полном его отсутствии в противоположную сторону может быть использован для взрывного рыхления скальных горных пород в стесненных условиях, когда в каком-либо направлении необходимо исключить разброс кусков горной массы с целью защиты охраняемого объекта.

На основе этих наблюдений нами разработан и испытан в производственных условиях способ взрывания уступов в стесненных условиях под

### 1.3. ВОЗДУШНЫЕ ПРОМЕЖУТКИ В НИЖНЕМ ТОРЦЕ ЗАРЯДОВ

двухслойным укрытием в виде мата, составленного из соединенных между собой изношенных автомобильных шин <sup>1</sup>. Размещают мат на металлическую сетку, а скважинные заряды выполняют с воздушной подушкой в нижней части, например, из пенополистирола. Апробация предложенного способа проведена при сооружении выемки на строящейся федеральной автомобильной дороге «Амур» на участке 1 983...1 906 км, пикет 428. Горные породы взрываемого блока представлены доломитами VIII категории крепости по СНиПу. Ближайшие жилые дома поселка Теплоозерска удалены от выемки на расстояние 80 м, поэтому для обеспечения их безопасности взрывные работы должны проводиться под укрытием, исключая разлет кусков горной массы в сторону поселка. Параметры зарядов экспериментального блока приведены на рис. 1.5, а видеокдры процесса развития взрыва представлены на рис. 1.6.

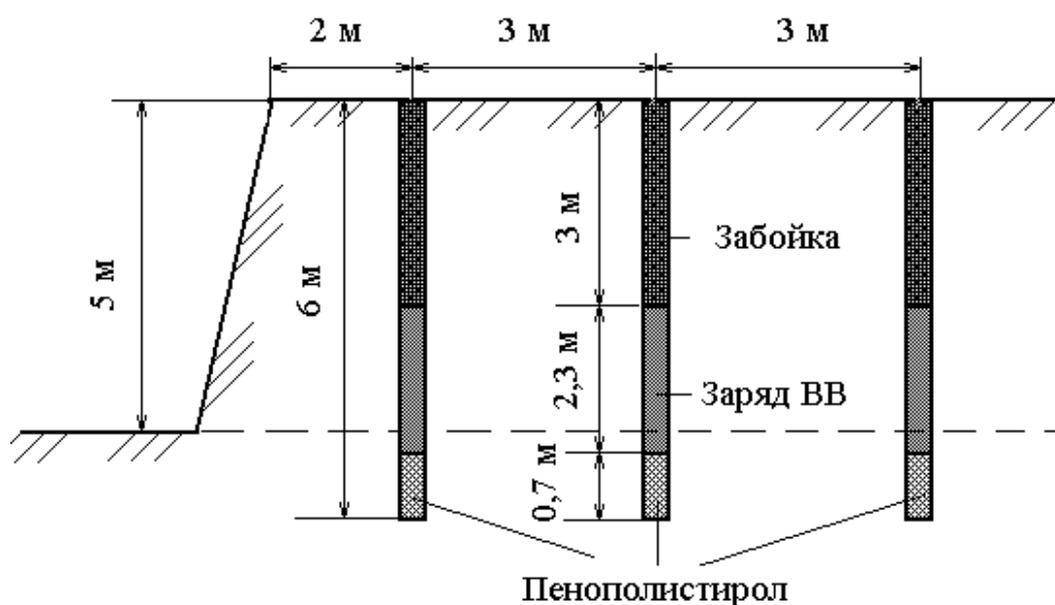


Рис. 1.5. Параметры зарядов с воздушной подушкой

Эксплуатационный блок под экспериментальный массовый взрыв был обурен 32 скважинами диаметром 110 мм и глубиной 6 м, включая перебур длиной 1,0 м. Скважины расположены по сетке 3 × 3,5 м в три ряда на подобранном уступе высотой 5 м. В восточной части на длине половины блока образовалась подпорная стенка шириной 2,5...3 м, поскольку часть

<sup>1</sup> Способ взрывания уступов в стесненных условиях : пат. 2317521 Рос. Федерация. № 2006121285/03 ; заявл. 15.06.06 ; опубл. 20.02.06, Бюл. № 5. 6 с.

## 1. РОЛЬ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В ПРОЦЕССЕ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

горной массы от предыдущего взрыва не была выбрана из-за низкого его качества.



0 мс



40 мс



440 мс



1 160 мс



1 640 мс



19 000 мс

Рис. 1.6. Видеограмма развития экспериментального массового взрыва

Видеосъемку взрыва проводили цифровой видеокамерой NV-GS11 с 24-кратным оптическим увеличением и скоростью съемки 25 кадр/с (интервал между видеокадрами составляет 40 мс). Видеокамеру установи-

ли на северном борту выемки за пределами опасной зоны с превышением над поверхностью взрываемого блока около 25 м, что позволило достаточно уверенно отследить динамику перемещения горной массы в процессе развития взрыва.

Анализируя видеосъемку, можно сделать следующие выводы. На видеокadre 40 мс видно срабатывание порядной схемы взрывания, направленной от откоса уступа в сторону охраняемого объекта. Начиная с 440 мс четко прослеживается ожидаемый выброс горной массы в направлении откоса уступа, т. е. в противоположную от поселка сторону. На видеокadрах с 1 160 по 1 640 мс хорошо видна направленность выброса горной породы преимущественно в горизонтальном направлении: вверх куски практически не летят. На видеокadрах с 440 по 1 160 мс заметна подвижка подпорной стенки из необранной горной массы, а также характерное поведение мата укрытия – шины поднимаются вместе с горной массой, не отрываясь от нее и практически сохраняя свое горизонтальное положение.

После взрыва просматриваются протяженный выброс горной массы от подобранного забоя (рис. 1.7, *а*) и существенная подвижка подпорной стенки из необранной горной массы, а также практически оставшиеся на месте укладки шины как самого мата укрытия, так и шины пригрузки сетки укрытия со стороны поселка, служащие одновременно и анкерами для шин мата укрытия (рис. 1.7, *б*).



Рис. 1.7. Развал горной массы после взрыва

Следует отметить и отсутствие вспучивания развала, наблюдавшегося ранее при взрывах обычных зарядов под укрытием из автошин аналогичной конструкции. Произошло это потому, что значительная часть горной

массы была отброшена от уступа. Снижение высоты развала облегчает выемку пород обратной лопатой.

Принципиально важно отметить тот факт, что в направлении поселка никаких серьезных подвижек массива не отмечено. Все шины, уложенные для пригрузки сетки со стороны поселка, остались на своем месте за пределами блока или незначительно сдвинуты к краю блока, шины с рядов скважин частью остались на месте, большей частью сдвинулись по сетке в сторону поселка (рис. 1.6, б). Последнее следует подчеркнуть особо: несмотря на существенный выброс породы в направлении откоса уступа, это не повлекло смещения в ту же сторону шин из-за незначительного воздействия взрыва в сторону забойки.

Поверхность блока по последнему ряду скважин слегка вспучена, имеются значительные трещины, но никаких признаков выброса кусков породы в этом направлении нет – на проходящую рядом дорогу не упало ни одного куска породы. Отработка блока показала хорошее качество дробления горной массы и проработки подошвы уступа.

Таким образом, главными достоинствами применения воздушной подушки в нижней части скважины под скважинным зарядом ВВ являются:

- значительное уменьшение длины перебура скважин;
- снижение выхода негабарита;
- существенное снижение воздействия взрыва в сторону забойки;
- направленный выброс взорванной горной массы в сторону откоса уступа;
- полное отсутствие выброса кусков горной массы в сторону охраняемого объекта.

---

## Глава 2

# РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ ОБЗОР ВЗРЫВНЫХ РАБОТ С ВОЗДУШНЫМИ ПРОМЕЖУТКАМИ

### 2.1. Рациональные параметры воздушных промежутков

Оптимальные соотношения между высотой воздушного промежутка и частями заряда устанавливаются экспериментальным путем с учетом горно-геологических и горнотехнических условий на каждом конкретном месторождении <sup>1</sup>. Для этого в 60...70-х гг. прошлого века были проведены многолетние исследования на горных предприятиях с широким диапазоном изменения свойств и строения массива горных пород.

На слюдяных карьерах треста «Мамслюда» отбойку горной массы производили колонковыми зарядами в скважинах диаметром 200...220 мм с одно- и двухрядным расположением зарядов <sup>2</sup>. Последовательность взрывания – через скважину с замедлением 25 мс. При установке одного воздушного промежутка его длина составляла 0,09...0,15 длины заряда, а масса заряда в его нижней части 0,6...0,7 от всей массы заряда. При двух воздушных промежутках суммарная их длина составляла 0,28...0,33 длины заряда, масса нижнего заряда – 0,5 общей массы, а над каждым воздушным промежутком размещали равные заряды по 0,25 общей массы заряда. При отбойке горных пород рассредоточенными инертным материалом зарядами по сравнению со сплошными колонковыми зарядами качество дробления улучшилось, выход негабарита несколько уменьшился. Однако эффективность дробления горных пород зарядами с воздушными промежутками оказалась значительно выше: заряды с воздушными промежутками суммарной длиной 0,09...0,15 длины заряда по сравнению со сплошной конструкцией улучшают дробление горной массы. Выход нега-

---

<sup>1</sup> Мельников Н. В., Марченко Л. Н. К вопросу о работе и механизме действия взрыва в твердых средах. С. 17.

<sup>2</sup> Эффективность отбойки породы на слюдяных карьерах зарядами с воздушными промежутками / В. Т. Сорокин, А. И. Ляхов, В. П. Федоров, Л. Г. Рубцов // Взрывное дело. 1967. № 62/19. С. 211–215.

барита уменьшился в 2...4 раза, увеличился объем мелких легкопогружаемых фракций.

С увеличением крепости и плотности пород длина воздушного промежутка должна уменьшаться. Так, для карьеров треста «Мамслюда» рациональная длина воздушного промежутка при отбойке сланцев, гнейсов и песчаников была установлена в пределах 0,15...0,20 длины заряда, при отбойке трещиноватых мелкоблочных пегматитов 0,10...0,15 и при отбойке монолитных и крупноблочных пегматитов 0,05...0,08 соответственно.

Исследования по оценке эффективности дробления горных пород рассредоточенными скважинными зарядами, проведенные на известняковом карьере Камышбурунского железорудного комбината <sup>1</sup>, показали, что применение инертных материалов в рассредоточенных зарядах менее эффективно по сравнению с воздушными промежутками, особенно при длине промежутка свыше 0,5 м. Рассредоточение зарядов воздушными промежутками эффективно лишь в тех случаях, когда правильно выбрано соотношение длины заряда и воздушного промежутка для конкретного диаметра скважины. Например, для скважин диаметром 110...115 мм при длине частей заряда 1...5 м длина воздушного промежутка должна составлять 0,5...0,7 м, т. е. 4,5...6 диаметров скважины. Превышение этих величин приводит к волнообразной форме разрушения забоя по длине скважины, причем в районе расположения частей заряда радиус разрушения больше, чем в районе воздушного промежутка. При длине воздушных промежутков 2...4 м, т. е. 18...35 диаметров скважины, качество дробления резко ухудшается и наблюдается большой выход негабарита размером 1,5...3,5 м. Рассредоточенные заряды с воздушными промежутками длиной до 6 диаметров обеспечивают хорошее качество дробления, но процесс заряжания скважин усложняется. При глубине скважин 12...14 м заряд необходимо рассредоточивать на 5...6 частей 4...5 воздушными промежутками суммарной длиной 2...2,5 м.

Эффективность зарядов с воздушными промежутками, как сказано выше, достигается, прежде всего, за счет увеличения времени воздействия взрыва на массив горных пород. Последнее обеспечивается не только за счет интерференции взрывных волн от различных частей заряда внутри самого воздушного промежутка, но и путем более длительного запираания

---

<sup>1</sup> *Алексеев А. Ф.* Совершенствование параметров буровзрывных работ на известняковом карьере Камышбурунского железорудного комбината // Взрывное дело. 1966. № 59/16. С. 125–134.

---

продуктов взрыва в скважине. Продолжительность времени задержки истечения продуктов взрыва из скважины определяется длиной воздушного

промежутка и массой верхней части заряда, расположенного над воздушным промежутком <sup>1</sup>.

Так, на карьерах Докучаевского флюсодоломитного комбината при массе верхней части заряда в 40 кг длина воздушного промежутка, обеспечивающая запирающие продукты взрыва, должна быть не менее 4 м. Доведение массы верхней части заряда до 120 кг позволило уменьшить длину воздушного промежутка до 1,5...2 м. В условиях флюсовых карьеров Донбасса наилучший эффект от применения рассредоточенных зарядов достигается при общей массе заряда в скважине 400...600 кг, длине воздушного промежутка 3...5 м и массе верхней части заряда 80...120 кг.

Рассредоточенные скважинные заряды подтвердили свою эффективность и при отбойке руды и трещиноватых горных пород высокой крепости <sup>2</sup>. Руды имели крепость  $f = 16$ , а горные породы представлены сильно трещиноватыми диабазами, кератофирами и туфобрекчиями с  $f = 14...20$ , диаметр скважин 220 мм, масса заряда 280 кг по породе и 240...260 кг по руде. Размер кондиционного куска составлял 800 мм. Заряд рассредоточивали на две неравные части – верхний составляет 0,14 от основного по длине. Воздушный промежуток создавали подвешиванием пробки из бумажного мешка из-под ВВ. С переходом на заряды с воздушными промежутками длину забойки сократили на величину даже большую длины самого воздушного промежутка. Основой для этого послужила двойная роль газообразных продуктов взрыва верхней части заряда над воздушным промежутком: непосредственно воздействуя на верхнюю часть рудного или породного массива, они в то же время своим высоким давлением противодействуют выбросу из скважины продуктов взрыва основного заряда в большей мере, чем обычная забойка. В рудных забоях при сплошных зарядах выход негабарита составлял 8 %, а руда в районе заряда ВВ подвергалась излишнему дроблению. Переход на рассредоточенные воздушными промежутками заряды, кроме более равномерного дробления руды, обеспечил снижение выхода негабарита до 1,5...3 %, кроме того, появилась возможность в 2...3 раза сократить объем работ по забойке.

Положительный опыт промышленного применения скважинных зарядов, рассредоточенных воздушными промежутками, накоплен на Алтын-

---

<sup>1</sup> *Исследование эффективности зарядов с воздушными промежутками.* С. 124.

<sup>2</sup> *Волынский В. И.* Применение скважинных зарядов с воздушными промежутками при отбойке руды и трещиноватых пород // Взрывное дело. 1964. № 54/11. С. 253–257.

Топканском комбинате<sup>1</sup>. В породах крепостью  $f = 8 \dots 16$  при диаметре долота 200 мм рассредоточивали заряд на две части, высота воздушного промежутка изменялась от 0,6 до 1,8 м (3...9 диаметров скважины). Воздушный промежуток создавали деревянной катушкой, представляющей собой два фанерных диска диаметром 210 мм (верхний) и 100 мм (нижний) с внутренними отверстиями для пропуска детонирующего шнура (ДШ), соединенных тремя штырями. В нижнюю часть заряда помещали 65...75 % общей массы порошкообразного ВВ и нить детонирующего шнура с узлом на конце в качестве промежуточного детонатора, затем опускали катушку заданной высоты; поверх нее располагали остальную часть заряда. При зарядании сыпучими ВВ типа граммонитов поверх катушки (когда диаметр скважины существенно превышал диаметр ее большого диска) засыпали 2...3 лопаты грунта для устранения просыпания верхней части заряда в воздушный промежуток. При рассредоточении заряда на три части в нижнюю часть помещали 50...55 %, а в верхние две части по 22...25 % общей массы ВВ. При зарядании гранулированными ВВ типа игданитов или граммонитов боевик помещали в каждую часть заряда. При высоте воздушного промежутка в 1,6...1,8 м (8...9 диаметров заряда) улучшения степени дробления по сравнению со сплошными зарядами не отмечено, а вот создание воздушных промежутков размещением в скважину деревянных катушек длиной в рост человека связано с определенными трудностями.

Особенно четкий эффект от применения воздушных промежутков в условиях данного месторождения наблюдался при использовании наклонных скважинных зарядов, расположенных параллельно откосу уступа. Заряд во всех скважинах рассредоточивали как воздушными промежутками, так и инертным материалом на равные части. Лучшие результаты показали воздушные промежутки: сильно сократился выход крупных фракций при экономии ВВ до 27...33 %. Постоянство линии наименьшего сопротивления (ЛНС) на протяжении всей длины заряда наклонной скважины позволяет равномерно рассредоточить заряд по глубине скважины воздушными промежутками суммарной длиной 30...35 % длины заряда, что создает экономию ВВ до 27...30 % и наиболее высокую степень дробления. При рассредоточении инертным материалом степень дробления такая же, как у

---

<sup>1</sup> Бурштейн М. П., Сеинов Н. П. Опыт применения скважинных зарядов, рассредоточенных воздушными промежутками, на карьерах Алтын-Топканского комбината // Взрывное дело. 1964. № 54/11. С. 257–265.

сплошных зарядов, а в отдельных случаях и хуже, хотя достигается экономия ВВ до 6,5 %. При обследовании поверхности забоя после взрыва обнаружено, что в местах рассредоточения инертным материалом на откосе уступа остались отпечатки скважин, в то время как в местах расположения воздушных промежутков отчетливо видно повышенное разрушение породы в форме «карманов», в пределах которых, следовательно, было усиление напряжений от взрыва.

Интересен еще один положительный опыт взрывных работ с применения воздушных промежутков в наклонных скважинных зарядах<sup>1</sup>. Известняки с  $f = 10 \dots 11$  взрывают скважинами диаметром 106 мм при высоте уступа 20 м, четырьмя рядами наклонных скважин, пробуренных под углом  $70 \dots 75^\circ$  параллельно плоскости откоса уступа и расположенных по сетке  $3 \times 3,5$  м. При длине воздушного промежутка 1,5 м (14 диаметров скважины) выход негабарита составил 5,7 %, при воздушном промежутке в 1 м (10 диаметров скважины) только 4,4 %, а при сплошных зарядах – 7...9 %.

Экспериментальные исследования с целью установления оптимальной высоты воздушного промежутка были проведены в условиях Шиловского карьера Анатолевского ГОКа<sup>2</sup>. В экспериментальных взрывах в скважинах диаметром 200 мм и глубиной 12...19 м величину воздушного промежутка изменяли от 2 до 5 м (10...25 диаметров скважины).

Результаты испытаний показали, что в условиях карьера при высоте уступа до 10 м лучший эффект по гранулометрическому составу взорванной породы получен от сплошных зарядов с длиной воздушного промежутка под забойкой 4...5 м (20...25 диаметров скважины). При большей высоте уступа воздушным промежутком необходимо рассредоточивать основной заряд ВВ, а величина промежутка в этом случае зависит от высоты уступа. Так, на сдвоенном уступе при его высоте 17 м и сетке скважин  $8 \times 6,5$  м была принята следующая конструкция зарядов: первую часть основного заряда ВВ массой 320...360 кг размещали в нижней части скважины, заполняя ее по высоте на 5,5...6,0 м. Вторую часть заряда массой 120 кг, высотой 2,5 м располагали над воздушным промежутком длиной 4 м. Такая конструкция заряда обеспечивала наилучшее качество дробления.

---

<sup>1</sup> Кроловецкий М. Н. Опыт взрывных работ с применением воздушных промежутков // Взрывное дело. 1964. № 54/11. С. 318–322.

<sup>2</sup> Симанов В. Г., Рухлов В. А. Многорядный короткозамедленный взрыв при сдвоенном уступе зарядов, рассредоточенных воздушными промежутками // Взрывное дело. 1977. № 78/35. С. 160–165.

## 2. РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ ОБЗОР ВЗРЫВНЫХ РАБОТ С ВОЗДУШНЫМИ ПРОМЕЖУТКАМИ

---

На карьере Сорского комбината <sup>1</sup> разрабатывались граниты, граносиениты с  $f = 10...15$  уступами 10 м. При формировании зарядов с воздушными промежутками 70 % ВВ от массы заряда засыпали в нижнюю часть скважины, затем устанавливали воздушный промежуток длиной 1,5 м (6 диаметров скважины) и засыпали остальной заряд. Количество негабарита сократилось вдвое – с 3 до 1,5 %.

На Соколовском карьере Соколовско-Сарбайского горно-обогатительного комбината <sup>2</sup> магнетитовую руду с  $f = 8...10$  взрывают уступами высотой 9...11 м скважинными зарядами диаметром 240 мм. Воздушные промежутки высотой 1...3 м (4...13 диаметров скважины) создают пробками из бумажной тары из-под ВВ, проталкивая их по скважине на заданную глубину при помощи шеста длиной до 6 м. Годичный опыт работы показал достаточную надежность такой конструкции воздушного промежутка, хотя формирование воздушных промежутков таким способом трудоемко, а в качестве дополнительного преимущества отмечена возможность утилизации бумажной тары из-под ВВ.

Применение на одном из карьеров Казахстана зарядов с воздушными промежутками длиной 2 м (10 диаметров скважины) настолько убедительно показало их преимущества, что карьер в короткое время осуществил полный переход на взрывные работы с их применением <sup>3</sup>. Рассредоточение зарядов при помощи засыпки инертного материала, как это делалось раньше, не давало эффекта, поскольку длина скважины, подвергающейся воздействию продуктов взрыва, не увеличивается, происходит только простое перемещение холостых участков скважины. Напротив, при зарядании скважин с устройством воздушных промежутков увеличивается длина скважины, на которую непосредственно воздействует заряд (до 60...70 %), т. к. взрывные газы оказывают давление на стенки скважины не только в месте расположения заряда ВВ, но и на участке воздушного промежутка. Это увеличивает долю принудительного разрушения горных пород по высоте уступа, кроме того, происходит перераспределение энергии взрыва: уменьшается энергия, затрачиваемая на бесполезное переизмельчение по-

---

<sup>1</sup> Лавыгин В. А. Буровзрывные работы на карьере Сорского комбината // Взрывное дело. 1964. № 54/11. С. 267–271.

<sup>2</sup> Садыков Г. Х. Применение игданитов на некоторых карьерах Казахстана // Взрывное дело. 1964. № 54/11. С. 271–279.

<sup>3</sup> Малинин В. А., Файзуллин А. М. Результаты применения игданитов, зарядов с воздушными промежутками и комбинированного зарядания скважин // Взрывное дело. 1964. № 54/11. С. 282–291.

роды вокруг скважины в результате бризантного действия ВВ. Значительно уменьшается объем работ по формированию забойки за счет уменьшения длины забиваемой части скважин.

Каранское и Ждановское месторождения представлены средне- и крупнозернистыми гранитами с  $f = 12...14$ , с размерами естественных блоков в массиве до  $3,5 \times 2,8 \times 1,2$  м<sup>1</sup>. Скважины бурят диаметром 250 и 110 мм. При взрывании сплошными зарядами ВВ выход негабарита достигал 30...40 %. С переходом на заряды с воздушными промежутками выход негабарита снизился до 15...16 % и кусковатость взорванной горной массы стала более равномерной. Наилучшие результаты по качеству дробления горной массы получены при длине воздушного промежутка в 5...7 диаметров скважины.

Мокрянское месторождение представлено гранитами XII–XIV категории крепости по шкале ЕНВиР<sup>2</sup>. Скважинные заряды диаметром 200 мм с воздушными промежутками позволили снизить выход негабарита с 35...45 до 27 %. Наиболее эффективной оказалась следующая конструкция зарядов: при глубине скважины 21 м нижний заряд формируют длиной 8 м, над ним устанавливают воздушный промежуток длиной 3 м (15 диаметров скважины), затем – второй заряд длиной 3 м, снова воздушный промежуток длиной 3 м и над ним размещается забойка длиной 3 м. Отношение суммарной длины воздушных промежутков к общей длине зарядов составляет 0,55. Выход негабарита при трехрядном расположении скважин в целом не превысил 18 %. Способ надежен и прост.

Породы с явно выраженным напластованием следует взрывать не сплошными зарядами ВВ, а рассредоточенными воздушными промежутками. При этом в крепких пропластках следует располагать не заряд ВВ, а воздушный промежуток, поскольку вследствие интерференции ударных волн в воздушных промежутках на местах их расположения прилегающее пространство поверхности откоса уступа разрушается сильнее<sup>3</sup> (рис. 2.1).

Для возникновения таких разрушений в районе воздушных промежутков необходимо инициировать обе части рассредоточенного заряда так,

---

<sup>1</sup> Экштейн Л. О. Регулирование гранулометрического состава взорванной горной массы методом перераспределения энергии взрыва // Взрывное дело. 1964. № 54/11. С. 303–310.

<sup>2</sup> Кучерявый Ф. И., Костриков В. Ф., Крысин Р. С. Опыт применения воздушных промежутков при взрывании скважинных зарядов на карьерах // Взрывное дело. 1964. № 54/11. С. 310–317.

<sup>3</sup> Мельников Н. В., Марченко Л. Н. Энергия взрыва и конструкция заряда. С. 25.

## 2. РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ ОБЗОР ВЗРЫВНЫХ РАБОТ С ВОЗДУШНЫМИ ПРОМЕЖУТКАМИ

чтобы газовые потоки и ударные волны детонирующих частей заряда встретились вблизи середины воздушного промежутка <sup>1</sup>.

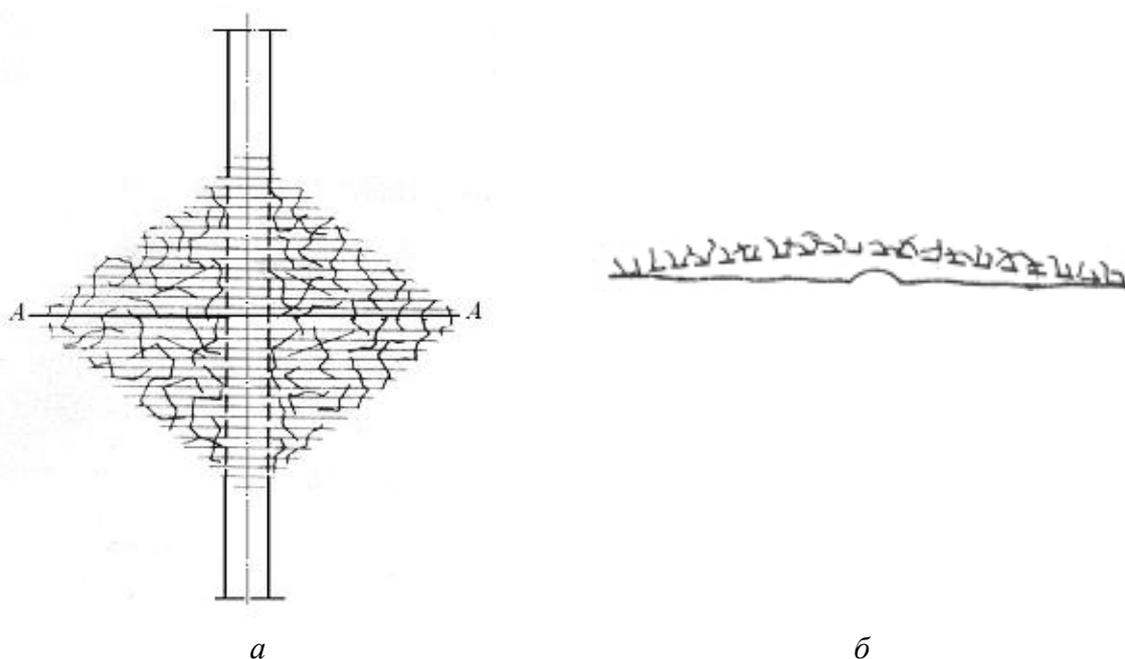


Рис. 2.1. Поверхность уступа в месте расположения воздушного промежутка:  
*а* – вид на забой; *б* – разрез *А-А*

Механизм взаимодействия ударных волн встречных газовых потоков аналогичен взаимодействию ударных волн с неподвижной преградой, когда избыточное давление в ударной волне при отражении увеличивается в 8...11 раз. При взрыве отдельных частей рассредоточенного заряда образуется первоначальное давление продуктов детонации, которое уменьшается на 20...30 % и более при заполнении воздушного промежутка, находящегося при атмосферном давлении. За счет чрезвычайно большой разности давлений возникают колоссальные скорости газовых потоков, которые в момент встречи взаимно поглощаются, и в процессе торможения движущихся масс встречное давление возрастает в 15...20 раз по сравнению с усредненным давлением во взрывной полости.

Весьма ценный положительный опыт применения зарядов с воздушными промежутками накоплен на Щучинских гранитных карьерах Казахстана, где условия ведения взрывных работ в сильнотрещиноватых грани-

---

<sup>1</sup> Губкин В. И. Повышение эффективности скважинных зарядов с воздушными промежутками // Проблема разрушения горных пород взрывом. М., 1967. С. 149–159.

тах с коэффициентом крепости  $f = 12...14$  весьма сложны <sup>1</sup>. Скважины диаметром 100 мм расположены по сетке  $3 \times 3$  м на уступах высотой 10...12 м, удельный расход ВВ 0,6...0,7 кг/м<sup>3</sup>, выход негабарита 25...30 %. Заряды рассредоточивали воздушными промежутками длиной 0,8...1 м (8...10 диаметров скважины). Дробление породы несколько улучшалось, но выход негабарита почти не уменьшился. Опытными взрывами установлено, что при высоте уступа 7...10 м достаточно рассредоточить заряд одним воздушным промежутком, а нижняя часть заряда ВВ должна составлять 0,7...0,8 от расчетной массы заряда. Отношение длины рассредоточенной части заряда к его диаметру принимается от 3 до 6, в зависимости от высоты уступа – с увеличением высоты уступа – соотношение увеличивается. Величина воздушного промежутка определяется из соотношения длины рассредоточенной части заряда к длине воздушного промежутка, которую можно принимать в пределах от 0,3 до 1,0. Проведенные исследования взрывного рыхления известняков с  $f = 3...7$  показали, что при диаметре скважин 200...300 мм и глубине их свыше 12 м для высокобризантных ВВ целесообразно применять укороченную забойку длиной до 3,0 м, а между забойкой и зарядом ВВ оставлять воздушный промежуток высотой до 2 м (5...7 диаметров скважины). В то же время по результатам исследований, проведенных на горно-обогатительных комбинатах Криворожского бассейна Украины <sup>2</sup>, эффективная длина воздушного промежутка между зарядом и забойкой предлагается в 10...12 диаметров заряда.

Взрывы с воздушными полостями в нижней части скважины на Златоуст-Беловском карьере показали <sup>3</sup>, что рациональными параметрами для зарядов с воздушной подушкой при диаметре скважины 200...250 мм являются следующие: длина воздушной подушки 0,13...0,20 высоты уступа; общая длина заряда с воздушной подушкой 0,60...0,75 высоты уступа, остальная часть скважины заполняется забойкой.

Итак, обширный производственный опыт рассредоточения скважинных зарядов воздушными промежутками свидетельствует о том, что оптимальные соотношения между высотой воздушного промежутка и длиной частей

---

<sup>1</sup> Логунов А. Н., Величкин А. Н. Из опыта применения зарядов с воздушными промежутками и игданита на предприятиях Казахстана // Взрывное дело. 1964. № 54/11. С. 342–349.

<sup>2</sup> Китач Г. М. Указ. соч. С. 81.

<sup>3</sup> Результаты промышленных испытаний скважинных зарядов с промежутками из гранулированного пенополистирола С. 105.

заряда определяются отдельно для каждого карьера с учетом свойств и строения массива пород и уточняются опытными взрывами.

### 2.2. Создание воздушных промежутков в сухих скважинах

Воздушные промежутки на практике выполняют разными способами:

1. Размещением в скважину деревянного стержня с крестовинами на концах, после чего опускают бумажный пакет, заполненный породой, чтобы полностью перекрыть отверстия крестовины <sup>1</sup>.

Аналогичным вариантом является помещение в скважину простейших приспособлений из двух деревянных дисков (диаметром 0,80...0,85 диаметра скважины) с отверстиями под ДШ, скрепленных между собой одной, двумя или тремя деревянными стойками на высоту воздушного промежутка <sup>2</sup>. Нижний диск может быть заменен планкой, а над верхним для исключения просыпания ВВ в воздушный промежуток размещают воронки из бумаги или полиэтилена, бумагу в виде пыжа или заполненного породой пакета и т. п. При длине воздушных промежутков до 2,5...3,0 м такие конструкции достаточно сложны в транспортировке и особенно в применении. Вместо верхнего диска применяли также конусообразный затвор из полиэтиленовой пленки, который, заполняясь ВВ, препятствовал его просыпанию в воздушный промежуток.

В скважинах переменного сечения для предотвращения просыпания ВВ в воздушный промежуток предложен затвор в виде конуса с гофрированной боковой стенкой, размещенного на стойке высотой, равной высоте воздушного промежутка <sup>3</sup>. Затвор 1 (рис. 2.2) представляет собой гофрированную эластичную оболочку 3 с ребрами жесткости 4, которые переходят в жесткое основание 5, скрепляющее опору 2 и затвор.

После размещения необходимого для формирования нижней части заряда количества ВВ устройство опускают в скважину до упора в поверхность нижней части заряда пятой 6. При формировании верхней части заряда под действием потока ВВ гофрированная оболочка затвора раскрыва-

---

<sup>1</sup> Лавыгин В. А. Указ. соч. С. 269.

<sup>2</sup> Бурштейн М. П., Сеинов Н. П. Указ. соч. С. 259.

<sup>3</sup> Устройство для рассредоточения заряда взрывчатого вещества воздушным промежутком : а. с. 614658 СССР. № 2134059/22-03 ; заявл. 05.05.75 ; опубл. 25.10.79, Бюл. № 39. 5 с.

ется, прижимается к стенкам скважины и предотвращает пересыпание ВВ в воздушный промежуток.

2. Подвешиванием на уровне верхней части воздушного промежутка различных конструктивных элементов для предотвращения поступления ВВ в воздушный промежуток, например, небольшого количества ВВ (10...15 кг), упакованного в изготовленный на месте зарядания бумажный патрон диаметром 0,80...0,85 диаметра скважины, или пробки из бумажного мешка: поверх патрона или пробки помещается необходимое количество ВВ верхней части заряда.

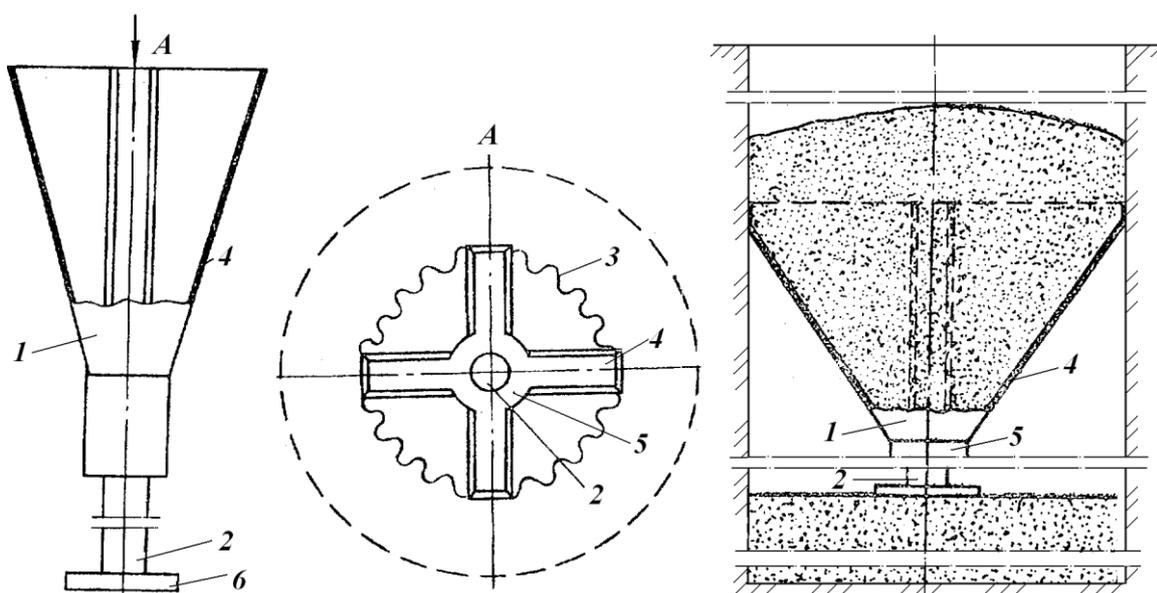


Рис. 2.2. Устройство для рассредоточения заряда взрывчатого вещества воздушным промежуток

Недостатком таких устройств является возможность проникновения взрывчатых веществ в полость воздушного промежутка через пространство между патроном или пробкой и стенками скважины и, частичного или полного его заполнения гранулами ВВ, что, в свою очередь, значительно ухудшает эффективность действия воздушного промежутка и в целом отрицательно сказывается на общих показателях взрывного рыхления горных пород.

На ликвидацию указанного недостатка направлено конструктивное решение, представленное в виде подвесного устройства, из двух крестообразно соединенных эллиптических дисков 1 с прорезями 2 для их взаимно-

го соединения, причем больший диаметр диска равен  $1,1 \dots 1,16$  диаметра скважины, а меньший –  $0,92 \dots 0,95$  (рис. 2.3) <sup>1</sup>.

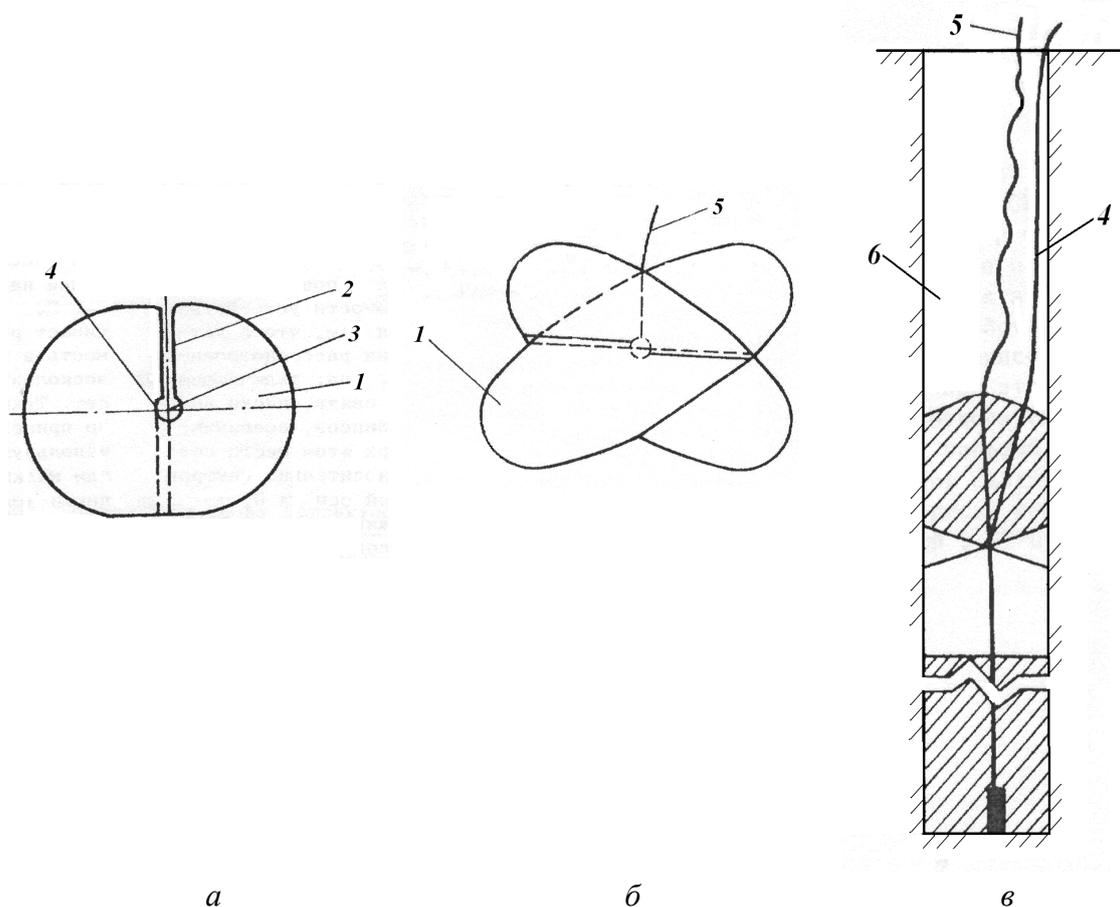


Рис. 2.3. Схема подвесного устройства для рассредоточения зарядов ВВ:  
*а* – в сложенном положении; *б* – в развернутом положении; *в* – скважина после зарядки

В пробуренной скважине *в* размещают ВВ в количестве, необходимом для создания нижней части заряда, затем крестообразно с помощью прорезей соединяют эллиптические диски, в отверстие *3* пропускают детонирующий шнур *4* от размещенного в нижнем заряде боевика и закрепляют бечеву *5*. Благодаря смещению линии соединения устройство легко проходит по скважине до требуемой глубины, не задевая за стенки. Затем начинают формировать верхнюю часть заряда ВВ, при этом поступающие порции ВВ в первую очередь попадают на верхние части дисков, поворачивают их вокруг линии соединения и расклинивают в стенки скважины за счет массы поступающих порций ВВ.

<sup>1</sup> Устройство для создания рассредоточенного скважинного заряда : а. с. 1059960 СССР. № 3412233/22-03 ; заявл. 23.03.82 ; опубл. 15.02.85, Бюл. № 3. 4 с.

3. Перегораживанием скважины пробками из бумажных мешков из-под ВВ, досылаемыми в скважину забойником в виде длинного шеста на заданную глубину <sup>1</sup>. Способ нашел сравнительно широкое применение в силу простоты исполнения и доступности бумажных мешков из-под ВВ, однако имеет следующие недостатки:

- сложность регулирования длины воздушного промежутка из-за ограниченной длины применяемых на карьерах шестов, хотя известны случаи применения шестов длиной до 6 м;

- трудность досылки в скважину шестом бумажной пробки, плотно расклиненной в ее стенки, а при неплотном расклинивании пробки выпадают внутрь промежутка после заполнения скважины верхним зарядом и забоечным материалом.

С переходом на механизированную зарядку скважин, когда растаривание ВВ и их засыпку в зарядные машины осуществляют на складах ВМ, способ потерял актуальность.

4. Размещением в заряде цилиндров, изготовленных из бумажных мешков из-под ВВ, двух видов. Технология изготовления первого включает операции размалывания бумаги, приготовления бумажной массы, формирования и сушки цилиндров <sup>2</sup>. Из одного бумажного мешка из-под ВВ можно изготовить 3 цилиндра. Для создания воздушных промежутков длиной 1,0...2,5 м требуется 3...8 шт. бумажных цилиндров. Бумажные цилиндры второго вида изготавливали из 8...10 слоев бумаги от мешков из-под ВВ, проклеенных жидким стеклом и хорошо просушенных. При диаметре 200...220 мм и длине 0,5...1,0 м цилиндр выдерживает нагрузку в 70...100 кг от заряда ВВ и забойки без заметной деформации <sup>3</sup>. Для создания воздушного промежутка заданной длины в процессе зарядки цилиндры в нужном количестве сбрасывают в скважину. Такие воздушные промежутки можно создавать в зарядах различных ВВ – цилиндры закрыты и не допускают попадания внутрь сыпучих или текучих ВВ. Несмотря на значительный объем подготовительных работ, формирование воздушных промежутков бумажными цилиндрами в свое время широко применялось в Казахстане. С отказом промышленности от бумажной упаковки ВВ способ потерял актуальность.

---

<sup>1</sup> Ким М. Ф. Опыт применения зарядов с воздушными промежутками на карьерах Казахстана // Взрывное дело. 1967. № 62/19. С. 215–225.

<sup>2</sup> Там же. С. 222.

<sup>3</sup> Логунов А. Н., Величкин А. Н. Указ. соч. С. 345.

5. Использование пневматических скважинных затворов. На дно скважины опускают боевик *1* (рис. 2.4) и засыпают нижнюю часть заряда ВВ *9*, затем в скважину на соединительной трубке *5* опускают пневматический скважинный затвор *2* до верхнего уровня воздушного промежутка <sup>1</sup>. Затвор состоит из герметичной резиновой камеры, которая в сжатом виде свободно опускается в скважину.

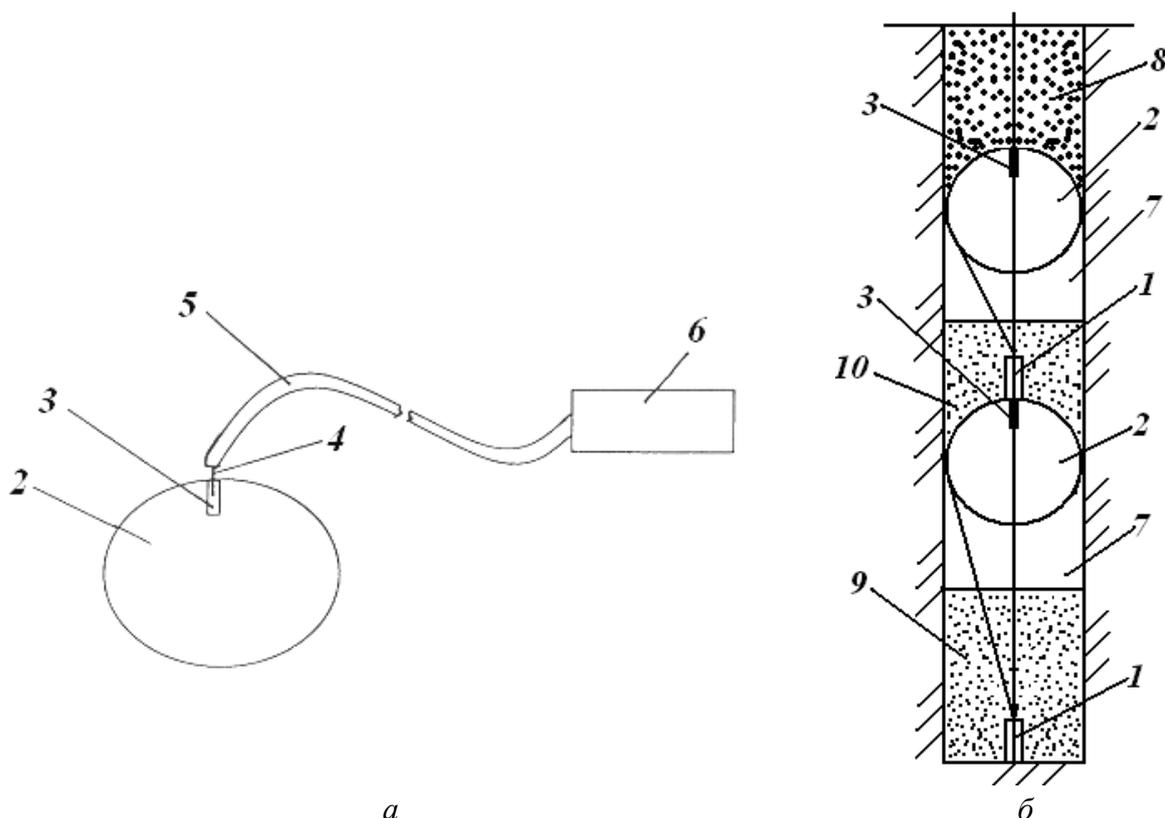


Рис. 2.4. Схема пневматического скважинного затвора:  
*а* – оборудование для установки затвора;  
*б* – установка пневматического затвора в скважине

После досылки резиновой камеры на заданную глубину ее через ниппель *3*, полую иглу *4* и соединительную трубку *5* накачивают сжатым воздухом от компрессора *б*, установленного на поверхности, до заданного давления. При этом резиновая камера расширяется и плотно прилегает к стенкам скважины, затем соединительную трубку, жестко соединенную с полую иглой, отделяют от резиновой камеры и вынимают из скважины.

<sup>1</sup> Способ рассредоточения заряда в скважине : пат. 2235971 Рос. Федерация. № 2003123657/03 ; заявл. 25.07.03 ; опубл. 10.09.04, Бюл. № 19. 5 с.

Между пневматическим затвором и нижним зарядом ВВ образовывается воздушный промежуток 7. После установки пневматического скважинного затвора на него опускают следующий боевик и помещают верхнюю часть заряда ВВ 10. В случае необходимости создать воздушный промежуток между забойкой 8 и зарядом применяют второй пневматический скважинный затвор.

Способ привлекателен кажущейся простотой и дешевизной исполнения, но при внимательном рассмотрении простота действительно является кажущейся, поскольку необходим источник сжатого воздуха в виде компрессора или переносных баллонов сжатого воздуха. Далее, проводник инициирующего импульса прижимается пневматическим затвором к стенке скважины со значительным усилием и может быть поврежден на неровностях и вывалах стенок скважины.

б. Формированием воздушного промежутка засыпкой в скважину вспененного полистирола<sup>1</sup>.

Промышленные испытания эффективности действия взрыва скважинных зарядов с промежутками из пенополистирола проводились в условиях Златоуст-Беловского карьера Дзержинского горно-металлургического комбината. Был достигнут значительный экономический эффект за счет снижения затрат на экскавацию и транспортирование горной массы (улучшение качества дробления), а также на взрывные работы за счет уменьшения удельного расхода ВВ.

К сожалению, способ формирования воздушных промежутков вспененным полистиролом не получил широкого применения. Видимо, это было вызвано дефицитностью и высокой стоимостью пенополистирола в то время: исследования проводились в скважинах диаметром 200...250 мм, требовалось большое количество пенополистирола (0,03...0,05 м<sup>3</sup>/м).

В настоящее время в карьерах все большее применение находят буровые станки гидро- и пневмоударного бурения с уменьшенным диаметром долот (105...165 мм). При создании воздушных промежутков в скважинах такого диаметра необходим объем пенополистирола 0,01...0,02 м<sup>3</sup>/м, т. е. в 2...5 раз меньше, чем в скважинах большого диаметра, а сам пенополистирол весьма доступен, в т. ч. по цене. Так, заводская цена пенополистирола в Хабаровске составляет 1 450...1 500 р./м<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Результаты промышленных испытаний скважинных зарядов с промежутками из гранулированного пенополистирола. С. 103.

Достигнутые в процессе широчайших многолетних испытаний в самых различных горных породах высокие технико-экономические показатели взрывного рыхления скважинными зарядами, рассредоточенными воздушными промежутками, к глубокому сожалению, вошли в эпоху развитого социализма в противоречие с незаинтересованностью горных предприятий в экономии средств за счет введения дополнительных операций при формировании скважинных зарядов. Этот фактор, а также низкая технологичность применявшихся способов создания воздушных промежутков с использованием ручного труда привели к постепенному затуханию интереса к этому методу. И только с переходом на рыночные отношения, появлением на горных предприятиях эффективных собственников метод рассредоточения зарядов воздушными промежутками вновь может быть востребован жизнью.

Как видим, проведенный нами анализ способов формирования воздушных промежутков для рассредоточения скважинных зарядов убедительно доказывает, что наиболее перспективным является способ с применением вспененного полистирола.

### **2.3. Возможности создания воздушных промежутков в обводненных скважинах**

Большинство месторождений полезных ископаемых нашей страны залегает в сложных гидрогеологических условиях. С ростом глубины ведения горных работ увеличивается доля обводненных горных пород: уже более половины взрывааемых скважин обводнены, причем высота столба воды в скважинах достигает значительных величин, вплоть до полного заполнения их водой<sup>1</sup>. В таких скважинах создание воздушных промежутков весьма проблематично и самым простым путем решения этих затруднений считалось понижение уровня воды в массиве горных пород или удаление воды из конкретной скважины. Такое понижение уровня воды возможно различными способами и их комбинациями.

Обводненные скважины можно разделить на два типа:

– скважины, обводненные подземными водами, поступающими через трещины по всей высоте скважины с различной степенью проточности;

---

<sup>1</sup> Шевкун Е. Б. Управление действием взрыва скважинных зарядов. М., 1992. 181 с.

– скважины, обводненные атмосферными осадками, поступающими через устье и верхнюю часть уступа, сильно нарушенную предыдущими взрывами,

Для осушения скважин, обводненных подземными водами, наиболее целесообразно понижение уровня воды в массиве горных пород отдельных добычных блоков или во взрывных скважинах <sup>1</sup>. Рассмотрим отдельные, наиболее характерные, способы и устройства для понижения уровня воды в массиве горных пород и осушения скважин (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Способы осушения скважин в горном массиве

### 2.3.1. Дренаж воды по искусственно нарушенным зонам в массиве горных пород

Применение способов I группы предусматривает создание дополнительных зон нарушения в вертикальных плоскостях эксплуатационных блоков на высоту взрываемого уступа для дренажа воды на нижележащий горизонт до начала зарядки взрывных скважин.

<sup>1</sup> Шевкун Е. Б. Указ. соч. С. 135.

Так, на карьере компании «Додж Морец» (Dodge Morenci, США) предложена технология взрывной отбойки обводненных пород с взрыванием зумпфов перед отбойкой блоков (способ I.1). В центральной части развала зумпфа бурят скважины и обсаживают их металлическими трубами с перфорацией стенок. Откачку воды из скважин производят погружными насосами<sup>1</sup>. При взрывании эксплуатационных блоков через один (способ I.2) происходит интенсивный дренаж массива горных пород подготавливаемого блока в обе стороны по многочисленным вновь образованным трещинам по всей высоте уступа<sup>2</sup>.

Для понижения уровня воды в массиве способом I.3 выполняют дренажную контурную щель в тыльной и боковой частях эксплуатационного блока. На разрезе «Назаровский», например, контурную щель создают взрыванием контурных скважин диаметром 214 мм, пробуренных через 3...4 м<sup>3</sup>. Такой прием позволяет осушить до 90 % скважин в блоке, причем в 60 % скважин вода отсутствует, а в остальных высота столба не превышает 1 м.

В способах II группы для дренажа воды предусматривается создание до зарядки взрывных скважин дополнительных зон нарушения в горизонтальной плоскости эксплуатационных блоков в нижней части взрываемого уступа для дренажа воды на нижележащий горизонт.

Например, в способе II.4 предложено дренировать воду по горизонтальным нарушенным зонам в нижней части уступа, образованным взрывом в скважинах микрозарядов ВВ массой 2...4 кг. При столь малом заряде ВВ стенки и устье скважин не нарушаются, а в нижней части уступа восстанавливаются или образуются дополнительные трещины для дренирования воды.

Испытания способа в условиях Криворожского железорудного бассейна показали снижение обводненности скважин на 26...45 %. Восстановление первоначального уровня воды происходит через 2...25 сут<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> *Armbrust J.* Blastung and dewatering a drop out at Morenci open pit mine // Mining Tng. la88. Vol. 40, № 12. P.1107–1108.

<sup>2</sup> *Технология буровзрывных работ с предварительным взрывным разупрочнением массива / В. В. Коломоец [и др.] // Горный журнал. 1992. № 7. С. 31–32.*

<sup>3</sup> *Тибельгорн А. А., Калабухов С. В., Либерцев О. Н.* Пути решения проблемы обводненности вскрышных уступов на разрезе «Назаровский» // Уголь. 1987. № 4. С. 27–28.

<sup>4</sup> *Шапурин А. В., Пашиков А. П., Кирик П. Я.* Прогрессивная технология отбойки обводненных горных пород на карьерах // Разработка рудных месторождений : респ. межвед. науч.-техн. сб. Киев, 1989. Вып. 47. С. 51–53.

### 2.3.2. Осушение взрывных скважин выбросом воды прострелочными зарядами ВВ

Как показывает практика ведения взрывных работ, понижением уровня воды в обводненных массивах горных пород достичь полного осушения взрывных скважин не удастся.

Для удаления воды из скважин способами III группы используют газообразные продукты взрыва от микрочарядов, размещаемых на дне столба воды. По способу III.4 возможно применение специальных скважинных зарядов<sup>1</sup>. В скважину 4, которая заполнена водой 5, опускают на дно заряд ВВ 1 в оболочке 2 (рис. 2.6), причем газовый пузырь 3 располагают над зарядом ВВ.

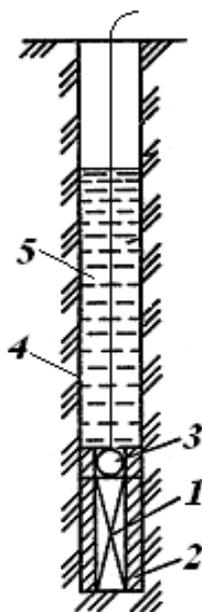


Рис. 2.6. Схема установки заряда ВВ для удаления воды из скважины

При инициировании ВВ, с учетом того что оно размещено в прочной оболочке, газовые продукты взрыва и ударная волна распространяются по оси ствола скважины, преимущественно вверх, чему способствует наличие газового пузыря. За счет этого осуществляется выброс воды из скважины при минимальном разрушении ее стенок.

По способу III.5 в обводненную скважину до установки выбросного заряда заливают вспенивающую добавку в количестве 0,1...1,0 % от объема воды в скважине. После смешивания этой добавки с водой на забой сква-

<sup>1</sup> Скважинный заряд : а. с. 1820177 СССР. 1991.

жины размещают заряд ВВ массой 0,1...1,0 кг и взрывают его, вода вспенивается продуктами взрыва и выбрасывается из скважины, разлетаясь в виде легкой пены <sup>1</sup>.

По способу III.6 в столб воды перед взрыванием донного выбросного заряда ВВ вводят гелеобразующие добавки. При взрыве заряда расширяющиеся газы вытесняют столб геля из скважины <sup>2</sup>. Движение гелевого столба вверх по скважине сопровождается частичной коагуляцией трещин в массиве, что уменьшает приток воды в скважину после осушения.

### 2.3.3. Осушение взрывных скважин вытеснением воды газообразным агентом

Наибольшим количеством технических решений представлена четвертая группа способов, базирующихся на вытеснении воды заполняемыми воздухом или выхлопными газами эластичными оболочками или поднимающимися под действием сжатого воздуха поршнями. Рассмотрим только наиболее характерные технические решения.

Удаление воды из скважины с применением сжатого воздуха возможно устройством <sup>3</sup> с эластичным цилиндром 1, в верхней части которого находится штуцер 2 для заполнения цилиндра сжатым воздухом, а нижняя часть снабжена грузом 3, способствующим погружению в скважину 4 эластичного цилиндра до уровня обсадной трубы 5 (рис. 2.7).

Перед заряданием скважины, заполненной водой, в нее опускают эластичный цилиндр с помощью расположенного в нем груза, а его штуцер в это время соединен с атмосферой. После полного погружения эластичного цилиндра в скважину штуцер соединяют с компрессором и заполняют цилиндр сжатым воздухом. Поскольку толщина стенок нижней части цилиндра меньше, чем в его верхней части, то расширение цилиндра начинается именно снизу. По мере поступления сжатого воздуха в цилиндр его стенки постепенно снизу вверх прижимаются к стенкам скважины, вытесняя воду, которая удаляется из скважины через обсадную трубу. После полного вытеснения воды из скважины цилиндр отсоединяют от компрессора и извле-

---

<sup>1</sup> *Zpusob odetrarovani vody z vrtu pomoci trhaviny* : а. с. 230935 ЧССР. 1986.

<sup>2</sup> *Расчет* массы прострелочного заряда для осушения обводненной взрывной скважины / В. М. Ратушный [и др.] // Разработка рудных месторождений : респ. межвед. науч.-техн. сб. Киев, 1989. Вып. 47. С. 53–55.

<sup>3</sup> *Устройство* для удаления воды из скважины : а. с. 402659 СССР. № 1677392/22 ; заявл. 05.07.71 ; опубл. 19.10.73, Бюл. № 42. 2 с.

кают из скважины. Однако цилиндр с переменной эластичностью стенок сложен, а необходимость полного заполнения объема скважины сжатым воздухом при малой обводненности приводит к необоснованному расходу сжатого воздуха.

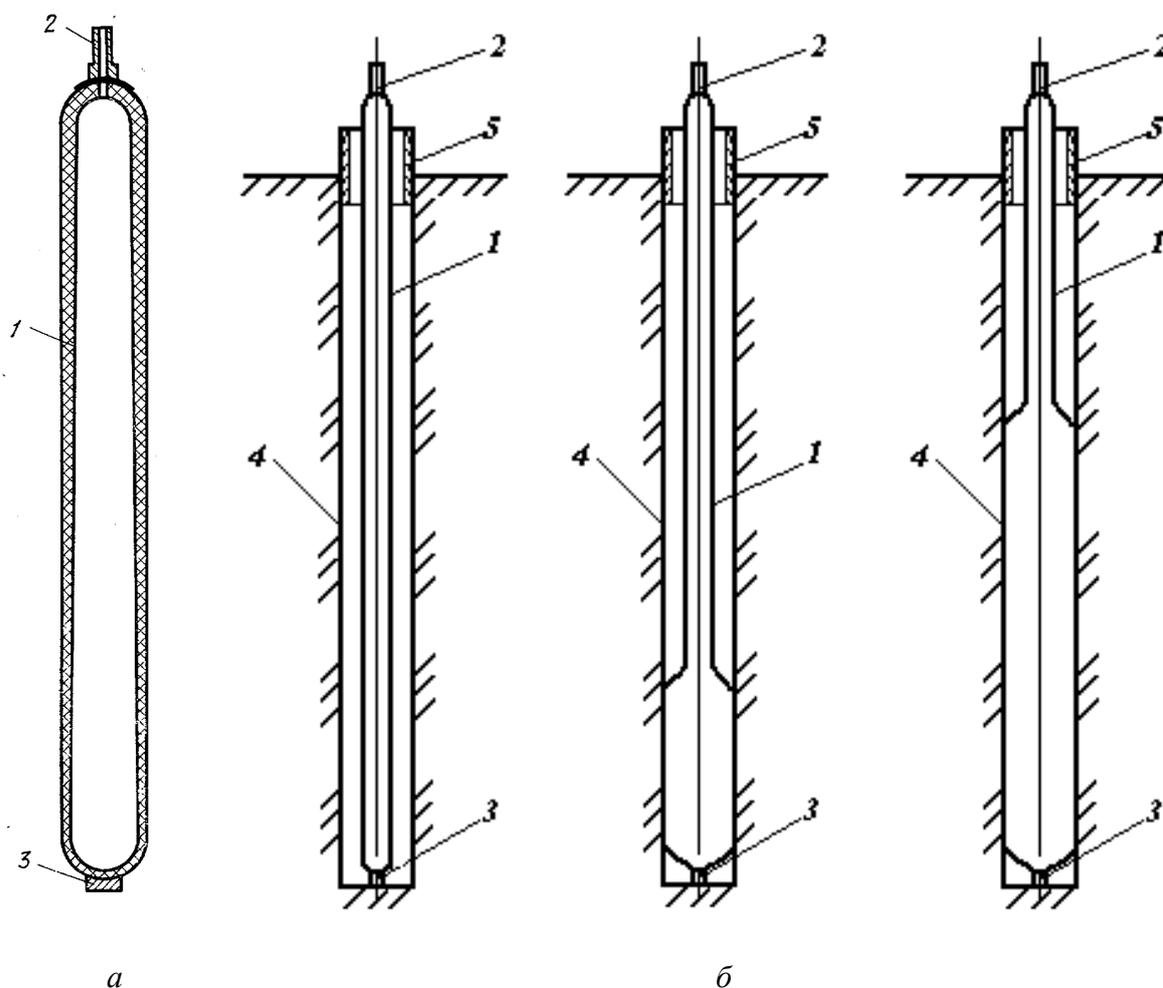


Рис. 2.7. Схема устройства для удаления воды из скважины:  
а — устройство в сборе; б — этапы вытеснения воды из скважины

Представляет интерес также устройство для осушения скважин сжатым воздухом через водоотводящий шланг <sup>1</sup> (рис. 2.8), работающее следующим образом. В обводненную скважину устройство опускается на водоотводящем шланге 1, на котором закреплен эластичный цилиндр 2. При этом верхняя часть эластичного цилиндра должна быть выше уровня воды в

<sup>1</sup> Устройство для осушения скважин : а. с. 735772 СССР. № 2689310/22-03 ; заявл. 28.11.78 ; опубл. 25.05.80, Бюл. № 19. 3 с.

скважине. В эластичный цилиндр с помощью шланга 3 и штуцера 4 подается сжатый воздух. При подаче воздуха эластичный цилиндр расширяется с верхней части до соприкосновения со стенками скважины, т. к. на эту часть цилиндра действует наименьшее внешнее давление.

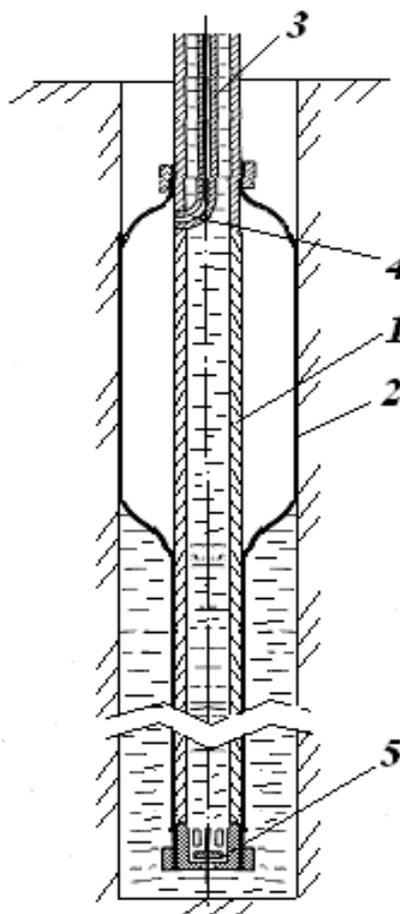


Рис. 2.8. Схема устройства для осушения скважин через водоотводящий шланг

По мере подачи воздуха происходит повышение его давления до уровня, достаточного для удержания эластичного цилиндра во фрикционном контакте со стенками скважины при давлении воды снизу. При дальнейшей подаче сжатого воздуха участки эластичного цилиндра будут расширяться все дальше вниз, оказывая возрастающее давление на воду в скважине, чем достигается вытеснение ее в водоотводящий шланг. После полного наполнения эластичного цилиндра сжатым воздухом и вытеснения всего объема воды по его длине воздух из цилиндра выпускается. Для исключения попадания воды из водоотводящего шланга в скважину после снижения давления воздуха в эластичном цилиндре на конце шланга уста-

новлен обратный клапан 5. Если длина эластичного цилиндра, закрепленного на водоотводящем шланге, окажется меньше высоты водяного столба в скважине, осушающее устройство опускают ниже и цикл осушения повторяют.

Следующее устройство для удаления воды из скважины <sup>1</sup> отличается выполнением органа 1 удаления воды в виде цепи продольных камер 2 с тормозными кольцами 3. По центру камер вмонтированы перепускные клапаны 4, нагнетающий шланг 5 и откачивающий шланг 6 с заборниками воздуха 7 (рис. 2.9).

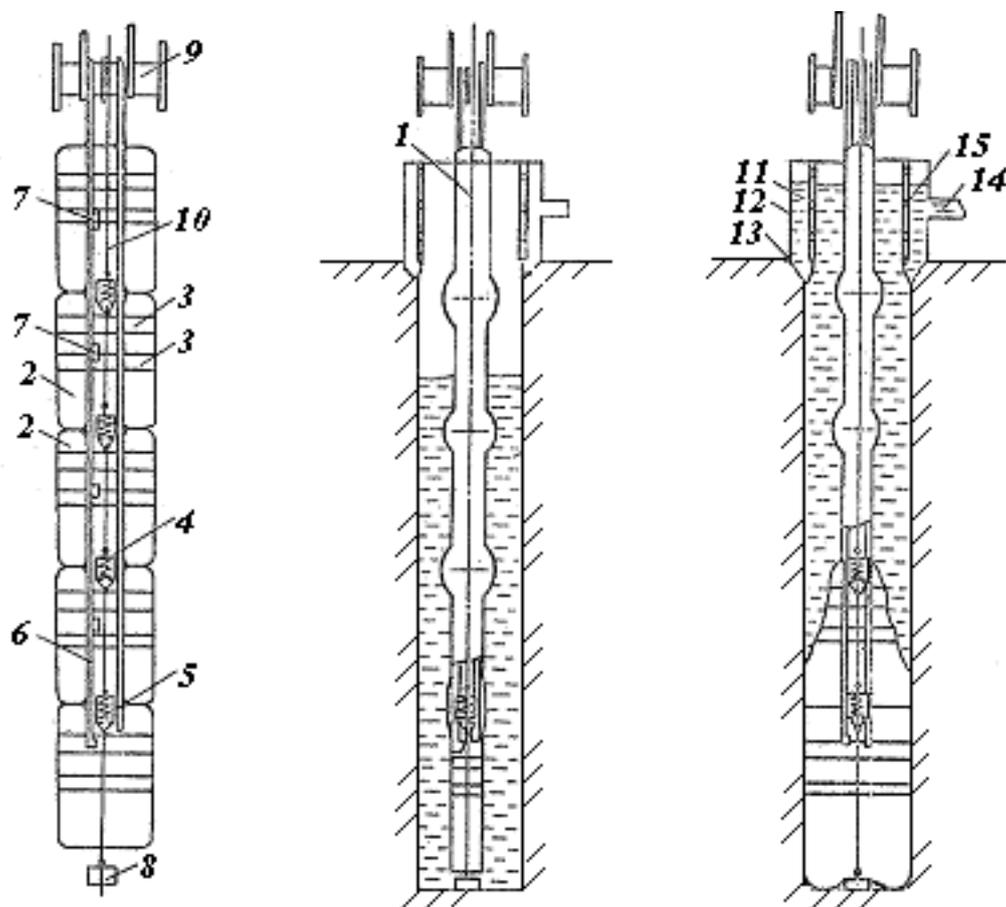


Рис. 2.9. Схема устройства для удаления воды из скважины:  
а – устройство в сборе; б – этапы вытеснения воды из скважины

Продольные камеры и спускной груз 8 соединены с подъемной лебедкой 9 канатом 10. Приемник воды 11 состоит из наружного цилиндра 12,

<sup>1</sup> Устройство для удаления воды из скважины : а. с. 714011 СССР. № 2584838/22 ; заявл. 20.02.78 ; опубл. 05.02.80, Бюл. № 5. 2 с.

уплотнения устья скважины 13, отводящей трубы 14 и внутреннего перфорированного цилиндра 15. Установленный на устье скважины приемник воды своим уплотнением герметизирует ее.

Перед началом работы устройства из продольных камер через заборники по откачивающему шлангу откачивают воздух и через внутренний цилиндр приемника орган удаления воды опускается в скважину. При достижении грузом дна скважины по нагнетательному шлангу подается сжатый воздух в нижнюю продольную камеру, которая раскрывается снизу вверх. Наружные стенки камеры при этом прижимаются к стенкам скважины и выжимают воду вверх. После достижения заданного давления, которым полностью раскрывается камера, в перепускном клапане сжимается пружина, а сжатый воздух поступает в следующую расположенную выше камеру. Каждая секция продольных камер снабжена тормозными кольцами с возрастающим усилением на растяжение по высоте. По мере заполнения продольных камер сжатым воздухом снизу вверх вода поднимается все выше и через приемник воды по трубе отводится за пределы скважины на поверхность уступа или собирается в емкость для последующего удаления ее за пределы блока. Устройство сложно в изготовлении, и возникают определенные сомнения в надежности его работы, зависящей от подбора и сохранения в процессе длительной эксплуатации упругости элементов.

Определенный интерес представляет также устройство для удаления воды из скважин <sup>1</sup> с помощью резиновой цилиндрической оболочки 1, которую помещают в скважину 2, заполненную водой 3 (рис. 2.10). Оболочка своей нижней частью сочленена с днищем 4, в котором установлен регулируемый предохранительный клапан 5, обжимным кольцом 6. Верхняя внутренняя часть оболочки является обратным клапаном 7 лепесткового типа, на который надевается эластичная (резиновая) втулка 8. В приливы 9 верхней наружной части оболочки вмурованы металлические втулки 10, сквозь которые продеты серьги 11. В центре верхней части оболочки выполнена коническая выемка 12 для штуцера 13 с крючками 14.

Штуцер соединен со шлангом 15 от ресивера компрессора. Эластичная оболочка в нижней части (около 0,07...0,2 своей длины) выполнена со ступенчатым увеличением эластичности. Пределы повышенной эластичности выбраны экспериментально на моделях. Если длина участка повышенной эластичности меньше 0,07 длины оболочки, то эластичность нижней части

---

<sup>1</sup> Установка для удаления воды из скважин : а. с. 1328687 СССР : № 3977276/22 ; заявл. 30.09.85 ; опубл. 23.06.87, Бюл. № 23. 3 с.

недостаточна и возникает опасность начала деформации оболочки сверху вниз, а если более 0,2, то эластичность нижней части слишком велика и при наличии случайных складок в средней части оболочки снова возникает опасность деформации оболочки сверху вниз

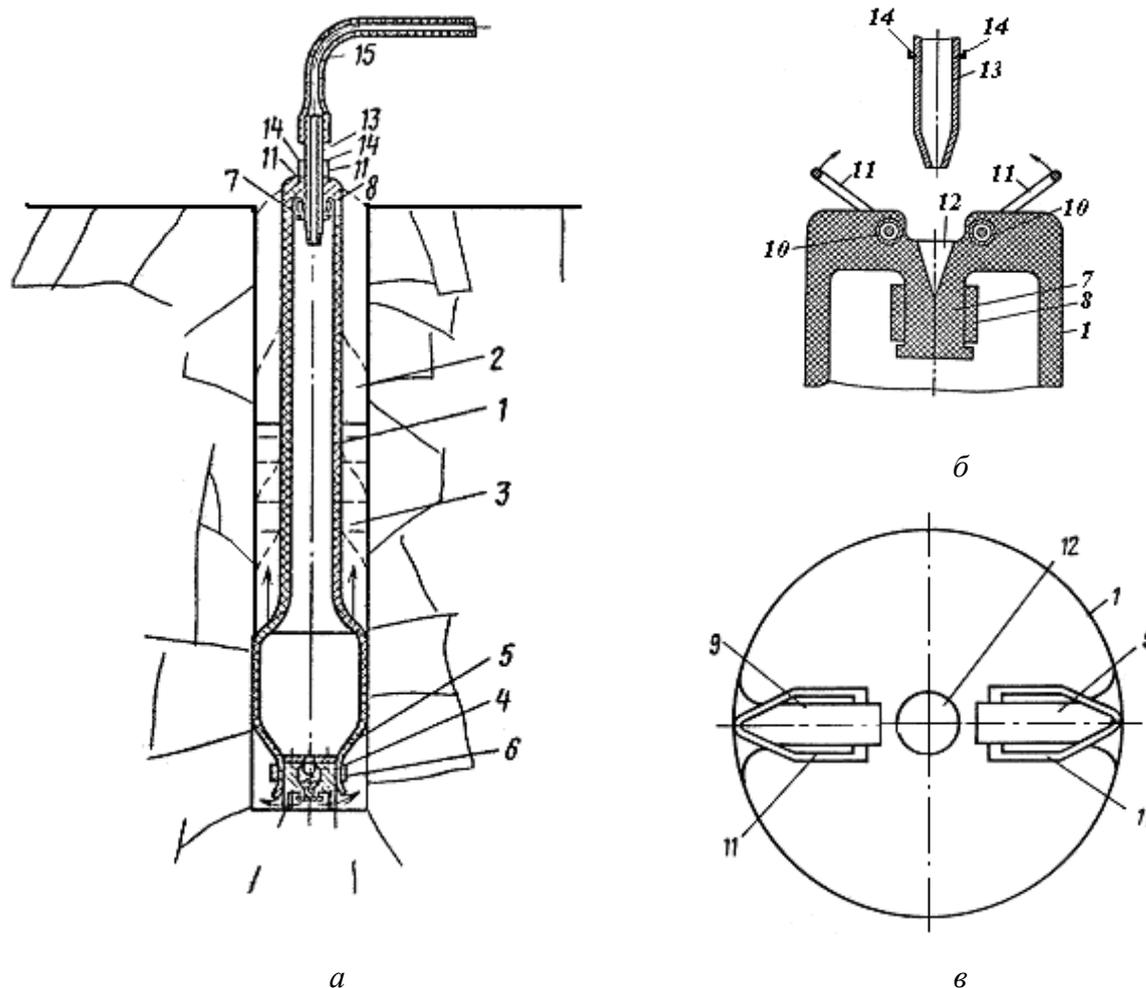


Рис. 2.10. Схема устройства для удаления воды из скважин резиновой оболочкой:  
 а – устройство в процессе работы в скважине;  
 б – верхняя часть эластичной оболочки и штуцер для подачи сжатого воздуха;  
 в – вид сверху на эластичную оболочку

В простейшем случае повышенная эластичность нижней части оболочки достигается ступенчатым уменьшением толщины ее стенок или же в нижней части может использоваться более эластичный тип резины, который приклеивается или привулканизируется к более жесткой резине средней части устройства.

Оболочку без воздуха опускают в обводненную скважину, в выемку оболочки вставляют штуцер, который раздвигает лепестки. Серьгами шту-

цер крепят к оболочке и подают в нее воздух. Оболочка перекрывает сечение нижней части скважины и деформируется снизу вверх до тех пор, пока вся вода не будет вытеснена из скважины. С дальнейшим ростом давления открывается предохранительный клапан, и воздух, выходя из оболочки в скважину, вытесняет оставшуюся воду. Затем штуцер извлекают, при этом лепестки клапана сходятся, препятствуя выходу воздуха из оболочки.

Заслуживает внимания устройство для осушения нисходящих взрывных скважин <sup>1</sup> в виде гибкого воздушного шланга 1, на котором коаксиально закреплен трубчатый уплотнительный элемент 2 из эластичного материала, и утяжелитель 3 (рис. 2.11).

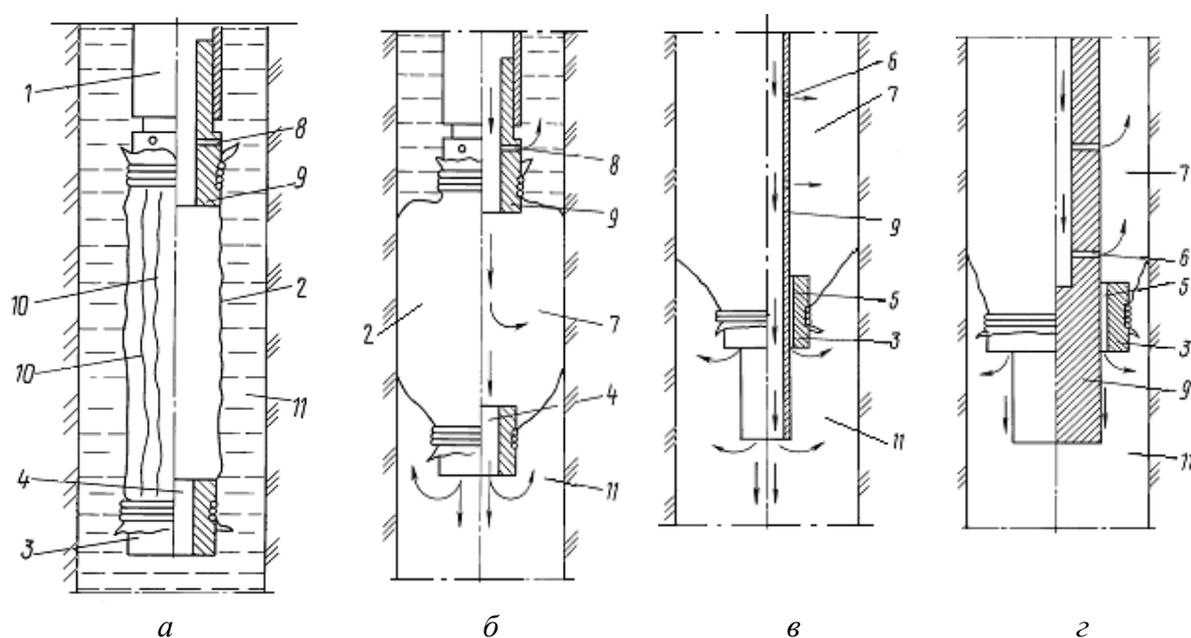


Рис. 2.11. Схема устройства для осушения нисходящих взрывных скважин:  
 а – в процессе опускания в скважину; б – в процессе осушения скважины;  
 в – разрез нижней части устройства с установкой утяжелителя на шланге в процессе осушения;  
 г – разрез нижней части устройства с заглушенным концом шланга в процессе осушения

В исходном положении утяжелитель висит на уплотнительном элементе и расправляет его на полную длину с образованием продольных складок 10, что уменьшает диаметр уплотнительного элемента и обеспечивает свободный проход устройства к забою скважины 11 даже при обмерзании ее устья. После касания устройством забоя по шлангу подается сжатый воздух, который вначале поступает во внутреннюю полость 7 уплотнительно-

<sup>1</sup> Устройство для осушения взрывных скважин : пат. 2007568 Рос. Федерация. № 4949658/03 ; заявл. 25.06.91 ; опубл. 15.02.94, Бюл. № 28. 6 с.

## 2. РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ ОБЗОР ВЗРЫВНЫХ РАБОТ С ВОЗДУШНЫМИ ПРОМЕЖУТКАМИ

рез полый вал барабана и шланг в пеногенерирующий насадок. Одновременно работает насос 20 для подачи воды в поток выхлопных газов.

Регулировкой подачи воды устанавливают оптимальную температуру (40...60 °С) выхлопных газов и с помощью барабана опускают шланг с рукавом 8 на дно скважины.

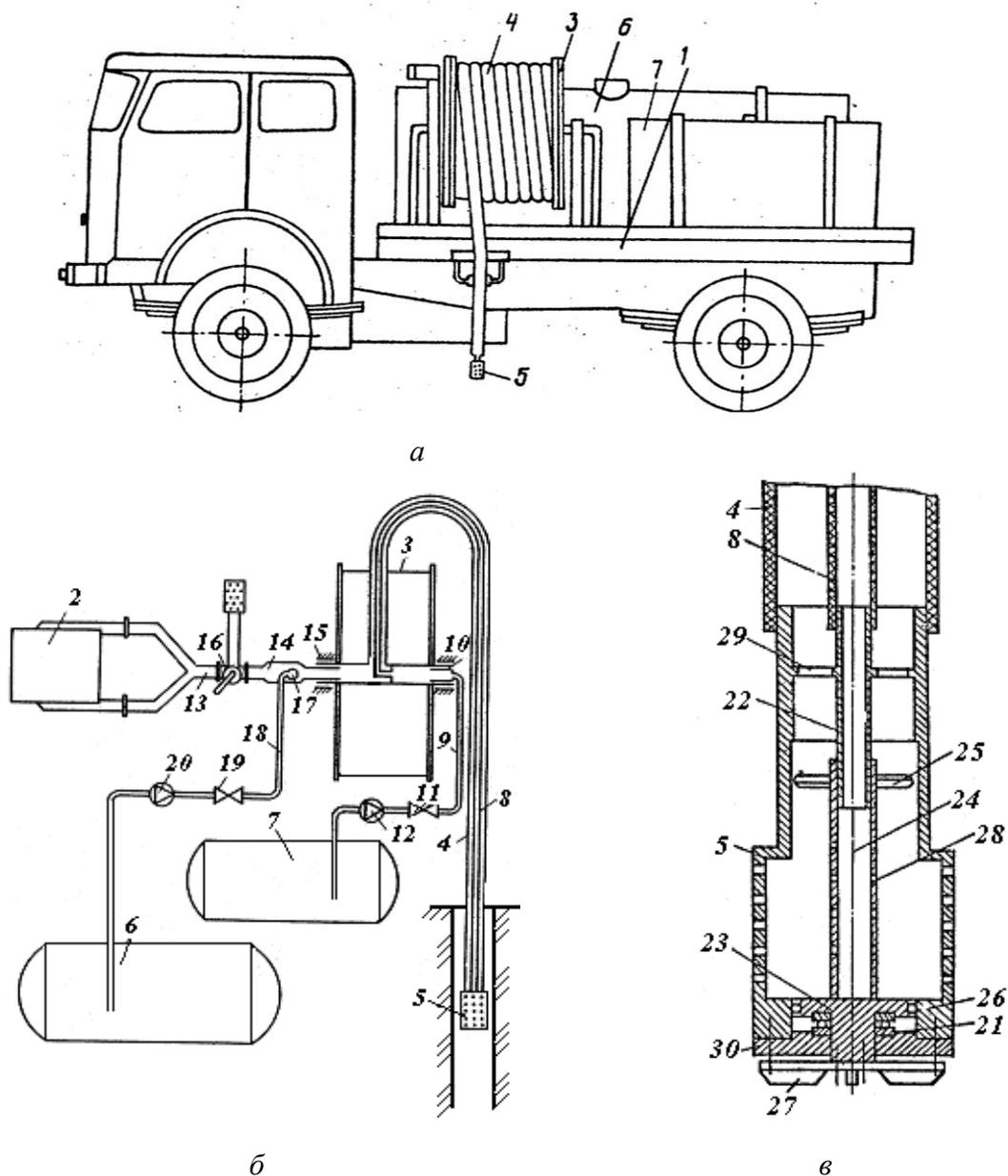


Рис. 2.12. Установка для осушения скважин с помощью пеногазовой подушки:  
 а – общий вид установки; б – принципиальная схема установки;  
 в – насадок с рыхлительным элементом

Затем включают насос 12 для подачи раствора пеногенерирующего вещества, например, раствора сульфанола, который, проходя по рукаву, по-

догревается выхлопными газами, обтекающими рукав в полости шланга, в пеногенерирующем насадке образуется смесь горячего газа с подогретым пенообразующим веществом, которая при контакте с водой создает на дне скважины пеногазовую подушку, пеногазовая подушка под действием нагнетаемого газа движется вверх по скважине и выталкивает из нее воду. Двигатель внутреннего сгорания во время осушения работает в режиме генератора газа. После осушения скважины выключают насос подачи пенообразующего вещества, включают привод барабана и шланг извлекают из скважины.

С целью использования этой конструкции для очистки обводненных скважин от слежавшегося бурового шлама конструкция пеногенерирующего насадка дополнена рыхлителем<sup>1</sup>. Рыхлитель 23 установлен в насадке и может вращаться на подшипнике 21 и патрубке 22 (рис. 2.12, в). Рыхлитель выполнен в виде стакана 24, полость которого сообщена через патрубок 22 с полостью рукава 8, причем со стороны патрубка 22 на внешней поверхности стакана 24 закреплены лопасти 25. Между корпусом насадка и дном стакана размещено уплотнение 26. Ко дну стакана прикреплена крыльчатка. В стакане имеются нерадиальные сквозные отверстия 28, а в корпусе насадка – отверстия 29 и установлена опорная крышка 30. Выхлопные газы, попадая в пеногенерирующий насадок через отверстия 29, раскручивают лопасти рыхлителя. Оператор включает привод барабана и опускает шланг с рукавом и пеногенерирующим насадком на дно скважины. Крыльчатка рыхлит донные отложения в скважине. Затем подают пенообразующий раствор, который, проходя по рукаву, попадает через патрубок 22 в полый стакан рыхлителя и через нерадиальные отверстия 28 в пеногенерирующий насадок, создавая дополнительный крутящий момент за счет реактивного истечения жидкости и интенсивнее раскручивая крыльчатку.

Рассматривая в целом устройства и установки для вытеснения воды из скважин сжатым воздухом или газами, в качестве их недостатков, прежде всего, следует назвать сомнительность обеспечения полного обезвоживания скважин, поскольку в стенках скважин могут быть вывалы и между стенками скважины и пеногазовыми подушками в таких местах образуются зазоры, в которые и перетекает вытесняемая вода. Кроме того,

---

<sup>1</sup> Установка для осушения взрывных скважин : а. с. 1328431 СССР. № 3977041/03 ; заявл. 19.11.85 ; опубл. 07.08.87, Бюл. № 29. 3 с.

установки имеют повышенную сложность конструкции, которая снижает их надежность в эксплуатации.

### 2.3.4. Осушение взрывных скважин вытеснением воды воздухом с образованием воздушной подушки

Преимущества скважинных зарядов с воздушной подушкой под зарядом ВВ очевидны, поэтому вполне объяснимо стремление применять осушающие устройства, позволяющие создавать уже в процессе осушения скважин воздушные полости в нижней части скважины. Из существующих способов осушения взрывных скважин с образованием воздушной подушки отметим те из них, которые нам кажутся наиболее продуктивными.

Предложено устройство для осушения скважины и образования в ней воздушной подушки<sup>1</sup> (рис. 2.13).

Устройство имеет распорный узел 1 включающий опорную крышку 2 с отверстием 3, в котором установлен с возможностью продольного перемещения зажимной болт 4 со сквозным каналом 5 для подвода сжатого воздуха в эластичную оболочку 6. Оболочка своим верхним концом 7 закреплена на распорном узле. На зажимном болте с внутренней стороны 8 опорной крышки коаксиально установлен распорный конус 9. Опорная крышка закреплена в устье скважины посредством приспособления 10, которое включает обсадную трубу 11, закрепленную одним торцом на внутренней стороне опорной крышки, и раздвижные лепестки 12 с внутренними конусами 13, шарнирно соединенные со свободным торцом обсадной трубы.

На внешней стороне 14 опорной крышки опорная трубка 15 установлена коаксиально зажимному болту, а на последнем закреплен маховик 16. Осевой канал 5 сообщен с воздухоподающим шлангом 17. Эластичная оболочка выполнена диаметром, превышающим диаметр скважины, одним концом она закреплена на распорном конусе, а ее нижний конец закреплен хомутиками с охватом внешней стороны на полом сетчатом цилиндре 18 в районе верхней 19 и нижней 20 торцовых перфорированных крышек. Отверстия перфорации крышек сетчатого цилиндра меньше диаметра гранул ВВ, а полый сетчатый цилиндр установлен в эластичной оболочке. На нижней крышке закреплен распорный усик 21 длиной больше диаметра

---

<sup>1</sup> *Устройство* для осушения скважины и образования в ней воздушной подушки : а. с. 1693316 СССР. № 4717761/03 ; заявл. 12.07.89 ; опубл. 23.11.91, Бюл. № 43. 3 с.

го элемента (из среза шланга *1* в рис. 2.11, *а, б* или через отверстия *б* в рис. 2.11, *в, г*), а затем на забой через отверстие *4* или кольцевой зазор *5* насадка *9*). Под действием сжатого воздуха прилегающий к забою шлам взвешивается, уплотнительный элемент расправляется, приподнимая груз, и прижимается к стенкам скважины, плотно облекая их. В скважине между ее забоем и уплотнительным элементом образуется воздушная камера, в которой давление воздуха несколько больше, и вода не проходит внутрь этой камеры. Двигаясь к устью скважины, устройство вытесняет воду и выталкивает шланг. Воздух, поступающий в скважину через отверстия *8* над уплотнительным элементом, за счет барботажа воды способствует снижению плотности шлама и выносу его из скважины. Этот же эффект достигается выполнением уплотнительного элемента из воздухопроницаемого материала. Часть сжатого воздуха проходит между стенками скважины и наружной поверхностью уплотнительного элемента, защищая его от повреждений и дополнительно способствуя барботированию воды над устройством.

Эффективность рассмотренных выше устройств сложно оценить из-за неопределенности вопросов их перемещения со скважины на скважину. Поэтому мобильная установка для осушения взрывных скважин<sup>1</sup> представляет несомненный интерес. Она смонтирована на автомобиле *1* (рис. 2.12) и включает приводной реверсивный барабан *3* с навитым на него шлангом *4* и пеногенерирующим насадком *5* на его конце, емкость *6* для воды и емкость *7* для пенообразующего вещества. Внутри шланга коаксиально с ним размещен рукав *8*, одним концом входящий в насадок, а другим соединенный с емкостью *7* посредством гидросистемы подачи пенообразующего вещества, включающей трубопровод *9* с подвижным уплотнением *10*, регулировочный кран *11* и насос *12*. Шланг противоположным от насадка концом соединен с выхлопной трубой *13* двигателя внутреннего сгорания *2* посредством трубопровода *14* с подвижным уплотнением *15* и переключателем *16* газового потока. В трубопроводе *14* установлена форсунка *17*, соединенная с емкостью *6* посредством гидросистемы подачи воды, включающей трубопровод *18*, регулировочный кран *19* и насос *20*.

Установку подводят к заполненной водой скважине, устанавливают переключатель *16* газового потока в положение, при котором выхлопные газы от двигателя *2* внутреннего сгорания по трубопроводу *14* поступают че-

---

<sup>1</sup> Установка для осушения взрывных скважин : а. с. 1032111 СССР. № 3385012/33 ; заявл. 20.01.82 ; опубл. 30.07.83, Бюл. № 28. 3 с.

скважины. В сквозных выемках 22 опорной крышки установлены водоотводящие рукава 23 с насадками-грузами 24 и фиксаторами 25.

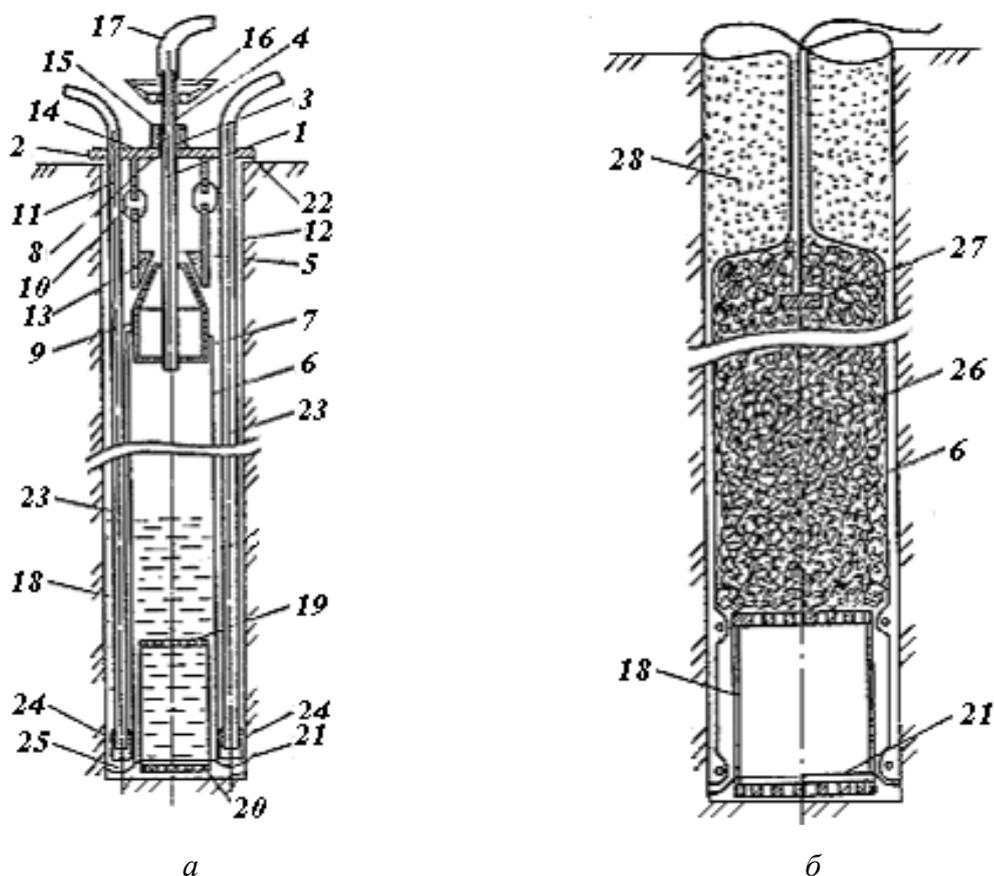


Рис. 2.13. Схема осушения скважины и образования в ней воздушной подушки:  
*а* – установка устройства в скважине; *б* – устройство заряда

Под тяжестью насадки и собственной массы эластичная оболочка, сетчатый цилиндр и водоотводящие шланги размещаются в обводненной скважине. Затем эластичную оболочку обрезают, оставляя ее на 1,0...1,5 м выше устья скважины, и закрепляют хомутом на распорном конусе. На устье скважины устанавливают распорный узел, вращением маховика перемещают зажимной болт вверх и распорным конусом раздвигают лепестки до упора в стенки скважины, при этом опорная крышка изолирует ее полость от атмосферы. По воздухоподающему шлангу эластичную оболочку заполняют сжатым воздухом. Вода по водоотводящим шлангам вытесняется из скважины. После ее осушения распорный конус опускают вниз, освобождают раздвижные лепестки и извлекают распорный узел и водоотводящие шланги из скважины. Эластичную оболочку заполняют зарядом 26 из неводоустойчивого ВВ и устанавливают в его верхней части

боевик 27, а устье скважины сверху эластичной оболочки засыпают забойкой 28. В результате заряд ВВ располагается над полым сетчатым цилиндром, который является воздушной подушкой в скважинном заряде.

Предлагается удалять жидкость из скважины с образованием в ней воздушной подушки более сложным устройством, выполненным из двух узлов подачи сжатого воздуха: призабойной эластичной емкости 1 для образования воздушной подушки и эластичной емкости 2 для удаления воды из полного объема скважины, которые выполнены в виде рукавов из водонепроницаемого материала <sup>1</sup> (рис. 2.14).

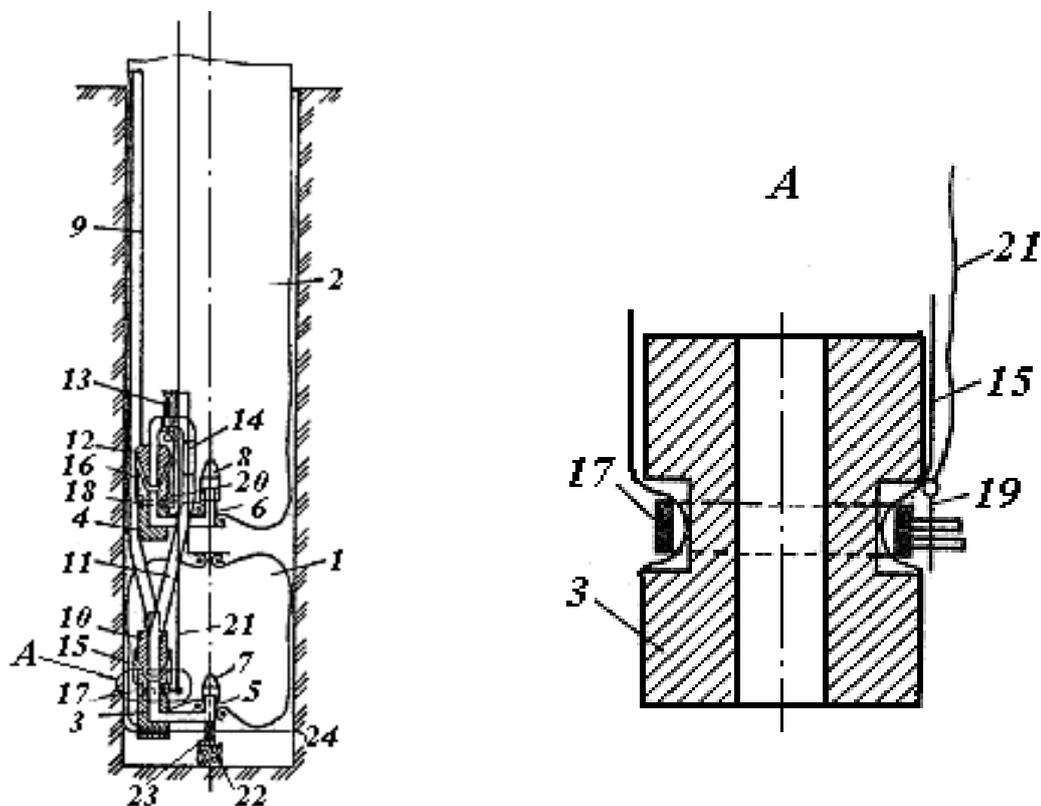


Рис. 2.14. Схема устройства для удаления воды из скважины и образования в ней воздушной подушки

Устройство опускают в скважину, погружая его в воду под действием тяжести груза 22 и собственной массы. По шлангу 9 подают сжатый воздух, который поступает через внутреннюю полость муфты 3 и отводную

<sup>1</sup> Устройство для удаления жидкости из скважины и образования в ней воздушной подушки : а. с. 1317166 СССР. № 3992646/22-03 ; заявл. 17.12.85 ; опубл. 15.06.87, Бюл. № 22. 4 с.

трубку 5 в эластичную емкость до тех пор, пока ее стенки не расширятся до упора в стенки скважины, образовав воздушную подушку. После наполнения емкости воздухом до предела срабатывает перемещающийся рычаг 14, открывая клапан 13 в соединительной трубке 11. Поступающий сжатый воздух направляется в эластичную емкость через каналы соединительной трубки, насадки 10, муфты 4 и отводной трубки 6. Утечка воздуха из эластичных емкостей исключается установленными на отводных трубках ниппелями 7 и 8. Устройство удерживается от всплытия в момент наполнения сжатым воздухом эластичной емкости специальным распорным усиком 24, который одним концом пропущен в отверстие в нижней части муфты 3, а другим проходит через отверстие 23 в верхней части груза, соединенного с отводной трубкой 5. После окончания вытеснения воды из скважины воздух из верхней эластичной емкости выпускается. Натяжением шпагата 21 удаляются шпонки 19 и 20 из кольцевых петель ободков 17 и 18. Тем самым освобождаются от зажима загнутые концы пластинок 15 и 16 насадок 10 и 12, прижатых к выемкам соединительных муфт. Затем воздухоподающий шланг с насадками извлекают из скважины, а в ней остается заполненная воздухом нижняя эластичная емкость с муфтой и отводной трубкой, которая служит в качестве изолятора от влаги в случае заряжания скважины неводоустойчивым ВВ. Следует отметить большую сложность устройства, наличие множества мелких деталей, что вряд ли будет способствовать его широкому применению.

Еще один вариант устройства для удаления жидкости из скважины с последующим образованием в ней воздушной подушки также имеет две эластичные емкости (рис. 2.15).

Через нижнюю эластичную емкость 1 проходит стержень жесткости 2, на верхний конец которого насажена соединительная муфта 3 с боковым наклонным отверстием 4, в которое вставлена трубка 5, снабженная прорезью 6, клапаном 7 и тягой 8<sup>1</sup>. Эластичная трубка 9 одним концом надета на трубку 5, а второй ее конец оканчивается трубкой 10 с лепестковым ниппелем 11. По наружной поверхности соединительной муфты 3 выполнены кольцевые выемки 12. Верхняя часть эластичной емкости 1 закреплена в нижней кольцевой выемке 12, а ее нижняя часть – на нижнем конце

---

<sup>1</sup> Устройство для удаления жидкости из скважины и образования в ней воздушной подушки : а. с. 977772 СССР. № 3260932/22–03 ; заявл. 6.03.81 ; опубл. 30.11.82, Бюл. № 44. 4 с.

стержня жесткости. Верхняя эластичная емкость 13 сверху закреплена на воздухоподающем шланге 14, внутри нее проходит многосекционный насадок 15, внизу она крепится в нижней кольцевой выемке 19.

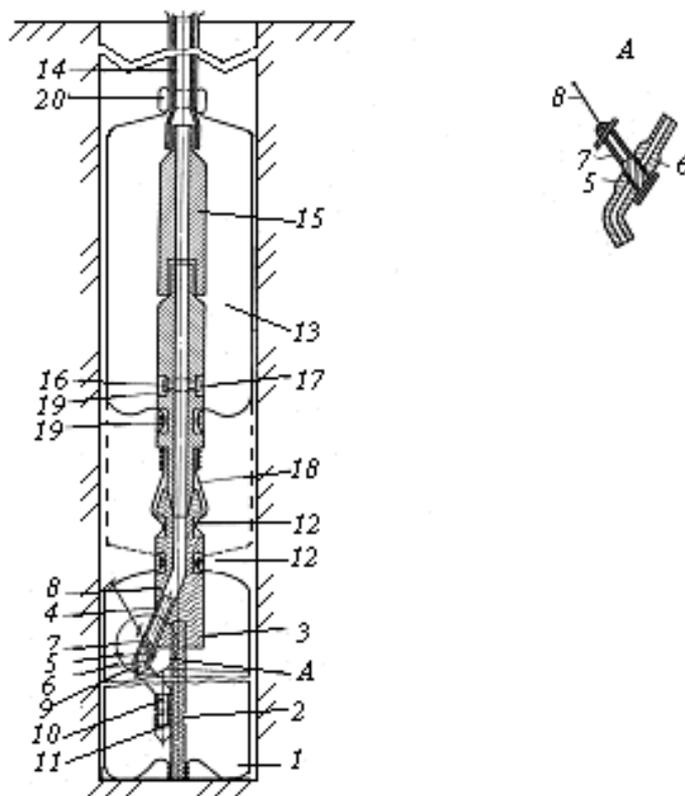


Рис. 2.15. Устройство для удаления жидкости из скважины и образования в ней воздушной подушки

Устройство опускают в обводненную скважину под действием собственной тяжести, величина которой регулируется количеством секций насадка. По шлангу подают сжатый воздух, который поступает через внутреннюю полость насадка в канал бокового наклонного отверстия соединительной муфты и патрубков и открывает лепестковый ниппель. Воздух поступает в нижнюю емкость до тех пор, пока стенки емкости не расширятся до упора в стенки скважины, вытеснив воду из призабойной части скважины, образуя в ней воздушную подушку.

Последующая подача сжатого воздуха в нижнюю емкость приводит к увеличению в ней давления и растяжению верхней ее части в сторону устья скважины. Это приводит к натяжению тяги (шпагата), соединенной одним концом с верхней частью нижней емкости, а другим – с клапаном. По мере натяжения шпагата происходит перекрытие канала наклонного

отверстия, увеличивается давление воздуха в канале насадка, под действием которого срабатывает кольцевой ниппель 17 в выемке 16. Воздух вначале заполняет нижнюю часть верхней емкости, заключенную между сжимающе-перемещающимся кольцом 20 и нижним торцом емкости. Дальнейшая подача сжатого воздуха в нижнюю часть эластичной емкости 13 обеспечивает повышение давления в ней и приводит в движение сжимающе-перемещающееся кольцо 18 по шлангу, наполняя тем самым все больший объем верхней емкости сжатым воздухом и одновременно вытесняя воду из всё большего объема скважины. После вытеснения жидкости из всего объема скважины выпускается воздух из верхней емкости путем перемещения вверх по шлангу сжимающе-перемещающегося кольца выше уровня устья скважины, дополнительно подавая при этом порцию сжатого воздуха в устройство до освобождения верхнего конца эластичной емкости от перемещающегося кольца. Затем за воздухоподающий шланг устройство извлекается из скважины. В скважине остается наполненная сжатым воздухом нижняя емкость с соединительной муфтой, служащая в качестве воздушной подушки в скважинном заряде.

Устройство еще более сложное, имеет множество тонких проточек, ниппелей, сжимающе-перемещающихся колец, тяги из шпагата и т. п., что существенно снижает его надежность в работе, особенно на больших глубинах скважин, и вряд ли оно будет долговечным.

Существенно более простым и надежным видится устройство для создания воздушной полости в нижней части обводненной скважины <sup>1</sup> в виде пустотелого цилиндра 1 со сплошными торцами (рис. 2.16).

Изготавливают этот цилиндр из водонепроницаемого материала, например из пенопласта, с наружным диаметром, несколько меньшим диаметром скважины. Погружение его в обводненную скважину 2 достигается за счет приложения осевого усилия, создаваемого грузом 3, подвешенным к тросу 4. Груз может опускаться в скважину как вручную, так и с помощью лебедки. При этом вода 5, находящаяся в нижней части скважины, вытесняется на величину объема, занимаемого цилиндром.

Для предотвращения всплытия цилиндра на поверхность применяется заклинивающее устройство 6 в виде дисков из прорезиненного материала

---

<sup>1</sup> Устройство для удаления жидкости из скважины и образования в ней воздушной подушки : а. с. 977772 СССР. № 3260932/22-03 ; заявл. 6.03.81 ; опубл. 30.11.82, Бюл. № 44. 4 с.

## 2. РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ ОБЗОР ВЗРЫВНЫХ РАБОТ С ВОЗДУШНЫМИ ПРОМЕЖУТКАМИ

с диаметром, несколько большим диаметра скважины, который при погружении деформируется выпуклостью вниз. После снятия груза эти диски удерживают цилиндр за счет распора в стенки скважины. Затем в скважину помещают необходимое количество ВВ 7 и забоечный материал 8.

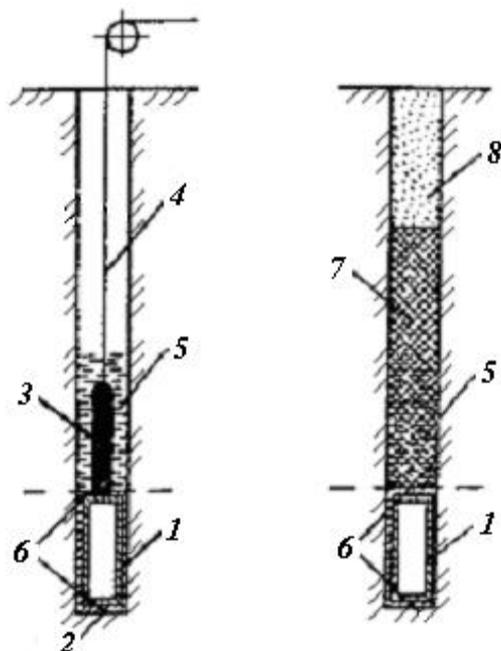


Рис. 2.16. Устройство для создания воздушной полости в обводненной скважине при помощи пустотелого цилиндра:

*а* – образование воздушного промежутка;

*б* – заряженная скважина с воздушным промежутком

Надо отметить, что и предлагаемое устройство для создания воздушных промежутков в обводненных скважинах не лишено недостатков, ограничивающих его применение. Наиболее серьезным из них является необходимость применения груза с довольно значительной массой. Так, например, при погружении в обводненную скважину цилиндра диаметром 0,2 м и высотой 2 м масса груза будет составлять более 60 кг, что требует применения грузоподъемных механизмов.

Достаточно оригинальный способ создания воздушных промежутков в нижней части обводненных скважин основан на применении устройства из надувной емкости с клапаном и электромагнитом <sup>1</sup> (рис. 2.17).

<sup>1</sup> Жунусов К. Отбойка скальных пород зарядами с воздушной подушкой. Алма-Ата, 1979. 120 с.

Емкость *1* из упругого эластичного материала с предохранительной сеткой *2* и самораспирающей треногой *3* опускается в обводненную часть скважины *5* под действием тяжести сосуда, треноги и резинового воздухоподающего шланга *4*.

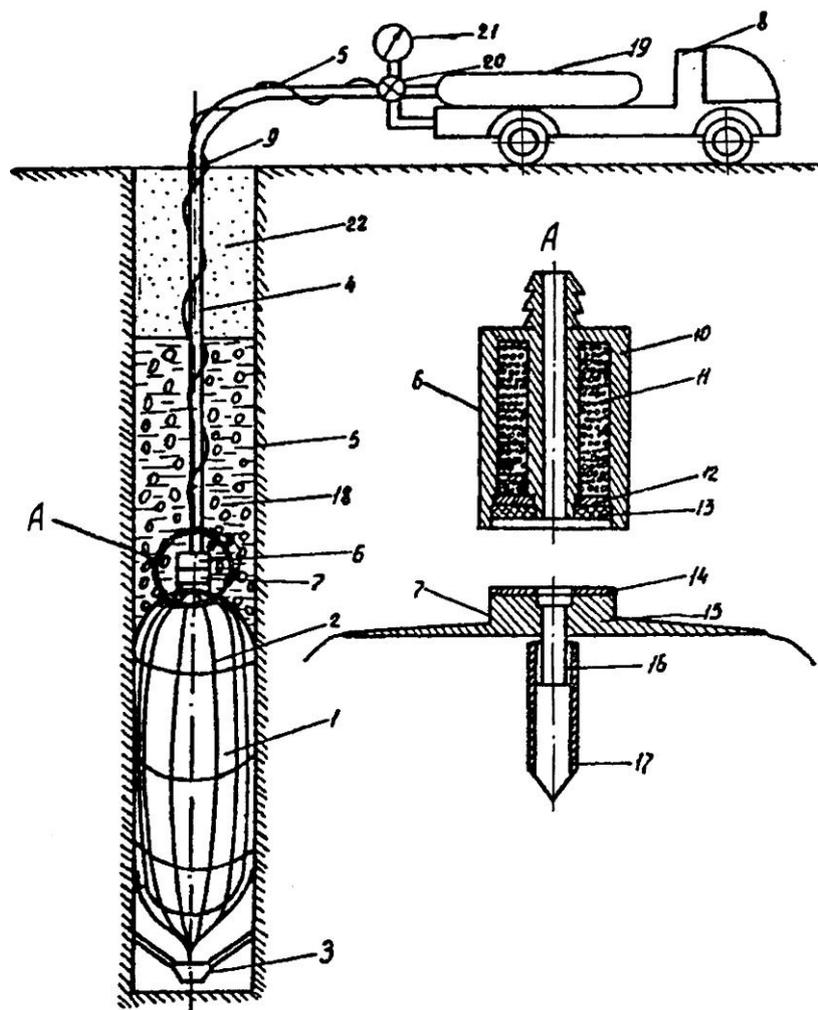


Рис. 2.17. Устройство для создания воздушной полости в обводненной скважине при помощи надувной емкости с клапаном и электромагнитом

Тренога взаимодействует со стенками скважины по принципу храповика и предотвращает самопроизвольное всплытие емкости по мере заполнения ее воздухом. Резиновый шланг, по которому подается воздух в емкость, оканчивается электромагнитной муфтой *6*, притягивающей клапанное устройство *7*. Она питается от бортовой электрической сети автомобиля *8* по проводу *9* и состоит из стального корпуса *10* (магнитопровода), обмотки *11*, изолятора *12*, предотвращающего попадание влаги в обмотку электромагнита, резиновой прокладки *13*, не допускающей выхода воздуха

при накачивании эластичной емкости. Клапанное устройство состоит из стального кольца 14, благодаря которому оно притягивается к электромагнитной муфте, корпуса 15, оканчивающегося штуцером 16, через который подается воздух в емкость. На штуцер надевается резиновый лепестковый клапан 17, представляющий собой сплюснутую плоскую резиновую трубку, который после подачи воздуха в эластичную емкость автоматически запирается и тем самым предотвращает выход воздуха из емкости.

Выталкивающая сила, возникающая при подаче сжатого воздуха в эластичную емкость, уравнивается действием самораспирающейся треноги, а по мере наполнения емкости воздухом – и силой трения между стенками емкости и скважины. После подачи заданной порции воздуха из дозирующего баллона 19 через вентиль 20 электромагнитная муфта обесточивается, и шланг извлекается из скважины. Давление воздуха в баллоне, необходимое для наполнения емкости, определяется манометром 21 и зависит от соотношения объемов эластичной емкости и баллона. Затем в скважину подается необходимое количество ВВ 18 и забоечный материал 22. На одной транспортной единице можно установить батарею дозирующих баллонов и компрессор, что дает возможность одновременно создавать воздушные полости в нескольких заряжаемых скважинах.

Основным недостатком такого устройства является необходимость подачи электроэнергии в воду. Кроме того, трудно обеспечить заданное давление в эластичной емкости, а значит, и высоту воздушного промежутка, поскольку давление в эластичной емкости зависит от давления в баллоне, изменяющегося в зависимости от расхода воздуха из баллона.

Более простым представляется формирование воздушной подушки в нижней части скважины при помощи эластичной емкости с муфтой и пневматическим дистанционным разъемным насадком<sup>1</sup> (рис. 2.18).

Устройство содержит эластичную надувную емкость 1 с закрепленной на ней конусной муфтой 2, на которую насажен полый стержень 3 с ниппелем 4, служащим для подачи сжатого воздуха и создания жесткости эластичной емкости при опускании ее в обводненную скважину. Сжатый воздух подается через шланг 5 с насадком 6, вспомогательный шланг 7 со шпонками 8. Муфта имеет на фланце два выступа 9 с проемами для шпонок, а на насадке по касательной выполнены два прилива 10 с отверстиями для прохода шпонок.

---

<sup>1</sup> Жунусов К. Указ. соч. С. 95.

К насадке крепится груз *11*, с помощью которого устройство погружается в обводненную скважину до полного упора стержня в дно скважины. Затем по шлангу с насадком через ниппель полого стержня эластичная емкость заполняется сжатым воздухом.

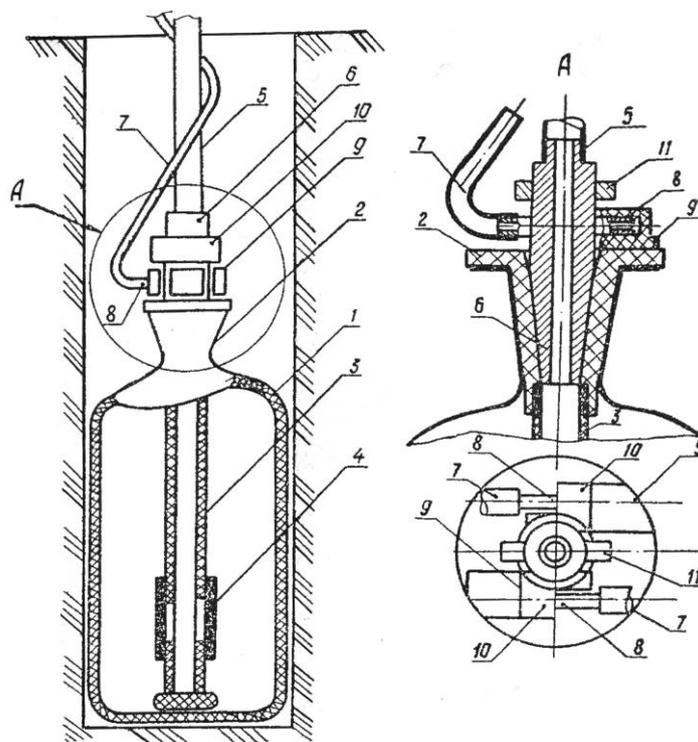


Рис. 2.18. Устройство для создания воздушной полости в обводненной скважине при помощи надувной емкости с пневматическим дистанционным разъемным насадком

После того, как эластичная емкость заполнится сжатым воздухом до проектной величины, по вспомогательным шлангам подается воздух, проходящий через отверстия в шпонках до упора в дно проема выступов на муфте. При этом от противодействия воздуха шпонки выталкиваются из проемов, чем обеспечивается отсоединение насадка от муфты емкости, и шланги с насадком и грузом поднимаются на поверхность. В скважине остается наполненная сжатым воздухом эластичная емкость с конусной муфтой, полым стержнем и ниппелем.

Рассматриваемое устройство имеет слабый узел – шпонки, которые отсоединяют насадок от муфты емкости. В очень сильно загрязненной буровым шламом воде взрывных скважин они часто будут заклиниваться и отсоединение шлангов от емкости станет проблематичным. Кроме того, каждый раз теряется достаточно сложное устройство в виде эластичной емкости с конусной муфтой, полым стержнем и ниппелем.

### 2.3.5. Откачивание воды погружными устройствами

Последняя V группа способов осушения взрывных скважин погружными устройствами также представлена большим рядом технических решений, в основном в виде установок. Это желонки при статической обводненности, погружные насосы при любой проточности воды и пр.

Желонки представляют самое простое устройство в виде трубы с клапаном в нижней части, которое опускается в скважину и поднимается после заполнения с помощью лебедки. Опорожнение на поверхности осуществляют опрокидыванием желонки или через тот же клапан. Но применяют их редко вследствие низкой производительности, особенно при большой глубине скважин, а также плохой работы клапана в заиленной буровым шламом воде скважин. Кроме того, вода из желонки выливается на поверхность уступа и по трещинам верхней его части быстро возвращается в скважину.

Довольно широкое распространение у нас в стране и в особенности за рубежом получили погружные насосы с гидродвигателями. В зарубежных установках среднее время осушения скважин погружными насосами составляет около 5 мин<sup>1</sup>.

Эффективность применения рассмотренных выше способов и устройств понижения уровня воды в массиве и осушения скважин зависят от того, в каких скважинах они применяются. В скважинах, обводненных атмосферными осадками, применимы III, IV и V способы. В скважинах, обводненных подземными водами, как правило, высока проточность, скважины быстро заполняются после осушения.

Практически при всех способах осушения скважин удаляемая вода изливается на поверхность уступа, откуда она через развитую систему трещин верхней части уступа, созданных действием массовых взрывов на вышележащих уступах, возвращается назад в скважину. Скорость восстановления уровня воды в осушенных скважинах различна – от метров в сутки до метров в час и даже минуты. Но не это является главным препятствием для создания воздушных промежутков в обводненных скважинах. Можно успеть зарядить скважину до восстановления уровня воды, но практически все способы создания воздушных промежутков, кроме воздушных подушек в закрытых емкостях, оставляемых на дне скважин после

---

<sup>1</sup> *Armbrust J.* Указ. соч. С. 1108.

их осушения, позволяют возвращающейся в скважину воде вытеснять из созданных промежутков воздух.

Все применяемые устройства – деревянные катушки различных конструкций, всевозможные пыжи, пневматические баллоны для перекрытия скважин – создают именно промежуток со свободным воздухом, который легко вытесняется поступающей водой. И только пенополистирол и пенопласт могут сохранить воздух в составе промежутка внутри гранул, несмотря на заполнение межгранульного пространства водой.

Вот почему пенополистирол, весьма технологичный и дешевый материал для создания воздушных промежутков, является перспективным для рассредоточения зарядов ВВ обводненных скважин. В этом направлении необходимы поисковые исследования для изучения возможности создания водно-воздушных и воздушно-водяных промежутков, поскольку крупностью гранул пенополистирола можно изменять соотношение «воздух – вода». А предварительные исследования, действительно, показывают возможность использования небольшого количества воды, равномерно распределенной по воздушному промежутку, для изменения интерференционной картины ударных волн и общей энергии взрыва в сторону повышения качественных показателей взрывного рыхления обводненных массивов горных пород.

Как видим, к сожалению, до настоящего времени отсутствует технология, позволяющая недорого и надежно рассредоточить скважинные заряды ВВ воздушными промежутками даже в сухих скважинах. Все способы понижения уровня воды в массиве весьма трудоемки, требуют больших временных промежутков и высоких финансовых затрат и в то же самое время не обеспечивают полного осушения массива – необходимы дополнительные устройства и способы для удаления воды из скважин. Работы по снижению уровня обводненности взрывных скважин получили развитие в период замены дорогих водоустойчивых тротилсодержащих ВВ на дешевые неводоустойчивые аммиачно-селитренные ВВ.

С повсеместным переходом горных предприятий на дешевые водоустойчивые эмульсионные ВВ борьба с обводненностью скважин практически прекратилась и вопрос о создании воздушных промежутков в обводненных скважинах перестал интересовать производителей. Российская технология механизированного заряжания эмульсионных ВВ основана на подаче в скважину нескольких невзрывчатых компонентов, которые становятся взрывчатым веществом уже в скважине после образования газовых

## 2. РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ ОБЗОР ВЗРЫВНЫХ РАБОТ С ВОЗДУШНЫМИ ПРОМЕЖУТКАМИ

пузырьков, выделяемых газогенерирующей добавкой. Процесс сопровождается изменением плотности и объема заряда, поэтому создание воздушных промежутков в таких условиях требует дополнительных исследований.

При ручной же зарядке патронированных эмульсионных ВВ есть проблемы с формированием плотного заряда в воде – патроны разбиваются, погружаются в воду хаотично, заземляя воду внутри заряда. В таких условиях производители не желают дополнительно осложнять процесс зарядки формированием воздушных промежутков.

Мы считаем такую позицию неверной и намерены доказать далее, что рассредоточение скважинных зарядов ВВ возможно и целесообразно в самых различных гидрогеологических условиях. Нужна только заинтересованность производителей в повышении качества взрывного рыхления скальных горных пород при одновременном снижении затрат.

части, поэтому для уточнения величины давления на пенополистирол нами были проведены экспериментальные исследования в картонных и асбоцементных трубах диаметром 100 и 160 мм. В качестве сыпучего материала использовали гранулированную селитру как основной компонент сыпучих ВВ. Полученные результаты хорошо коррелируют с данными проведенных ранее исследований.

Далее решали следующую задачу – установить несущую способность столба пенополистирола. Наши экспериментальные исследования в картонных и асбоцементных трубах показали, что вспененный полистирол имеет достаточную жесткость в пределах нагрузок, установленных ранее<sup>1</sup>. Так, столбик вспененного полистирола диаметром 100 мм и высотой от 200 до 800 мм дает осадку в верхней части всего лишь до 20 мм при нагрузке 170 Н (0,022 МПа), 5 мм – при нагрузке 80 Н (0,010 МПа) и около 2 мм при нагрузке 20 Н (0,002 5 МПа). Поэтому просадка полистирола в скважине под давлением вышележащего столба сыпучего материала будет незначительной и не повлияет на высоту воздушного промежутка.

После выполнения лабораторных исследований мы провели три экспериментальных массовых взрыва на карьерах. На первом экспериментальном взрыве блок, обуренный скважинами диаметром 115 мм, разделили на два участка – в южной части блока выделен экспериментальный участок из двух рядов скважин по 15 шт. с рассредоточением заряда двумя воздушными промежутками (один в заряде и один под забойкой). На контрольном участке блока заряд рассредоточивали так, как принято на карьере, – инертным промежутком. На двух других экспериментальных блоках все скважины были с двумя воздушными промежутками – в заряде и между зарядом и забойкой.

Конструкции зарядов на контрольном (а) и экспериментальном (б) участках экспериментального массового взрыва приведены на рис. 3.1. В связи с обводненностью нижней части скважин на 1...2,5 м применяли комбинированный заряд ВВ – в нижней, обводненной, части скважин размещали водостойчивый граммонит 30/70, далее, после перекрытия столба воды водостойчивым ВВ, – неводостойчивый граммонит 79/21. Средняя масса заряда скважин на контрольном участке составила около 106 кг, а на экспериментальном участке – 80 кг за счет замены ВВ на пенополистирол в воздушном промежутке длиной 1 м.

---

<sup>1</sup> Лавров Г. М., Григорьев А. В. Указ. соч. С. 193.

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В СУХИХ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИНАХ

В связи с непостоянством диаметра скважин (из-за износа ударных долот диаметр колеблется от 117 до 108 мм), а также неодинаковой их глубиной зарядку проводили следующим образом.

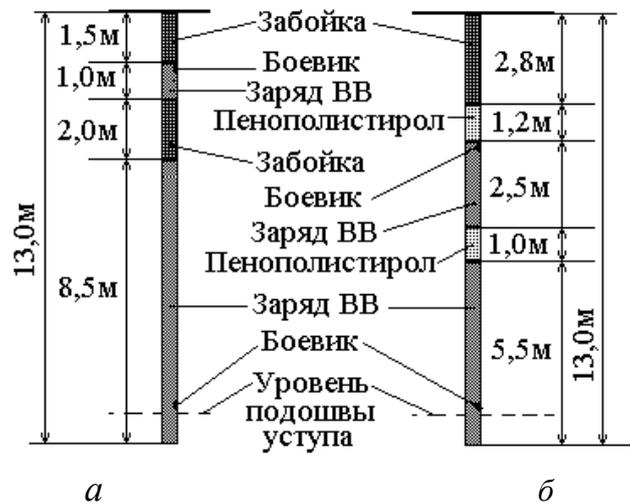


Рис. 3.1. Конструкция зарядов на контрольном (а) и экспериментальном (б) участках экспериментального блока

Нижний заряд формировали из мешка граммонита 30/70 (40 кг), затем добавляли 15 кг граммонита 79/21 (рис. 3.2, а), которые вмещались в мерную емкость. Затем формировали воздушный промежуток из вспененного полистирола также из мерной емкости (рис. 3.2, б). Пенополистирол из одной мерной емкости в среднем занимает 1 м длины скважины.



а



б

Рис. 3.2. Формирование второй части нижнего заряда над боевиком (а) и воздушного промежутка (б)

После этого засыпали 25 кг второй части заряда (остаток от мешка, из которого отсыпали в мерную емкость ВВ для нижней части заряда), раз-

### 3.1. ВОЗДУШНЫЕ ПРОМЕЖУТКИ ИЗ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

мещали в его верхней части боевик из патронированного аммонита № 6ЖВ и далее формировали второй воздушный промежуток под забойку.

Воздушный промежуток в заряде выдерживали длиной в один метр, а воздушный промежуток под забойкой получался переменной длины – исходя из разности длины скважины, оставленной под забойку (2,8...3,0 м), и фактической отметки поверхности верхней части заряда. В скважинах с малым перебуром его не было совсем (скважины 1 и 4 на рис. 3.3), а при завышенном перебуре он превышал 2 м (скважина 2 на рис. 3.3).

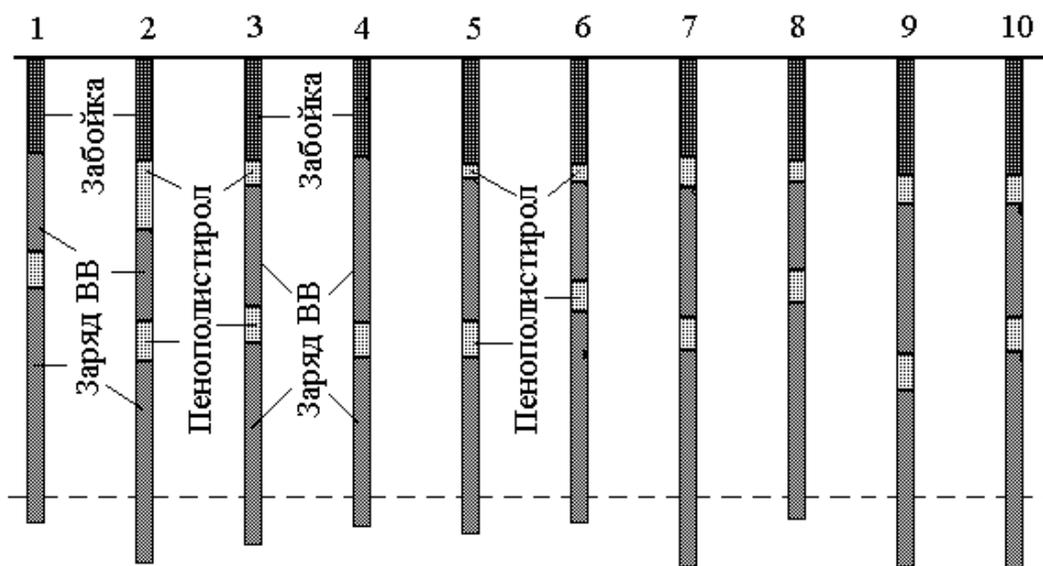


Рис. 3.3. Размещение воздушных промежутков в скважинах первого ряда

Для оценки уровня размещения зарядов и воздушных промежутков после засыпки каждой порции ВВ или пенополистирола проводили замер глубины скважин.

Видеосъемку экспериментальных взрывов осуществляли цифровой видеокамерой NV-GS11 с 24-кратным оптическим увеличением. На первом экспериментальном взрыве съемку вели с расстояния 700 м (камеру устанавливали за пределами опасной зоны взрыва массы).

Видеограмма взрыва представлена характерными кадрами на рис. 3.4.

Анализируя рис. 3.4, отметим, поскольку частота съемки видеокамерой составляет 25 кадр/с, интервал между кадрами в 40 мс для взрыва с порядным замедлением в 20 мс достаточно велик, но, тем не менее, позволяет сделать определенные выводы о процессе развития взрыва во времени и пространстве. К 40 мс четко виден выброс продуктов детонации, при этом на экспериментальном участке все скважины дают ровный выброс забойки

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В СУХИХ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИНАХ

по высоте за счет выдерживания ее одинаковой длины при зарядке, в то время как на контрольном участке заметно различие (кадр 120 мс).



0 мс



40 мс



120 мс



320 мс



1 000 мс



1 320 мс

Рис. 3.4. Видеограмма развития взрыва

На кадре 120 мс видно, что прорыв газов через откос уступа на контрольном участке начинается раньше, чем на экспериментальном, а падение горной массы на подошву уступа на экспериментальном участке произошло через 1 000 мс от начала взрыва, а на контрольном участке – через

1 320 мс, т. е. с задержкой в 320 мс за счет большей высоты выброса. Из этого можно сделать вывод о более длительной задержке газов в скважинах экспериментального участка и более «мягком» действии взрыва в них. Об этом же свидетельствуют кадр 120 мс, на котором видна существенно меньшая высота выброса забойки из экспериментальных скважин. Следовательно, при наличии воздушного промежутка энергия взрыва передается горной массе с задержкой на некоторое время, поэтому напряжения в массиве распределяются более равномерно.

При отработке блока на экспериментальном участке установлено качественное дробление горной массы, завывшений подошвы после отгрузки горной массы не отмечено. Аналогичные результаты получены по двум другим массовым взрывам с воздушными промежутками из пенополистирола.

Применение конструкции зарядов с рассредоточением их по высоте воздушными промежутками из вспененного полистирола обеспечило более *мягкое* действие взрыва с увеличенной задержкой времени действия продуктов детонации и меньшей высотой выброса как забойки из скважин, так и горной массы. Удельный расход ВВ снижен с 0,98 до 0,74 кг/м<sup>3</sup> при сохранении качества дробления. Выполнение воздушного промежутка из вспененного полистирола технологично: происходит такая же засыпка из мерной емкости или мешка, как и для ВВ, или из бункера зарядной машины.

#### **3.1.2. Оборудование для приготовления пенополистирола в заводских условиях**

В процессе переработки гранулы вспенивающегося полистирола подвергаются тепловому воздействию водяного пара (90...110 °С), вызывающему размягчение полимера, многократное расширение гранул вследствие испарения вспенивающего агента и последующее спекание их между собой в замкнутом объеме формы под действием внутреннего давления порообразователя. В результате образуется равномерно вспененная масса с очень тонкой замкнуто-ячеистой структурой, которая сохраняется после охлаждения материала. Один кубический метр такого материала на 98 % заполнен воздухом, заключенным в 3...6 млрд закрытых ячеек.

На горных предприятиях, выполняющих большие объемы взрывных работ, для получения пенополистирола могут быть использованы в качестве источника пара общезаводская котельная или магистрали отработанного

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В СУХИХ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИНАХ

пара городской ТЭЦ, а также имеет смысл приобрести серийно выпускаемое промышленностью оборудование. Так, например, ООО «Центр строительных технологий» Екатеринбурга выпускает вспениватели полистирола производительностью от 2 до 20 м<sup>3</sup>/ч, а также парогенераторы переменной производительности <sup>1</sup>.

Большинство рассматриваемых установок применяются в промышленности для приготовления прессованного пенополистирола – пенопласта. Эти установки стационарного действия, поскольку всем им для нормального функционирования необходимы электричество и водяной пар под давлением (рис. 3.5).



*а*



*б*

Рис. 3.5. Вспениватель промышленный:  
*а* – непрерывного действия; *б* – циклического действия

Промышленный вспениватель непрерывного действия (рис. 3.5, *а*) производительностью 45 м<sup>3</sup>/ч предназначен для вспенивания сырьевого полистирола. Вспенивающий агент увеличивает первоначальный объем частиц примерно в 50 раз, оставаясь в замкнутых ячейках. При промежуточном хранении вспенивающий агент частично диффундирует из гранул, а на его место проникает воздух. Непрерывно работающий вспениватель состоит

---

<sup>1</sup> Хайлов Б. А., Палиев А. И. Технология производства и опыт применения в строительстве пенополистирольных комплексных систем ТИГИ-Кнауф // Строительные материалы. 1995. № 3 С. 24–29.

из цилиндрической емкости с активатором. Пар подается тангенциально вблизи днища. Гранулы полистирола поступают в приемную воронку, расположенную в верхней зоне машины, а вспененные гранулы выходят через окно в нижней части цилиндрической емкости и с помощью системы пневмотранспорта попадают в бункеры хранения. Вспениватель циклического действия (рис. 3.5, б) имеет производительность 5 м<sup>3</sup>/ч, пар подается сверху, через отверстия во внутренней стенке камеры вспенивания, скорость подачи сырья практически в десять раз меньше, чем в предыдущей. Также здесь значительно меньше объем камеры вспенивания.

#### **3.1.3. Приготовление вспененного полистирола в условиях удаленных горных предприятий**

Как уже указывалось, пенополистирол производится расположенными во многих городах страны предприятиями, изготавливающими плиты для изготовления тары, термозвукоизоляционные панели и изделия из полистиролбетона, что дает возможность горному предприятию приобрести его готовым к применению. Однако этот путь возможен лишь для тех горных предприятий, которые расположены достаточно близко к месту производства пенополистирола. Для потребителей, расположенных на удалении, а особенно тех, что доставляют технику и материалы водным или воздушным транспортом, возить вспененный полистирол, имеющий объемную плотность до 15 кг/м<sup>3</sup>, – это «возить воздух», и стоимость такого материала с учетом транспортных расходов будет очень высока. Поэтому для удаленных горных предприятий имеет смысл приобретать сырье – гранулированный полистирол, а его вспенивание производить самостоятельно на объекте. В этом случае следует рассматривать два варианта получения пенополистирола: использование серийно выпускаемого промышленностью оборудования или изготовление нестандартного оборудования силами самого горного предприятия или машиностроительного предприятия под заказ.

Для горных предприятий с большими объемами взрывных работ целесообразно приобрести серийное оборудование для производства вспененного полистирола. Горные предприятия малой мощности, для которых такое оборудование обладает слишком высокой производительностью и значительное время будет простаивать, имеет смысл создавать нестандартное оборудование на заказ или собственными силами. Такое оборудование просто по конструкции и представляет собой емкость, где вода подогрева-

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В СУХИХ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИНАХ

ется до температуры кипения, с лопастным валом, предотвращающим спекание пенополистирола. Полистирол вспенивается именно в кипящей воде, а не водяным паром, как в промышленных установках. В этом и заключается преимущество: для получения пенополистирола низкой объемной плотности нет необходимости проводить вспенивание в два-три этапа (предварительное, повторное и завершающее), можно сразу получать готовый вспененный полистирол.

В лаборатории Тихоокеанского государственного университета авторами проведены экспериментальные исследования по установлению взаимосвязи степени увеличения объема полистирола со временем вспенивания. Вспенивание полистирола проводилось в водяной ванне при температуре 100 °С. В кипящую воду засыпали 0,25 л полистирола, термообработку вели при постоянном перемешивании. Анализ графиков (рис. 3.6) показывает, что скорость приращения объема вспененного полистирола снижается при времени вспенивания более 18 мин, а после 25 мин вспенивания увеличение объема полистирола прекращается.

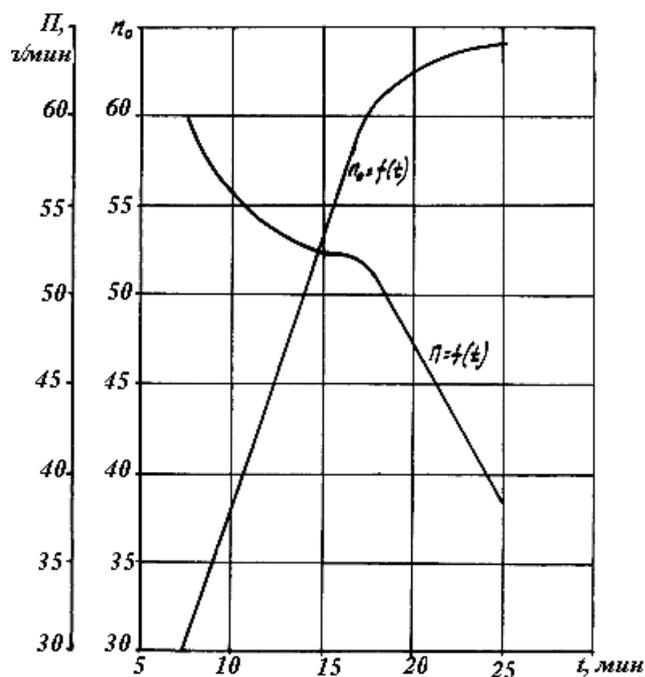


Рис. 3.6. Зависимость степени увеличения объема  $n_o$  и производительности  $P$  при термообработке полистирола от продолжительности  $t$  вспенивания в кипящей воде

Производительность установки по вспениванию полистирола с увеличением времени термообработки снижается, однако при этом повышается

объем вспененного полистирола. Наибольшая степень увеличения объема полистирола  $n_0 = 64$ . При дальнейшей термообработке объем пенополистирола не увеличивается. Было исследовано также влияние величины температуры кипения жидкости на скорость вспенивания полистирола. Повышение температуры кипения достигалось увеличением плотности жидкости добавкой в нее различных солей. Остановились на поваренной соли как наиболее дешевой и распространенной.

Для этого использовалась поваренная соль 1-го и 2-го помола соляного рудника (пос. Тыреть Иркутской области), соль, произведенная ОАО «Илецксоля» (г. Соль-Илецк Оренбургской области), комбинатом «Сибсоля» (г. Усолье-Сибирское Иркутской области), БГК «Белгоспищепром» (г. Мозырь, Беларусь).

Графики изменения температуры кипения раствора и его плотности в зависимости от содержания соли в воде (рис. 3.7) построены для соли 2-го сорта 2-го помола рудника пос. Тыреть как наиболее дешевой. Исследования других сортов соли показали, что они имеют близкие показатели.

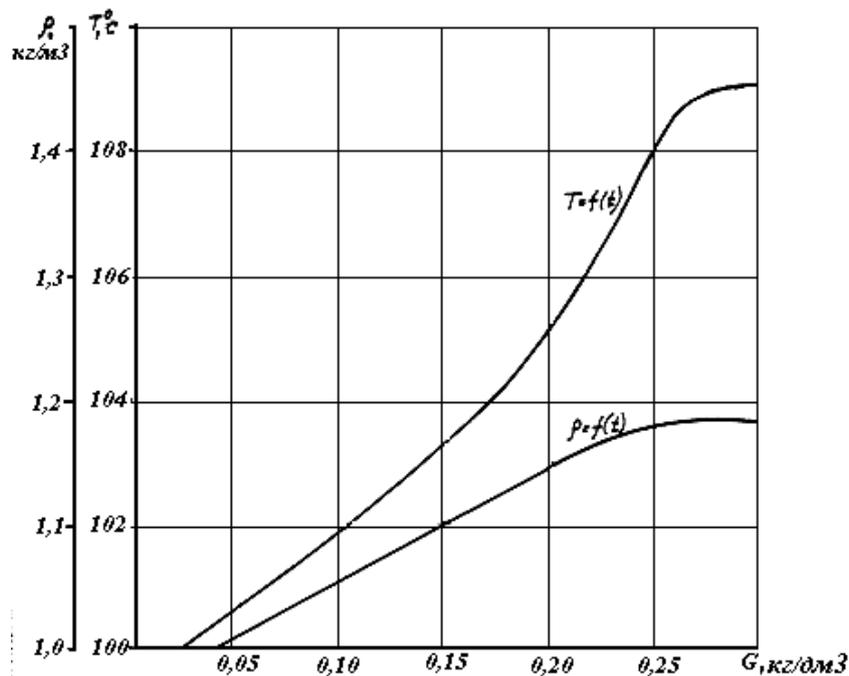


Рис. 3.7. Зависимость температуры кипения  $T$  и плотности жидкости от количества  $G$  соли в воде

Итак, мы установили, что с увеличением содержания соли в воде до 0,25 кг на литр температура кипения возрастает до 109 °C, плотность жидкости – до 1,176, затем наступает насыщение раствора, а увеличение тем-

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В СУХИХ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИНАХ

температуры кипения и плотности жидкости прекращаются. Далее проводилось исследование влияния температуры кипения жидкости в ванне на скорость вспенивания полистирола. Термообработка полистирола проводилась в жидкости плотностью, обеспечивающей температуру кипения 100, 102, 104 и 106 °С.

Здесь анализ графиков (рис. 3.8) показывает, что с увеличением температуры скорость вспенивания полистирола возрастает, однако чем выше температура кипения, тем меньше приращение этой скорости.

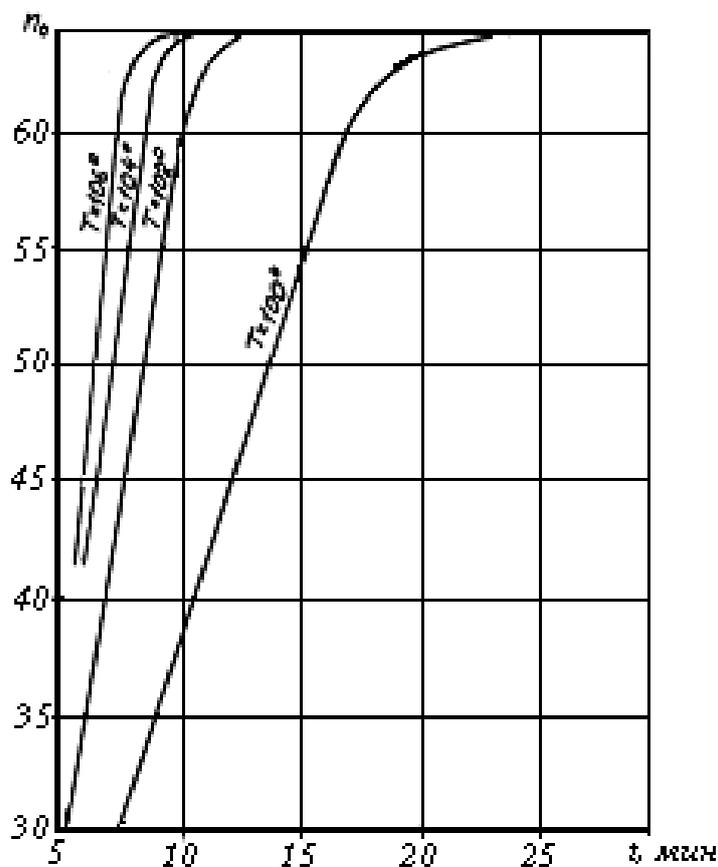


Рис. 3.8. Зависимость степени увеличения объема  $n_0$  при термообработке полистирола от продолжительности  $t$  вспенивания и температуры кипения  $T$

Кроме того, при температуре кипения выше 104 °С происходит спекание гранул пенополистирола, что ведет к затруднению процессов термообработки полистирола внутри комков и требует дополнительных затрат энергии на их разрушение, поэтому рекомендуется ограничить температуру кипения указанной величиной. На основании проведенных исследований разработана конструкция автономной мобильной установки для фор-

мирования воздушных промежутков из пенополистирола на базе грузового автомобиля.

Для автономного обеспечения механизмов установки электроэнергией на автомобиле 1 установлен электрогенератор 12 с приводом от вала отбора мощности автомобиля 13 или от переносной электростанции (рис. 3.9).

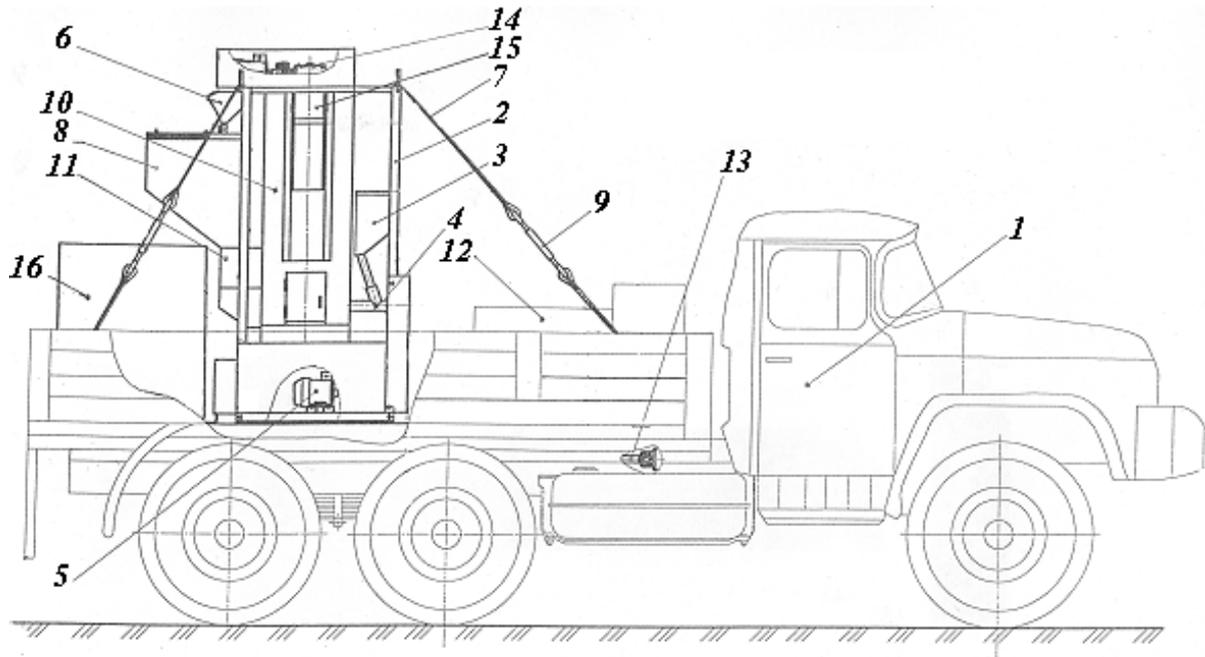


Рис. 3.9. Схема автономной мобильной установки

Формирование воздушных промежутков из пенополистирола с помощью автономной мобильной установки осуществляют следующим образом. В день зарядки скважин в расходный бункер гранулированного полистирола 3 засыпают сырье, в емкость 8 заливают воду, а в емкость 6 – концентрированный раствор соли. Затем раму 2 с оборудованием с помощью грузоподъемного средства устанавливают в кузов грузового автомобиля и закрепляют в нем стропами 7 с помощью талрепов 9. После выполнения этих подготовительных операций автономная мобильная установка для формирования воздушных промежутков из пенополистирола отправляется в карьер.

По прибытии на место или заранее включают электронагреватели 2 для подогрева солевого раствора в ванне 1 камеры вспенивания до рабочей температуры (рис. 3.10). Вода, поступившая через объемный дозатор уровня 11 в камеру вспенивания 10, нагревается электронагревателями до кипения (см. рис. 3.9). После достижения технологической температуры

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В СУХИХ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИНАХ

включается электропривод 5 шнекового механизма 4 подачи полистирола из расходного бункера, полистирол вспенивается и по мере поступления нового сырья поднимается вверх в камере вспенивания.

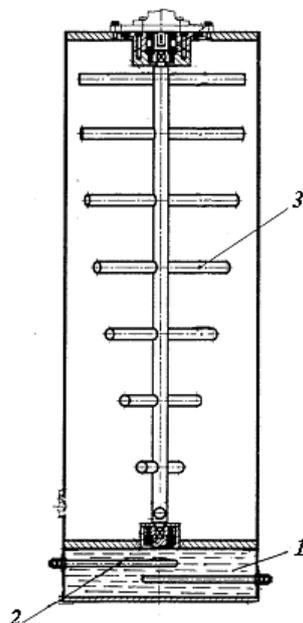


Рис. 3.10. Камера вспенивания:  
1 – ванна; 2 – электронагреватели; 3 – ворошитель

При вспенивании комки спёкшегося пенополистирола разбиваются ворошителем, который вращается относительно вертикальной оси приводом 14. Готовый пенополистирол выходит из камеры вспенивания через разгрузочное отверстие 15 в бункер-накопитель 16, а из него – через раздаточный рукав подается непосредственно в скважину или мерную емкость. По мере работы установки вода испаряется из ванны камеры вспенивания, ее уровень поддерживается с помощью объемного дозатора, установленного в нижней части емкости для воды. Часть соли также уносится из камеры вспенивания с гранулами пенополистирола, ее потери восполняются концентрированным раствором из емкости 6. Когда нет зарядки скважин, установку снимают с автомобиля и его используют для других целей.

Такая автономная мобильная установка обеспечивает приготовление вспененного полистирола непосредственно на заряжаемом блоке в необходимом для конкретных условий количестве, что существенно снижает затраты на доставку в карьер пенополистирола для формирования воздушных промежутков в скважинных зарядах, особенно для предприятий, расположенных в регионах с неразвитой инфраструктурой.

### 3.2. Воздушные промежутки из пенопласта

Плотность пенополистирола составляет  $10 \dots 15 \text{ кг/м}^3$ , и он содержит в гранулах до 98 % воздуха. Однако такая малая плотность материала создает и некоторые трудности: в ветреную погоду пенополистирол при засыпке из мерной емкости в скважину раздувается ветром, что требует применения дополнительных приспособлений (воронки, рукава и пр.). Кроме того, гранулы пенополистирола электризуются, что также затрудняет засыпку в скважину. Для устранения указанных недостатков целесообразно формировать воздушные промежутки в скважинах выполненными из пенопласта элементами различной формы, свободно проходящими в скважину.

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

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

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

1. Элемент свободно, не застревая, опускается по скважине на заданную глубину.
2. Для снижения расхода пенопласта необходимо стремиться к минимальному коэффициенту заполнения скважины. Это требование будет соблюдаться:
  - 2.1) если размеры элементов таковы, что на одном уровне в скважине располагается не более одного элемента;
  - 2.2) если форма элемента обеспечивает его минимальный объем.

3. Чтобы не производить замеров по мере формирования воздушного промежутка, каждый из элементов должен создавать одинаковый промежуток, а факт достижения заданной высоты воздушного промежутка должен определяться количеством уложенных элементов.

### 3.2.1. Воздушные промежутки из тел вращения

Рассмотрим элементы в форме тел вращения (рис. 3.11): сплюснутый эллипсоид (с осью вращения по короткой оси), вытянутый эллипсоид (с осью вращения по длинной оси), эллипсоид вращения с разной длиной полуосей длинной оси (яйцевидной формы) и шар <sup>1</sup>.

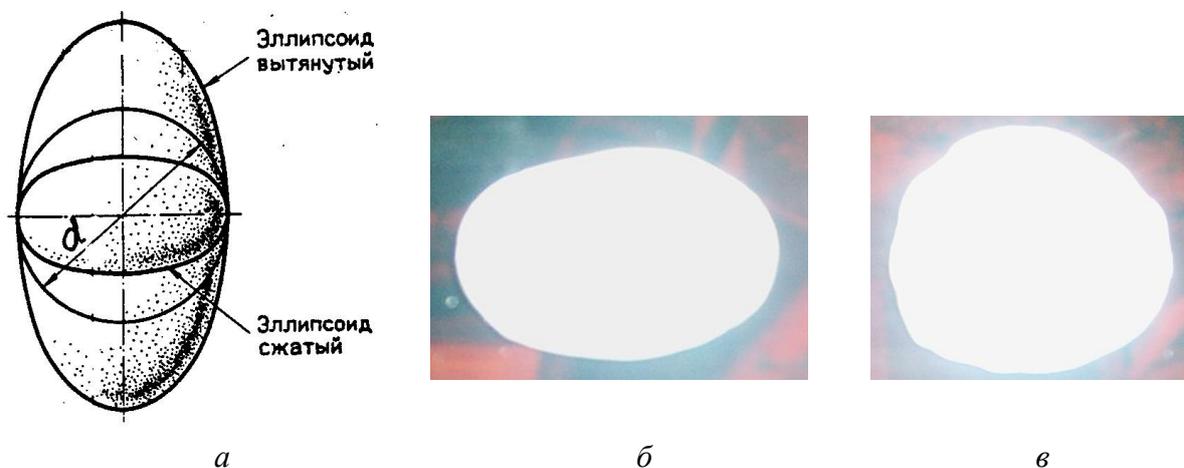


Рис. 3.11. Элементы в форме тел вращения:  
*a* – схема эллипсоидов; *б* – элемент в форме вытянутого эллипсоида;  
*в* – элемент в форме сфероида

Определим целесообразность выполнения воздушных промежутков в скважинах элементами из пенопласта в форме сплюснутых эллипсоидов вращения (сфероидов). То, что есть различные варианты взаимного расположения сфероидов в скважине, наглядно видно на рис. 3.12.

Требование о свободном опускании элемента в скважину (п. 1, с. 80) соблюдается при выполнении условия

$$2a < D,$$

где *a* – половина длины сфероида по длинной оси; *D* – диаметр скважины.

<sup>1</sup> Способ формирования воздушных промежутков элементами из пенополистирола : пат. 2317519 Рос. Федерация. № 2006112163/03 ; заявл. 12.04.06 ; опубл. 20.02.08, Бюл. № 5. 6 с.

Требованию подп. 2.1 отвечают сфероиды, у которых

$$2b > 0,5D,$$

где  $b$  – половина длины сфероида по короткой оси.

Известно, что объем сфероида

$$V_{\text{с.с}} = \frac{4}{3} \pi a^2 b$$

и его минимальный объем получается тогда, когда  $\frac{a}{b} \rightarrow 1$ , т. е. когда он принимает форму шара.

Условие п. 3 соблюдается лишь в том случае, когда сфероиды расположены короткой осью параллельно образующей цилиндра (скважины). Однако, как видно на рис. 3.12, *а*, 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 будут одинаковыми лишь в том случае, когда  $b = a$ , т. е. сфероид принимает форму шара.

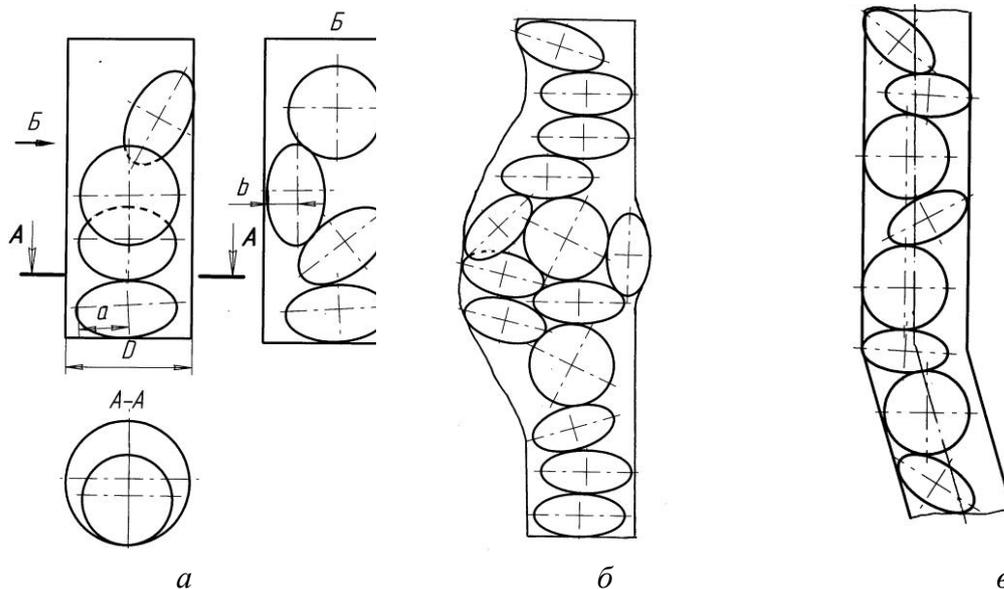


Рис. 3.12. Схема расположения в скважине элементов, имеющих форму сфероидов:

*а* – в скважине правильной цилиндрической формы;

*б* – в скважине с частично обрушенными стенками; *в* – в искривленной скважине

Таким образом, элементы сфероидной формы не отвечают второму и третьему требованиям и их применение для создания воздушных промежутков во взрывных скважинах с ненарушенными стенками нецелесообразно.

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В СУХИХ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИНАХ

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. 3.12, 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, ибо 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. 3.13, а).

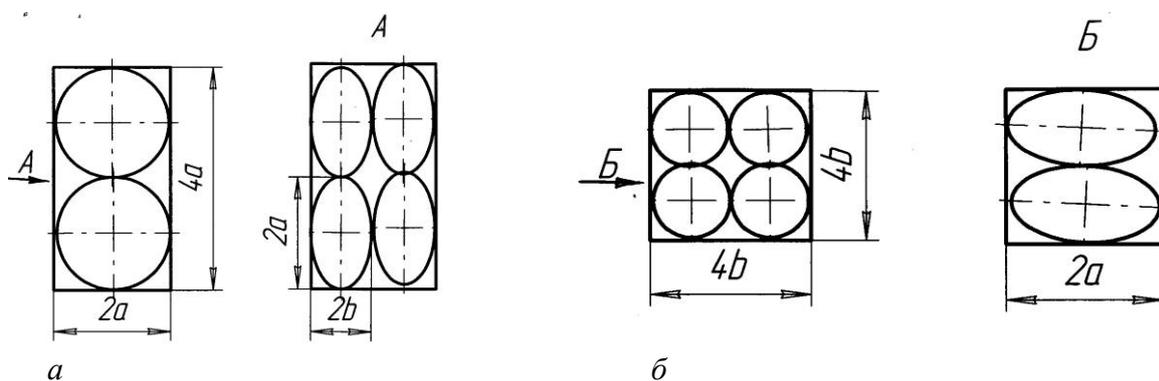


Рис. 3.13. Схемы для определения коэффициента заполнения сечения скважины элементами из пенопласта:

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.

Переводя объемы в размеры элементов,  $K_3$  можно рассчитать

$$K_3 = \frac{16\pi a^2 b}{3 \cdot 32 a^2 b} = \frac{\pi}{6} = 0,52.$$

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, поскольку элементы в скважине укладываются не упорядоченно, а хаотически, поэтому промежутки между ними увеличиваются, т. е. увеличивается пустотность. Следовательно, элементы из пенопласта в форме 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 момента достижения им заданной высоты.

Практика работы станков ударного бурения с выносными гидроударниками показывает, что при бурении скважин малого (100...130 мм) диаметра в породах с субвертикальной трещиноватостью скважина искривляется, а при пересечении трещин с переменным направлением возникают резкие искривления (см. рис. 3.12, в), на которых зависают взрывчатые вещества кусковой формы, например гексотал. Очевидно, что в таких скважинах, как и в прямолинейных цилиндрических скважинах, должно выполняться требование о том, что элемент свободно, не застревая, опускается в скважину. Но элементы сфероидной формы не отвечают ни второму, ни третьему требованиям (с. 80), и их применение в искривленных взрывных скважинах с ненарушенными стенками нецелесообразно.

Рассмотрим возможность создания воздушных промежутков элементами из пенопласта в форме вытянутых эллипсоидов вращения (рис. 3.14).

Итак, что же мы видим? Элементам такой формы присущи те же недостатки, что и сфероидам. 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. И требование свободного опускания шара в скважину соблюдается, когда  $d < D$  ( $d$  и  $D$  – диаметры шара элемента и скважины соответственно). Совершенно очевидно, что наибольшие пустоты между шарами и стенками скважины будут образовываться только в том случае, если в поперечном сечении скважины, проходящем через центр шара, будет располагаться не более одного шара (подп. 2.1).

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В СУХИХ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИНАХ

Из расположения 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, следовательно, второе и третье требования не соблюдаются (рис. 3.15, *a*).

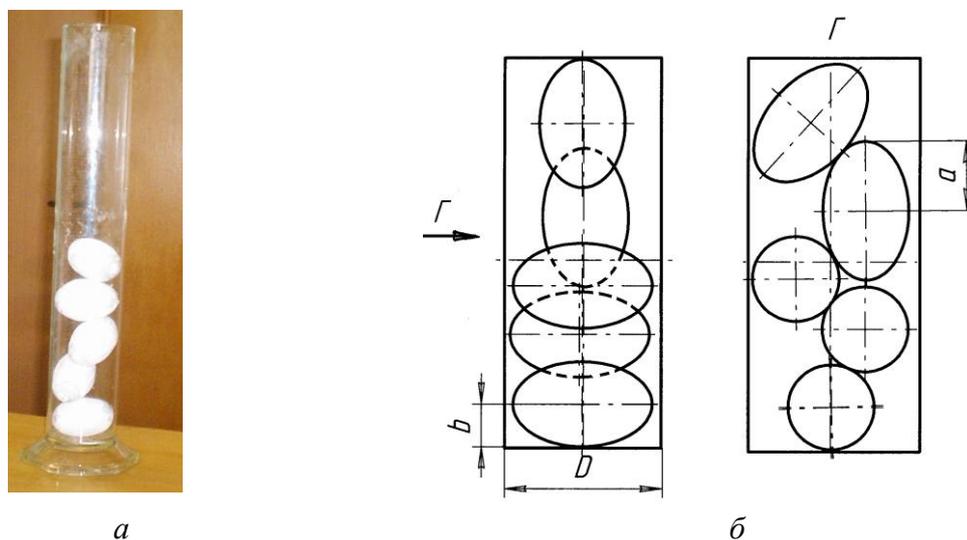


Рис. 3.14. Расположение в скважине элементов в форме вытянутых эллипсоидов:  
*a* – расположение элементов в лабораторном цилиндре; *б* – расчетная схема



Рис. 3.15. Расположение шаров в цилиндре:  
*a* – диаметр шаров меньше радиуса цилиндра; *б* – в нижней части диаметр шаров меньше радиуса цилиндра, в верхней части диаметр шаров больше радиуса цилиндра;  
*в* – диаметр шаров больше радиуса цилиндра

При выполнении условия  $d > 0,5D$  шары в скважине располагаются упорядоченно, что видно в сравнении с шарами с соотношением диаметров  $d < 0,5D$  (рис. 3.15, б). Зная количество шаров и их диаметры, можно подсчитать высоту воздушного промежутка (рис. 3.15, в).

Объем скважины  $V$ , в котором располагаются шары из пенопласта:

$$V = 0,25\pi D^2 H, \quad (3.1)$$

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

Эту высоту можно рассчитать по формуле

$$H = 0,5d(n+1) + 0,5(n-1)\delta, \quad (3.2)$$

где  $\delta$  – расстояние между двумя соседними шарами, оси которых расположены в одной вертикальной плоскости.

Это расстояние (рис. 3.16) определится из следующих условий:

$$\delta = 2ao_1 - d.$$

Отрезок  $ao_1 = \sqrt{o_1o_2^2 - ao_2^2}$ .

Отрезок  $ao_2 = D - d$ , а отрезок  $o_1o_2 = d$ .

Отсюда отрезок  $ao_1 = \sqrt{d^2 - (D - d)^2}$ .

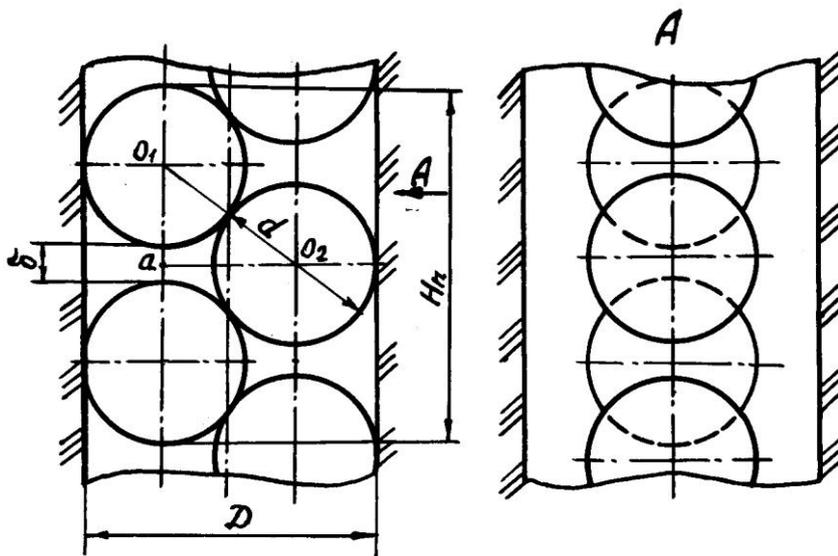


Рис. 3.16. Расчетная схема для определения рациональных параметров шаров из пенопласта в скважине при условии  $d > 0,5D$

Таким образом,  $\delta$  определится так:

$$\delta = \sqrt{2Dd - D^2} - d. \quad (3.3)$$

Подставив полученные значения  $\delta$  в (3.2) и  $H_n$  в (3.1), получим выражение для расчета объема скважины  $V$ , занимаемого  $n$  количеством шаров:

$$V = 0,25\pi D^2 \left[ 0,5d \left( \sqrt{2Dd - D^2} - d \right) + \left( \sqrt{2Dd - D^2} - d \right)^2 \right]. \quad (3.4)$$

Объем  $V_{ш}$   $n$  числа шаров из пенопласта, расположившихся в скважине на высоту  $H$ :

$$V_{ш} = 0,167\pi n d^3,$$

а коэффициент заполнения шарами скважины

$$K_3 = \frac{V_{ш}}{V} = \frac{0,67n d^3}{D^2 \left[ 0,5d \left( \sqrt{2Dd - D^2} - d \right) + \left( \sqrt{2Dd - D^2} - d \right)^2 \right]}. \quad (3.5)$$

При достаточно большом количестве шаров, размещенных в скважине, выражение (3.5) можно упростить, приравняв  $\sqrt{2Dd - D^2} - d \approx n$ :

$$K_3 = \frac{0,67d^3}{D^2 \sqrt{2Dd - D^2}}. \quad (3.6)$$

Так, например, при высоте воздушного промежутка  $H = 1$  м в скважине диаметром  $D = 11,6$  см количество шаров диаметром  $d = 0,6D = 7$  см можно подсчитать, преобразовав выражение (3.3):

$$n = \frac{H + 0,5d - d}{0,5d + d}, \quad (3.7)$$

для заданных условий работы  $n = 19$ .

Коэффициент заполнения скважины шарами  $K_3$ , подсчитанный по формуле (3.5), равен  $0,316$ , а по упрощенной (3.6) –  $0,321$ .

Погрешность незначительна и составляет

$$\frac{0,321 - 0,316}{0,316} 100 = 1,65 \text{ \%}.$$

Таким образом, в дальнейшем для расчетов коэффициента заполнения скважины шарами из пенопласта  $K_3$  с достаточной степенью точности можно использовать зависимость (3.6).

Из зависимости величины коэффициента заполнения  $K_3$  от соотношения размеров шаров и сечения скважины  $d/D$  (рис. 3.17) ясно, что существует экстремальное значение, при котором обеспечивается минимальный

расход пенопласта, обеспечивающий заданную высоту воздушного промежутка  $H$  в скважине.

Для определения оптимального соотношения  $d/D$  возьмем первую производную по  $d$  в выражении (3.6) и приравняем ее нулю:

$$K_3' = \frac{\frac{1,33}{2} \cdot 0,5d^2 \sqrt{0,25(Dd - D^2)} - \frac{1,33 \cdot 0,5d^3 D}{4 \cdot 0,5D^2 \sqrt{0,25(Dd - D^2)}}}{0,25(Dd - D^2)} = 0$$

$$= \frac{0,5d^2(Dd - D^2) - 0,166Dd^3}{0,25D^2(Dd - D^2)\sqrt{0,25(Dd - D^2)}} = 0.$$

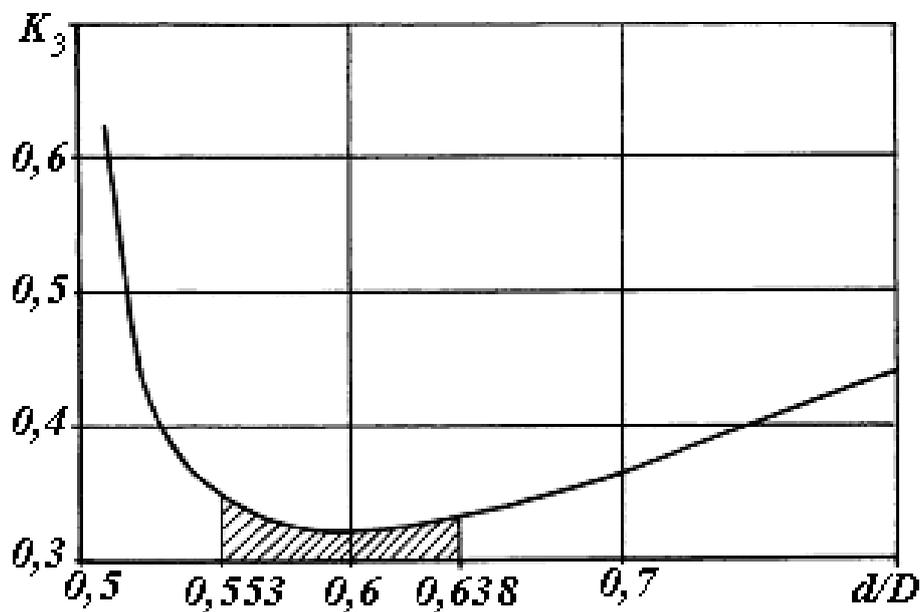


Рис. 3.17. Зависимость коэффициента заполнения скважины шарами из пенопласта  $K_3$  от соотношения  $d/D$

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

$$d/D = 0,6. \tag{3.8}$$

Коэффициент заполнения  $K_3$  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

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В СУХИХ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИНАХ

скважины при бурении, так и вследствие износа инструмента <sup>1</sup> (табл. 3.1, 3.2). Поэтому для обеспечения возможности использования шаров из пенопласта одного диаметра во всем диапазоне фактических размеров скважин, пробуренных одним долотом, следует учесть увеличение сечения скважин при бурении новыми коронками и снижение его при бурении изношенными коронками.

Таблица 3.1

**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 3.2

**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

Анализ данных, приведенных в таблицах, показывает, что наибольший разброс фактических диаметров происходит при ударно-вращательном бу-

<sup>1</sup> Степанов А. В., Гдалин А. Д. Проектирование и ведение буровзрывных работ на предприятиях строительных материалов. М., 1973. 184 с.

рении, 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.

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

$$\frac{d}{D} = 0,6 \left( - 0,078 \right) = 0,553 ,$$

а для буровых скважин, в которых использовались новые коронки, соотношение

$$\frac{d}{D} = 0,6 \left( + 0,064 \right) = 0,638 .$$

Область применения шаров с номинальным диаметром (рис. 3.17) вполне обеспечивает коэффициент заполнения скважины  $K_3$ , близкий к минимальному, что требует малого расхода пенопласта и повышает экономические показатели.

Формирование воздушных промежутков из пенопласта в форме тел вращения осуществляют следующим образом. После выбора формы и размеров элементов из пенопласта изготавливают шары или эллипсоиды расчетного для каждого диаметра скважин размера (рис. 3.18).

Затем готовят пробку 5, чтобы исключить просыпь ВВ в воздушный промежуток между элементами в виде шаров 1 или эллипсоидов 2 и стенками скважины 3. Для этого в мягкую или эластичную оболочку 4, выполненную из полиэтилена толщиной 100 мм или тонкой резины с диаметром более диаметра скважины, например 120...130 мм для скважин диаметром 115 мм, засыпают ВВ в таком объеме, чтобы в скважине оно заняло не менее диаметра по высоте. А затем оболочку завязывают несущим шнуром 6 с оставлением воздуха. Далее приступают к формированию воздушных промежутков в скважинных зарядах ВВ, для чего в скважину размещают нижний боевик 7 на проводнике иницирующего импульса 8 и формируют нижнюю часть заряда ВВ 9. Затем начинают формирование воздушного промежутка расчетной высоты. Для этого опускают в скважину расчетное количество шаров, а в скважинах, имеющих вывалы стенок и заполненных элементами из пенополистирола в виде эллипсоидов, по мере формирования воздушного промежутка необходимо производить замеры его высоты.

После этого формируют верхнюю часть заряда, для этого оболочку 4 поднимают за несущий шнур, при этом за счет растяжения оболочка уменьшается в диаметре и становится меньше диаметра скважины. Если

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В СУХИХ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИНАХ

этого не происходит, диаметр оболочки уменьшают, сминая ВВ вручную, после чего опускают ее на несущем шнуре на верхний элемент. После ослабления натяжения несущего шнура оболочка расплзается, перекрывает весь диаметр скважины. На этом формирование воздушного промежутка завершается, и на него засыпают верхнюю часть заряда ВВ 10, размещая в его верхней части боевик 11 на проводнике инициирующего импульса 12. В случае необходимости таким же путем формируют воздушный промежуток под забойкой 13.

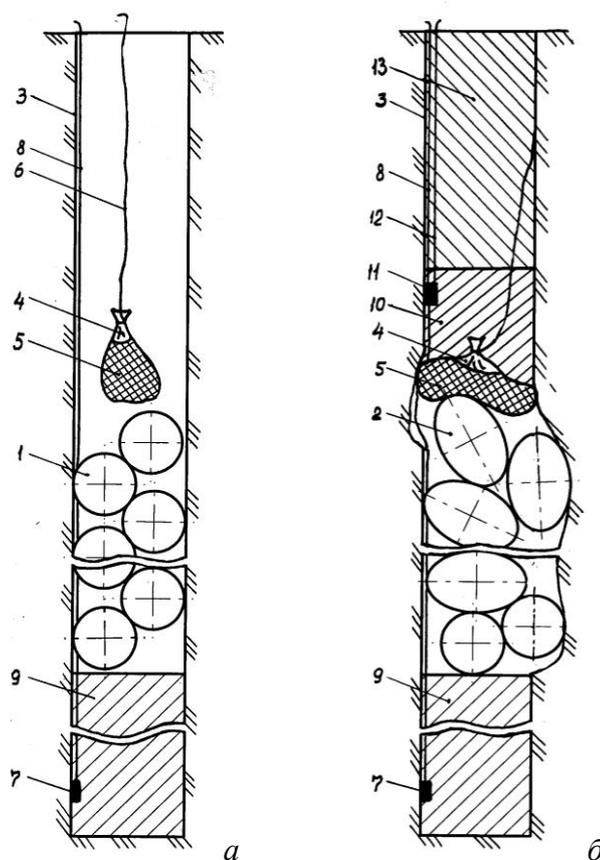


Рис. 3.18. Схема формирования воздушного промежутка из пенопласта в виде тел вращения:

*а* – опускание в скважину без вывалов стенок шаров и пробки;

*б* – опускание в скважину с вывалами стенок эллипсоидов и формирование пробки над воздушным промежутком из пенопласта

#### 3.2.2. Воздушные промежутки из элементов прямоугольной формы

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. 3.19)<sup>1</sup>.

В скважинах правильной цилиндрической формы постоянного диаметра воздушные промежутки можно создавать параллелепипедами с длиной одной из граней, равной высоте воздушного промежутка (рис. 3.19, *a*). Размеры поперечного сечения параллелепипеда должны обеспечить не только свободное прохождение элемента в скважину, но и изгибную прочность элемента.

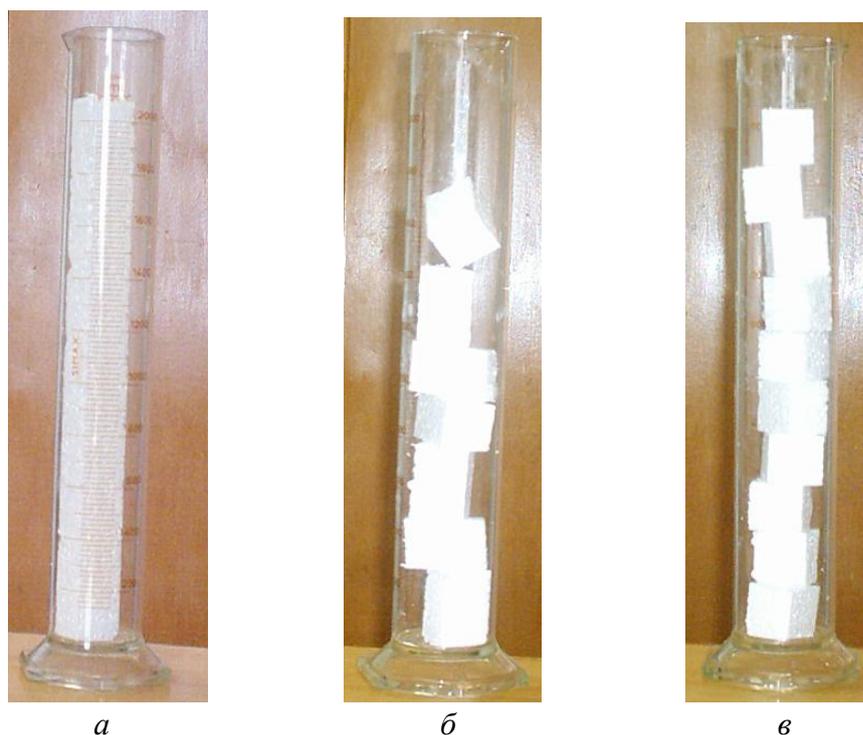


Рис. 3.19. Расположение элементов в форме параллелепипедов в скважине:  
*a* – с длиной одной из граней, равной высоте воздушного промежутка;  
*б* – с длиной одной из граней, меньшей диаметра скважины, но большей ее радиуса;  
*в* – кубиков

Одинаковая прочность элемента по осям  $x$  и  $y$  (рис. 3.20, *a*) соблюдается при его сечении в форме квадрата.

Длина стороны  $b$ :

<sup>1</sup> Способ формирования воздушных промежутков элементами из пенополистирола : пат. 2319922 Рос. Федерация. № 2006112161/03 ; заявл. 12.04.06 ; опубл. 20.03.08, Бюл. № 8. 8 с.

$$b = \frac{D}{\sqrt{2}} = 0,71D. \quad (3.9)$$

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

$$b = 0,71 \cdot 0,92 D \approx 0,65 D. \quad (3.10)$$

С целью 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.

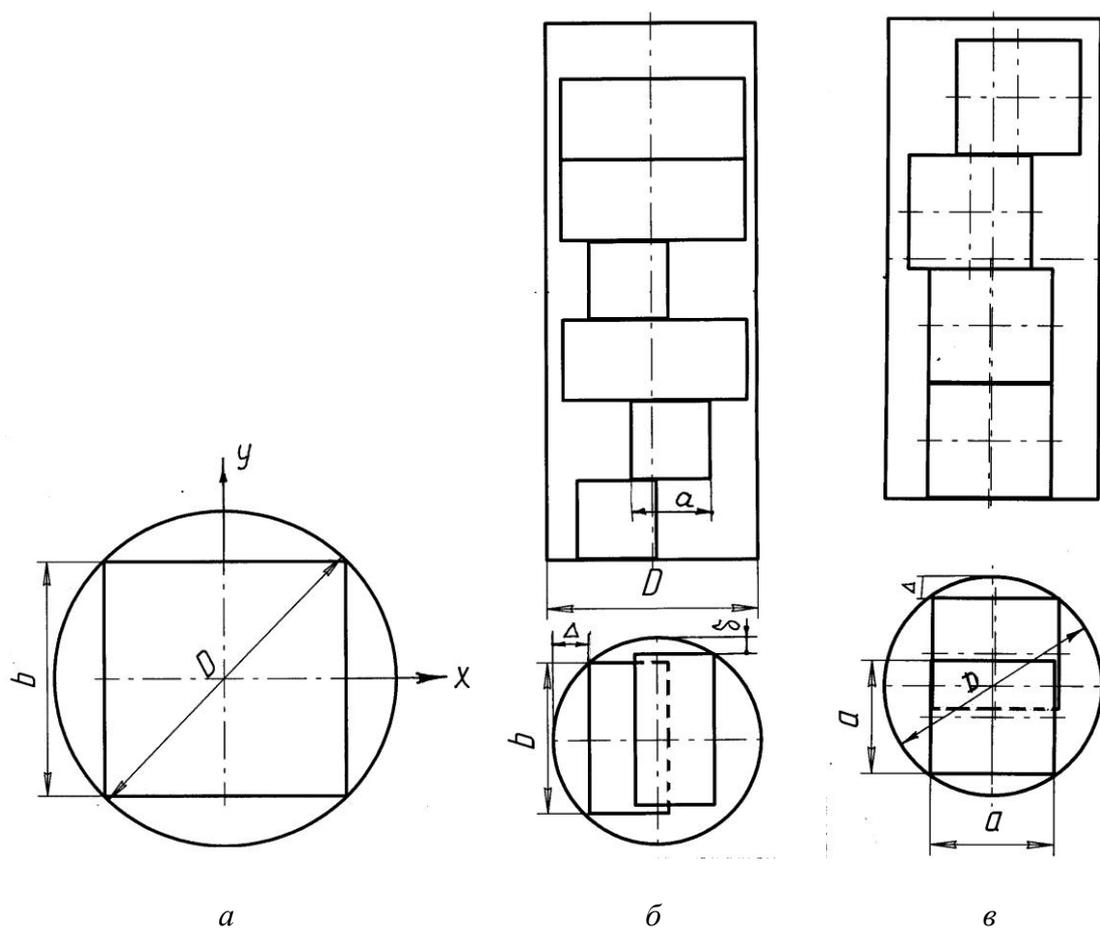


Рис. 3.20. Схемы для определения рациональных параметров параллелепипедов из пенопласта в скважине:

*a* – параллелепипедов с длиной одной из граней, равной высоте воздушного промежутка;  
*б* – с короткими параллелепипедами; *в* – кубиков

В скважинах, пробуренных в породах нарушенной структуры, имеющих вывалы стенок, воздушные промежутки также возможно создавать параллелепипедами с длиной одной из граней, равной высоте воздушного промежутка, в соответствии с вышеприведенными рекомендациями. В скважинах, искривленных относительно продольной оси, создание воздушного промежутка установкой параллелепипеда с длиной одной из граней, равной высоте этого промежутка, затруднено. Здесь можно рассмотреть два варианта.

Во-первых, в искривленную скважину длинный параллелепипед опускается до упора в стенку скважины ниже ее искривления. Однако при этом неизвестно, какой длины следует изготавливать элемент, поскольку не может быть точно неизвестно, на какой именно 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.

Во-вторых, можно изготовить параллелепипед с уменьшенным поперечным сечением, что дает элементу гибкость и позволяет до определенной величины 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 автоматически влечет за собой отмеченные выше недостатки.

Следовательно, 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 требование п. 1, т. е. свободное прохождение элемента в скважину (см. рис. 3.19, б). Для обеспечения требования подп. 2.1 поперечное сечение параллелепипеда представляет квадрат со стороной, равной  $a$ . Требование подп. 2.2 будет соблюдаться лишь в том случае, если параллелепипед расположен длинной стороной параллельно образующей цилиндра (скважины). Однако, как видно на рис. 3.19, б, элементы располагаются

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В СУХИХ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИНАХ

в скважине длинной стороной перпендикулярно образующей цилиндра, в этом случае коэффициент заполнения скважины увеличивается. При этом не соблюдается не только требование подп. 2.2, но и третье требование – чтобы каждый из элементов создавал одинаковый промежуток.

Таким образом, для соблюдения требований пп. 1 и 2 параллелепипед должен быть равносторонним, т. е. кубом. Однако изготовление элементов кубической формы требует больших 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.

Теперь 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 выполнение требования п. 1 о необходимости свободного прохождения элемента в скважину (см. рис. 3.19, б; 3.20, б), следовательно, должно выполняться условие

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

где  $\delta$  – 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. 3.20, б):

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

где  $a$  – длина короткой грани параллелепипеда;  $\Delta$  – 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  $F$ :

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

Возьмем первую производную от  $F$  и приравняем ее нулю:

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

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

Учитывая, что диаметр скважины, пробуренной новой коронкой, превышает номинальный размер до 6,4 %, следует увеличить размер грани параллелепипеда  $a$  на  $(0,07 \dots 0,08)D$ , тогда длина грани

$$a = 0,43D,$$

а объем одного параллелепипеда

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

Обсудим возможность выполнения второго требования – для снижения расхода пенопласта необходимо на одном уровне в скважине располагать не более одного элемента. Это требование невыполнимо, поскольку размеры поперечного сечения скважины с разрушенными стенками колеблются в широких пределах и не позволяют точно определить форму, размеры и количество элементов. Далее посмотрим, как влияет форма короткого параллелепипеда на величину коэффициента заполнения скважины пенопластом. Предположим, что параллелепипеды укладываются упорядоченно длинной стороной перпендикулярно образующей цилиндрической поверхности скважины, а высота воздушного промежутка кратна длине грани  $a$ . Тогда коэффициент заполнения

$$K_3 = \frac{V_3}{V_n} = \frac{4a^2 b}{\pi D^2 a} = 0,385D.$$

Фактически величина  $K_3$  имеет меньшее значение, поскольку элементы в скважине укладываются хаотически и увеличивается пустотность.

Выводы, таким образом, следующие: 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, а чтобы кубик не проваливался в зазор между стенкой скважины и предыдущим кубиком, необходимо соблюдать следующее условие (рис. 3.20, в):

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

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В СУХИХ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИНАХ

где  $a$  – длина грани кубика;  $D$  – зазор между гранью кубика и стенкой скважины.

$$\Delta = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2}, \text{ тогда } a + \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} > \frac{D}{2};$$

$$a > 0,447D. \quad (3.11)$$

Если окажется, что диаметр скважины, пробуренной новой коронкой, превышает номинальный размер на величину до 6,4 %, следует, как сказано выше, увеличить размер грани кубика  $a$  на  $(0,07...0,08)D$ , тогда длина грани кубика

$$a = 0,52D. \quad (3.12)$$

Коэффициент заполнения скважины

$$K_3 = \frac{V_k}{V},$$

где  $V_k$  – объем кубиков в скважине.

$$V_k = a^3 n,$$

где  $n$  – количество кубиков в скважине, рассчитывается в зависимости от заданной высоты  $H_n$  воздушного промежутка.

$$n = \frac{H_n}{a},$$

$V$  – объем скважины, в котором располагаются кубики из пенопласта.

$$K_3 = \frac{4a^3 n}{\pi D^2 a n} = \frac{4a^2}{\pi D^2},$$

и, учитывая условие (3.12),

$$K_3 = \frac{4 \cdot 0,52D^2}{\pi D^2} = 0,344.$$

Результаты лабораторных исследований процесса заполнения скважины кубиками из пенопласта показывают, что кубики, выполненные в соответствии с рекомендациями (3.9), не застревают в цилиндре, а устанавливаются гранями друг на друга (рис. 3.21, *a*). После создания в скважине воздушного промежутка элементами из пенопласта производится засыпка ВВ или создается засыпная забойка. Чтобы гранулы ВВ или частицы забойки не попали в зазор между элементами воздушного промежутка и стенками скважины, их отделяют от воздушного промежутка пробкой.

Такую пробку можно изготавливать из того же гранулированного ВВ или материала засыпной забойки, помещенных в мягкий пакет, выполненный, например, из полиэтилена (рис. 3.21, б). Объем пакета должен быть таким, чтобы после помещения на кубики воздушного промежутка высота пакета составляла  $(0,5 \dots 1,0)D$ . На пробку засыпается оставшая часть гранулированного ВВ или засыпной забойки (рис. 3.21, в). Проверка возможности просадки воздушного промежутка, выполненного из кубиков пенопласта, приложением к поверхности заряда нагрузки величиной, аналогич-

ной нагрузке от засыпной забойки (0,002 МПа), показала отсутствие какой-либо деформации пенопласта (рис. 3.21, *г*).

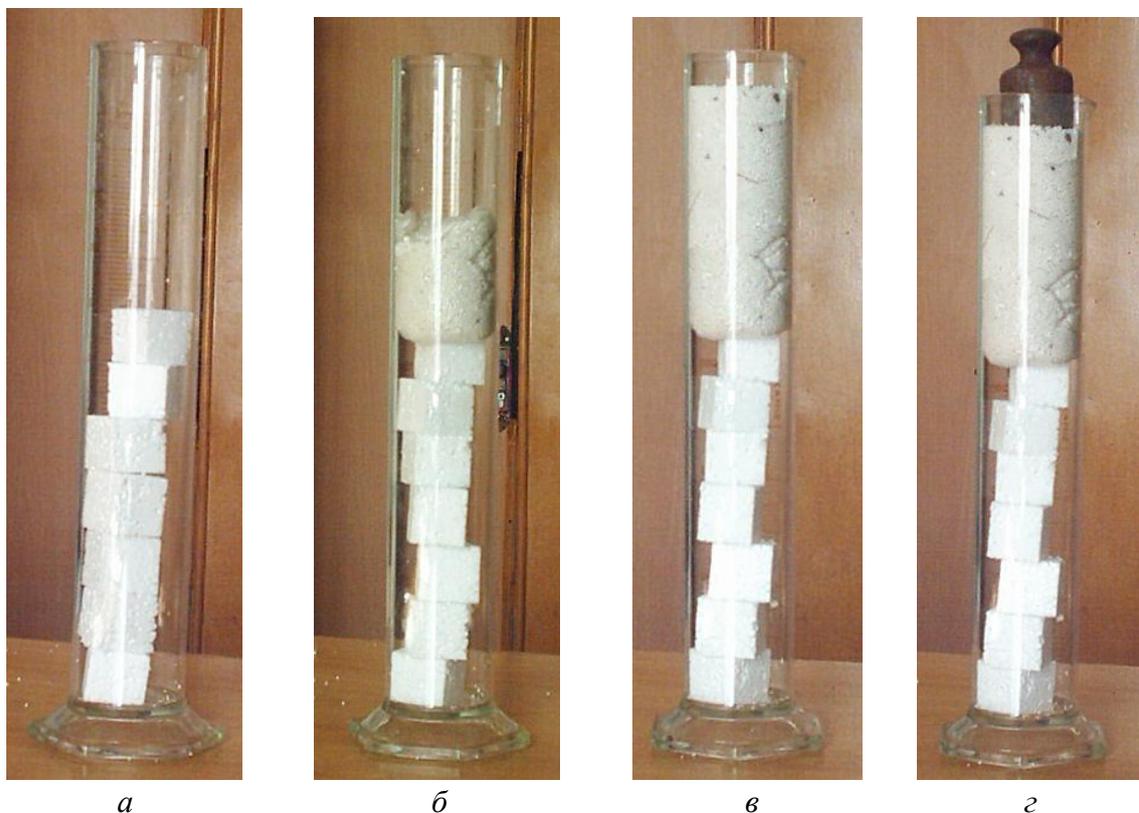


Рис. 3.21. Использование кубиков из пенопласта для создания воздушного промежутка:

- а* – формирование промежутка; *б* – перекрытие воздушного промежутка гранулированным ВВ в полиэтиленовом пакете; *в* – засыпка гранулированного ВВ верхней части заряда; *г* – дополнительное нагружение кубиков пенопласта

Таким образом, создание воздушных промежутков в скважинах наиболее целесообразно элементами из пенопласта кубической формы с размером стороны  $a = 0,52D$ . Они свободно опускаются в скважину, обеспечивают минимальный расход пенопласта, а высота воздушного промежутка определяется простым подсчетом количества засыпанных элементов.

### 3.3. Воздушные промежутки из упаковок с пенополистиролом

В случае отсутствия достаточного количества пенопласта возможно создание воздушных промежутков применением упаковок с пенополисти-

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В СУХИХ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИНАХ

ролом <sup>1</sup>. Вначале в специальном помещении готовят упаковки с пенополистиролом заданных размеров для каждого диаметра скважин и для каждой расчетной высоты воздушных промежутков. Для этого неэластичную тканевую или полиэтиленовую оболочку диаметром не более 0,8 диаметра скважины, например, 70...90 мм для скважин диаметром 115 мм или 100...130 мм для скважин диаметром 165 мм герметизируют снизу, например, плотно завязывают (рис. 3.22).

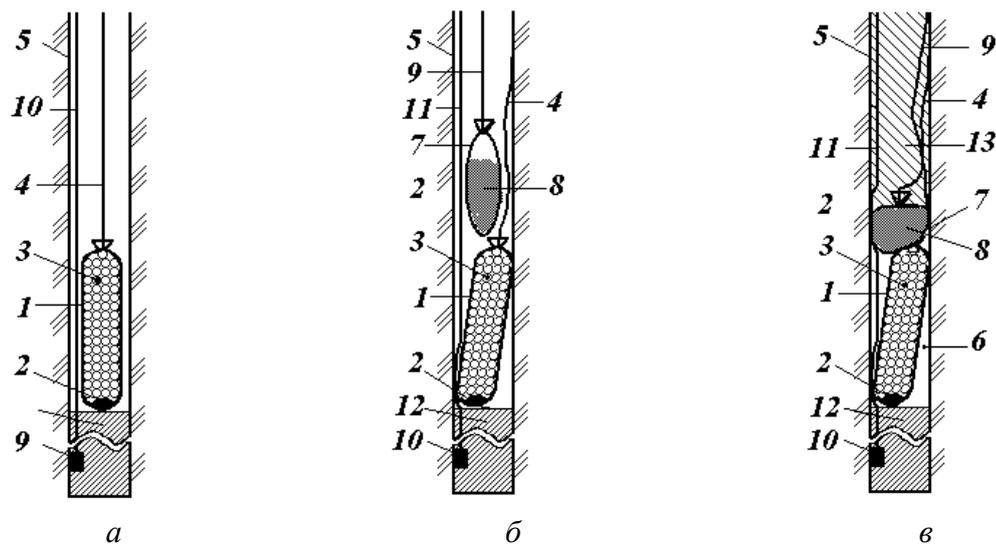


Рис. 3.22. Схема формирования воздушного промежутка упаковками с пенополистиролом:

*а* – опускание в скважину упаковки; *б* – опускание в скважину уплотняющего объема ВВ; *в* – заряженная скважина с воздушным промежутком

В нижнюю часть оболочки *1* помещают утяжелитель *2*, например, кусок горной породы, засыпают пенополистирол *3* на заданную высоту воздушного промежутка, плотно обжимают оболочку *1* и завязывают его несущим шнуром *4* такой длины, чтобы его хватило для опускания на заданную глубину в скважину *5* для формирования воздушного промежутка *б*. Как уже отмечалось выше, просадка пенополистирола в упаковке под давлением столба вышележащего заряда ВВ будет незначительной и не повлияет на высоту воздушного промежутка. Затем готовят пробку *8* вышеописанным способом, чтобы исключить просыпи ВВ в воздушный промежуток вдоль стенок упаковки.

<sup>1</sup> Способ формирования воздушных промежутков из пенополистирола : пат. 2314487 Рос. Федерация. № 2006109908/03 ; заявл. 27.03.06 ; опубл. 10.01.08, Бюл. № 1. 4 с.

Подготовленные упаковки и пробки привозят на блок к заряжаемым скважинам и приступают к формированию воздушных промежутков в скважинных зарядах ВВ. Для этого в скважину размещают боевик 10 на проводнике иницирующего импульса 11 и формируют нижнюю часть заряда ВВ 12. После этого начинают формирование воздушного промежутка расчетной высоты, опуская упаковку на несущем шнуре на нижнюю часть заряда ВВ. Затем пробку поднимают за несущий шнур, при этом за счет растяжения оболочка 7 становится меньше диаметра скважины. Если этого не происходит, диаметр ее уменьшают, сминая ВВ в ней вручную, после чего опускают ее на несущем шнуре на верхнюю часть упаковки. После ослабления несущего шнура пробка расползается и перекрывает скважину, а на нее засыпают верхнюю часть заряда ВВ 13.

Такой способ формирования воздушных промежутков из пенополистирола обеспечивает быстрое их формирование независимо от погодных условий, упрощает сам процесс, поскольку отпадает необходимость замера высоты сформированного воздушного промежутка, как это необходимо делать при засыпании гранулированного пенополистирола или лома пенопласта из-за колебаний диаметра скважины при износе бурового инструмента.

### **3.4. Формирование воздушных промежутков из утилизируемых изделий**

Для формирования воздушных промежутков в сухих взрывных скважинах можно использовать самые различные утилизируемые материалы, содержащие воздух в самом материале или объеме изделия, например: лом изделий из пенопласта, выбракованные или использованные пластиковые емкости из-под воды, напитков и т. п.

#### **3.4.1. Воздушные промежутки из лома пенопластовых изделий**

Может быть использован лом самых различных изделий из пенопласта – упаковки электронной, бытовой и прочей техники, одноразовая посуда и другие изделия, от широкого применения которых в технике и быту возникли проблемы утилизации <sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Способ формирования воздушных промежутков из пенопласта : пат. 2322647 Рос. Федерация. № 2006126864/03 ; заявл. 24.07.06 ; опубл. 20.04.08, Бюл. № 11. 5 с.

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В СУХИХ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИНАХ

Вначале готовят необходимые объемы кусков пенопласта приемлемых для каждого диаметра скважин размеров с учетом расчетной суммарной высоты воздушных промежутков. Для этого дробят бывшие в употреблении упаковки бытовой, вычислительной техники, упаковки пищевых продуктов, остатки одноразовой посуды и прочий лом пенопласта до размеров самой длинной стороны в 0,65...0,71 диаметра скважины. Если скважины применяют нескольких диаметров, то для каждого куски пенопласта затем помещают в отдельные емкости (мешки, ящики и т. п.).

Чтобы исключить просыпи ВВ внутрь воздушного промежутка 2 между кусками 1 пенопласта изготавливают пробку 4, помещая столько ВВ в эластичную оболочку 3, например, из полиэтилена, чтобы в скважине оно заняло 1...2 диаметра по высоте. Оболочку завязывают несущим шнуром 5 с оставлением воздуха (рис. 3.23).

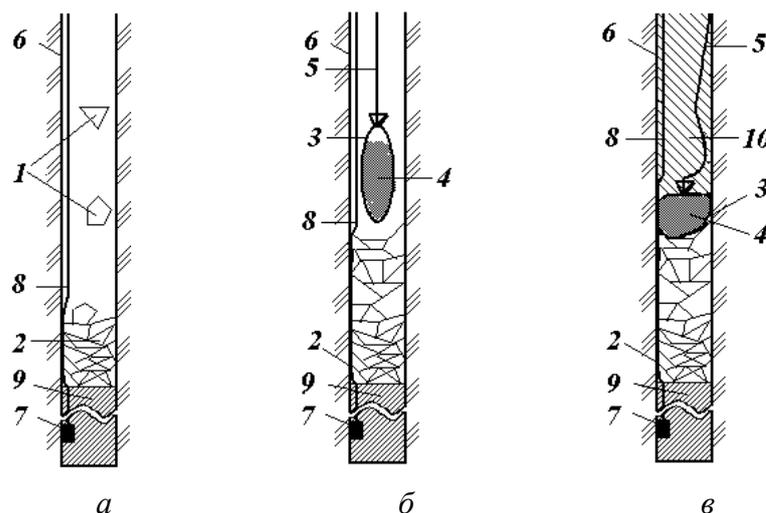


Рис. 3.23. Схема формирования воздушного промежутка из лома пенопласта:  
а – сбрасывание в скважину кусков пенопласта; б – спуск в скважину пробки;  
в – заряженная скважина с воздушным промежутком из кусков пенопласта

Подготовленные куски пенопласта и пробки привозят на блок к заряжаемым скважинам и приступают к созданию скважинных зарядов ВВ с воздушными промежутками. Для этого в скважину б размещают боевик 7 на проводнике инициирующего импульса 8, а также нижнюю часть заряда ВВ 9. Затем начинают формирование воздушного промежутка расчетной высоты, сбрасывая в скважину на нижнюю часть заряда ВВ куски пенопласта и периодически замеряя высоту получающегося воздушного промежутка. После достижения расчетной высоты воздушного промежутка оболочку с ВВ опускают на несущем шнуре на верхний кусок пенопласта.

### 3.4. ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ ИЗ УТИЛИЗИРУЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ

После ослабления натяжения несущего шнура она расплзается, образуя пробку и перекрывая всё сечение скважины. На этом формирование воздушного промежутка завершается, и на него размещают верхнюю часть заряда ВВ 10.

В случае необходимости таким же путем последовательно формируют несколько воздушных промежутков.

Формирование воздушных промежутков из пенопласта обеспечивает быстрое создание воздушного промежутка независимо от погодных условий, удешевляет сам процесс, поскольку используется дешевый лом пенопласта, кроме того, успешно решается насущная проблема его утилизации.

#### 3.4.2. Воздушные промежутки из пластиковых емкостей

В качестве материала для создания воздушных промежутков возможно применение пластиковых цилиндров, включая использованные или бракованные пластиковые емкости из-под напитков <sup>1</sup> (рис. 3.24).

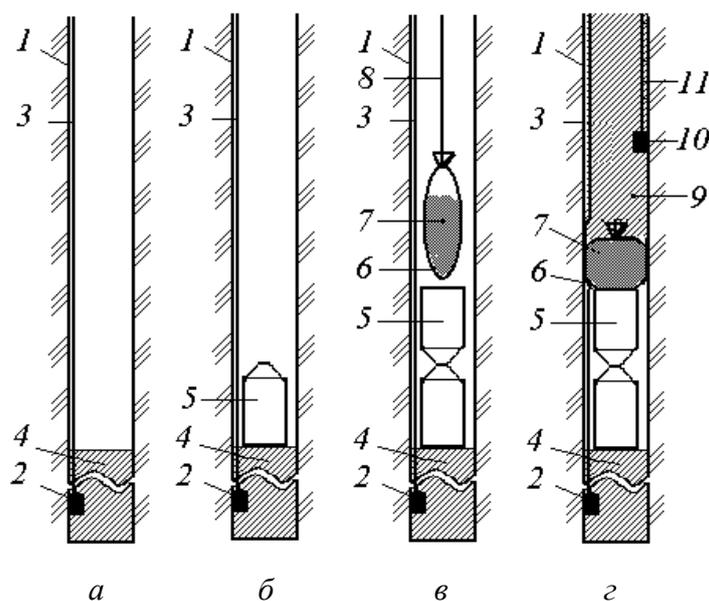


Рис. 3.24. Схема рассредоточения заряда в скважине пластиковыми емкостями:  
а – формирование нижней части заряда ВВ; б – установка емкостей; в – опускание пробки;  
г – заряд ВВ с воздушным промежутком под пробкой

<sup>1</sup> Способ рассредоточения заряда в скважине : пат. 2325617 Рос. Федерация. № 2006126875/03 ; заявл. 24.07.06 ; опубл. 27.05.08, Бюл. № 15. 5 с.

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В СУХИХ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИНАХ

---

Вначале в нижней части скважины *1* размещают боевик *2* на проводнике инициирующего импульса *3* и формируют нижнюю часть заряда ВВ *4* на заданную высоту.

После этого измеряют фактический диаметр скважины, выбирают тонкостенные герметичные пластиковые емкости *5* соответствующего размера и последовательно сбрасывают их одну за другой в скважину до заполнения ими воздушного промежутка на всю высоту.

Для скважин небольшого диаметра емкостями могут быть, например, пустые пластиковые бутылки. Так, пластиковая бутылка емкостью 1 л при диаметре 80 мм имеет длину около 280 мм; 1,5 л – диаметр 90 мм, длину около 300 мм; 2 л – диаметр 100 мм, длину 320 мм.

Все бутылки имеют длину более трех диаметров.

Для скважин среднего диаметра возможно использование пластиковых емкостей объемом 5 л, диаметр которых достигает 160 мм, а длина – 350 мм (два диаметра) и т. д.

Для свободного прохождения емкости в скважину достаточно, чтобы ее диаметр составлял 0,9...0,95 номинального диаметра скважины.

При достаточно малом расхождении диаметров скважины и емкостей последние будут располагаться вертикально, при большом – находиться под некоторым наклоном.

При длине пластиковой емкости более пяти диаметров и большом расхождении диаметров емкости и скважины она может деформироваться и лопнуть.

Чтобы исключить просыпи ВВ в зазор между емкостями и стенками скважины готовят пробку из эластичной оболочки *6*, например из полиэтилена, в которую засыпают ВВ *7* в таком объеме, чтобы в скважине оно заняло не менее диаметра по высоте.

Затем оболочку завязывают несущим шнуром *8* с оставлением воздуха, обеспечивающего возможность деформации оболочки после снятия нагрузки со шнура.

Пробку опускают на несущем шнуре на верхнюю емкость, оболочка расползается, и пробка перекрывает всё сечение скважины.

На этом формирование воздушного промежутка завершается, и на него засыпают верхнюю часть заряда ВВ *9*, размещая в нем боевик *10* на проводнике инициирующего импульса *11*.



После установки элемента на нижнюю часть заряда зазор между элементом и стенками скважины засыпают расчетным объемом гранул *б* пенополистирола.

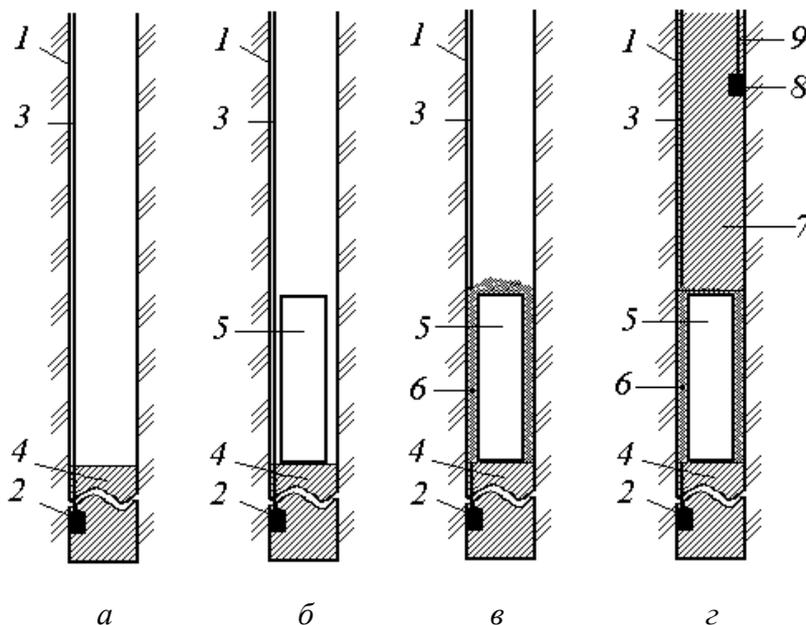


Рис. 3.26. Схема рассредоточения заряда эмульсионных ВВ в скважине элементами из пенопласта:

- а* – формирование нижней части заряда текучего ВВ; *б* – установка элемента из пенопласта;  
*в* – заполнение зазора между элементом и стенками скважины пенополистиролом;  
*г* – заряд текучего ВВ с воздушным промежутком

При этом возможен случай, когда часть гранул попадет поверх элемента или из-за отклонений диаметра скважины промежуток между стенками скважины и элементом будет заполнен не полностью. Эти отклонения будут невелики и ими можно пренебречь, чтобы не вести достаточно трудоемкий визуальный контроль. Затем формируют верхнюю часть заряда *7*, заливая текучее ВВ до расчетной высоты, предварительно установив второй боевик *8* на проводнике инициирующего импульса *9*. При падении на воздушный промежуток вязкая и тяжелая струя текучего ВВ попадает на прочный элемент из пенопласта, сметает с него гранулы пенополистирола, если они на нем есть, или частично проникает в зазор между стенками скважины и элементом до гранул, если этот зазор заполнен вспененным полистиролом не полностью. Глубина этого проникновения, как показали наши полигонные испытания, не превышает нескольких сантиметров. Но в любом случае текучее ВВ не проникает внутрь прочного элемента из пенопласта и длина воздушного промежутка не изменится.

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В СУХИХ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИНАХ

Рассматриваемый способ формирования воздушных промежутков в заряде из текучих взрывчатых веществ обеспечивает быстрое и надежное формирование воздушного промежутка независимо от плотности и консистенции текучего ВВ и упрощает сам процесс, поскольку отпадает необходимость замера высоты сформированного воздушного промежутка, как это необходимо делать при засыпании гранулированного пенополистирола из-за колебаний диаметра скважины при износе бурового инструмента.

В качестве воздушных промежутков в текучих ВВ возможно применение пластиковых цилиндров, в т. ч. использованных или бракованных пластиковых емкостей из-под напитков<sup>1</sup>. Рассредоточивают заряд из текучих ВВ пластиковыми емкостями следующим образом (рис. 3.27).

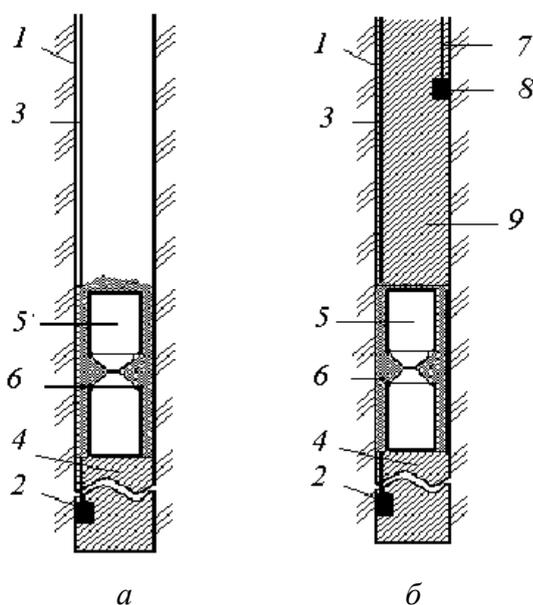


Рис. 3.27. Схема рассредоточения заряда эмульсионных ВВ в скважине пластиковыми цилиндрами:

*а* – заполнение зазора между цилиндрами и стенками скважины пенополистиролом;

*б* – сформированный заряд ВВ

Вначале в нижней части скважины *1* размещают боевик *2* на проводнике инициирующего импульса *3* и формируют нижнюю часть заряда ВВ *4* на заданную высоту. После этого измеряют фактический диаметр скважины в месте установки воздушного промежутка, подбирают тонкостенные

<sup>1</sup> Способ формирования воздушных промежутков в заряде из текучих взрывчатых веществ : пат. 2319923 Рос. Федерация. № 2006123988/03 ; заявл. 04.07.06 ; опубл. 20.03.08, Бюл. № 8. 5 с.

герметичные пластиковые емкости 5 соответствующего диаметра и последовательно сбрасывают их одну на другую в скважину в количестве, необходимом для заполнения ими воздушного промежутка на всю высоту, исходя из длины этих емкостей. Для скважин небольшого диаметра емкости могут быть, например, пустые пластиковые бутылки.

Так как заряд ВВ выполняют из текучего ВВ, во избежание протекания ВВ в зазор между емкостями и стенками скважины его засыпают расчетным объемом гранул 6 вспененного полистирола. При этом возможно, что часть гранул попадет поверх емкости или промежуток между стенками скважины и емкостями будет заполнен не полностью (из-за отклонений диаметра скважины). Напомним, что эти отклонения невелики и ими можно пренебречь, чтобы не вести достаточно трудоемкий визуальный контроль. После этого устанавливают на проводнике инициирующего импульса 7 боевик 8 и формируют верхнюю часть заряда 9, заливая текучее ВВ до расчетной высоты. Рассредоточивать заряд из текучих взрывчатых веществ можно также элементами из пенопласта в форме эллипсоидов, шаров, кубиков и параллелограммов.

#### 3.6.2. Воздушные промежутки в котловых полостях

Отбойка горных пород взрывом системы сосредоточенных зарядов, расположенных в котловых расширениях вдоль оси скважины небольшого диаметра, сочетает в себе преимущества как удлиненных, так и сосредоточенных зарядов. Одновременно уменьшается удельный расход ВВ на 10 % и на 12,4 % увеличивается выход фракций до 400 мм<sup>1</sup>. Недостаток этого способа в использовании именно сплошных зарядов ВВ, хотя известно, что наилучшее дробление горных пород взрывом обеспечивается зарядами, рассредоточенными воздушными промежутками.

Именно поэтому нами предложен способ формирования воздушных промежутков в скважине с расширенной зарядной полостью применением специального устройства<sup>2</sup>. Вначале, исходя из необходимой взрывной нагрузки на конкретный массив горных пород, определяют место установки воздушных промежутков в скважине по высоте. Затем определяют пара-

---

<sup>1</sup> Друкованый М. Ф. Методы управления взрывом на карьерах. М., 1973. 416 с.

<sup>2</sup> Способ формирования воздушных промежутков в скважине с расширенной зарядной полостью и устройство для его применения : пат. 2317517 Рос. Федерация. № 2006113714/03 ; заявл. 21.04.06 ; опубл. 20.02.08, Бюл. № 5. 5 с.

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В СУХИХ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИНАХ

метры котловых расширений (диаметр и высоту) и выдают схему обустройства блока. На заданном месте уступа *1* бурят скважину *2* небольшого диаметра до конечной глубины взрывной скважины (рис. 3.28) и по проектным параметрам выполняют котловые полости *3*, например термическим разбуриванием.

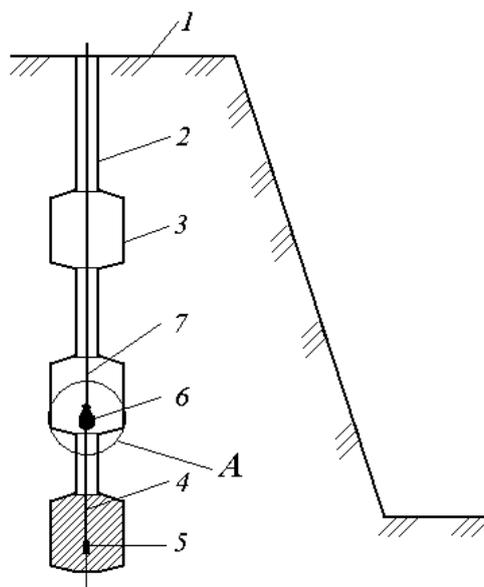


Рис. 3.28. Схема формирования воздушного промежутка в скважине с котловыми полостями

После этого приступают к формированию скважинного заряда. Для этого в нижнее котловое расширение на проводнике инициирующего импульса *4* (волноводе или детонирующем шнуре) опускают на проектную глубину промежуточный детонатор *5* и формируют нижний заряд ВВ *6* на полную высоту нижней котловой полости *3*. На поверхности уступа готовят к спуску в скважину устройство для образования воздушных промежутков в скважинном заряде. Устройство представляет собой зонтик *7* с ребрами жесткости *8* в виде пластмассовых струн переменной жесткости, убывающей от центра зонтика к его периферии за счет уменьшения их сечения (рис. 3.29). Ребра жесткости соединены вместе под усеченным полым конусом *9*, расположенным нижним основанием в сторону воздушного промежутка, и связаны с ним и с эластичным полотном *10*, выполненным, скажем, из полиэтиленовой пленки. Усеченный полый конус выполняют, например, из плотного картона или оргалита со сквозным отверстием, через которое пропускают проводник инициирующего импульса к боевику, установленному в заряде нижней котловой полости.

Подготовка устройства заключается в складывании его в компактный пучок. Для этого ребра жесткости сгибают вместе с эластичным полотном вверх, собирают в пучок и завязывают шнур *11* наверху пучка узлом, который можно развязать сверху, например альпинистским способом. Затем через усеченный полый конус пропускают проводник инициирующего импульса от заряда *б* и, используя проводник инициирующего импульса как направляющую, на шнуре опускают устройство в скважину во вторую котловую полость (рис. 3,29, *а*).

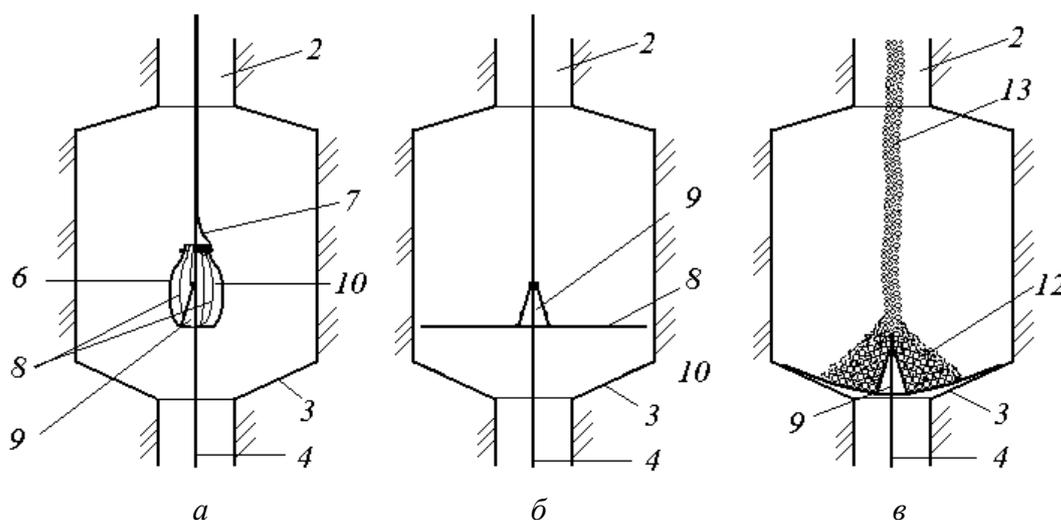
Узел *А*

Рис. 3.29. Этапы формирования воздушного промежутка

Вход устройства в котловую полость *3* определяют по длине шнура и после этого петлю шнура развязывают, ребра жесткости за счет упругости распрямляются, раскрывают эластичное полотно *10*, и зонтик *7* по проводнику инициирующего импульса опускается дальше в нижнюю часть котловой полости (рис. 3.29, *б*).

Затем приступают к формированию заряда *12* в котловой полости, подавая поток ВВ *13*. При попадании этого потока на усеченный полый конус *9* он распределяется с его помощью к краям зонтика, способствуя быстрейшему попаданию ВВ на ту часть зонтика, которая контактирует с дном котловой полости, прижимает к ней эластичное полотно, снижая тем самым нагрузку на ребра жесткости (рис. 3,29, *в*).

Сформировав половину заряда по высоте котловой полости, в нее опускают промежуточный детонатор на своем проводнике инициирующе-

### 3. ФОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В СУХИХ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИНАХ

го импульса и доводят заряд *12* до самого верха котловой полости, не засыпая, однако, узкую часть скважины, в которой формируется воздушный промежуток. Процесс повторяют столько раз, сколько воздушных промежутков запланировано к установке.

Размеры зонтика в раскрытом виде зависят от его жесткости – чем жестче его ребра, тем меньше их длина, тем короче все устройство по длине и меньше по габаритам, что облегчает его доставку по узкой части скважины в котловую полость.

При детонации заряда ВВ в котловой полости усеченный конус *9* выполняет роль кумулятивной выемки, увеличивая величину ударной волны в воздушном промежутке, расположенном под ним, и способствуя тем самым увеличению полезного действия взрыва на дробление.

Таким образом, формирование воздушных промежутков в скважине с расширенной зарядной полостью обеспечивает быстрое и надежное формирование воздушного промежутка, снижает расход ВВ при одновременном увеличении полезного действия взрыва.

---

## Глава 4

# ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В ОБВОДНЕННЫХ СКВАЖИНАХ

### 4.1. Формирование рассредоточенных скважинных зарядов в гидроизоляционную оболочку

Опыт работы разрезов и карьеров Восточной Сибири, Забайкалья и Якутии показывает, что необходимо разрабатывать специальные технологические схемы ведения буровзрывных работ по многолетнемерзлым и коренным породам. Обусловлена эта необходимость сложным гидрогеологическим режимом обводненных горных пород как многолетнемерзлых, так и пород с сезонным промерзанием, особенно в весенне-летний период. Так, на разрезе «Восточный» взрывные скважины обводнены круглый год, а вода поступает из деятельного слоя в скважины с песчано-илистым материалом, поэтому потери взрывных скважин от заиливания достигают 50 %, при этом скважины могут быть заилены на 100 %<sup>1</sup>.

Наиболее высокий уровень потерь скважин из-за заиливания и обрушения стенок отмечен в период смерзания деятельного слоя, когда потери их длины могут достигать 90 %. Различные варианты гидроизоляции стенок скважин с помощью надувных емкостей и обсадных труб менее эффективны, чем гидроизоляция зарядов ВВ полиэтиленовыми оболочками для предотвращения попадания воды и заиливающего материала в межгранульное пространство ВВ. Однако в условиях высокой обводненности гидроизоляция зарядов эффективна только в комплексе с заряданием скважин вслед за бурением. Опыт показал, что при ручном зарядании целесообразно использовать простейшие устройства с оболочками из полиэтиленовой пленки толщиной 0,20 мм<sup>2</sup>. В то же время при взрывном рых-

---

<sup>1</sup> *Технология горных и буровзрывных работ в сложных гидрогеологических и геокриологических условиях разреза «Восточный» / А. В. Рашкин, В. А. Дорофеев, П. Б. Авдеев, С. Ю. Селезнев // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 5. С. 375–379.*

<sup>2</sup> *Сеинов Н. П., Валиев Б. С. Технология зарядания обводненных скважин неводоустойчивыми взрывчатыми веществами // Взрывное дело. 1986. № 89/46. С. 204–215.*

лении мерзлых пород лучшие результаты достигаются при увеличении длительности воздействия взрывного импульса на массив и использовании двухслойной пленки толщиной 0,15...0,20 мм<sup>1</sup>.

Поскольку одним из лучших способов увеличения времени действия продуктов взрыва на массив горных пород является рассредоточение зарядов ВВ воздушными промежутками, нами предложена технология формирования в полиэтиленовую оболочку скважинных зарядов, рассредоточенных вспененным полистиролом<sup>2</sup>. Формирование заряда в скважине производят, пока в ней нет воды, например, сразу после бурения или после осушения специальными машинами (рис. 4.1).

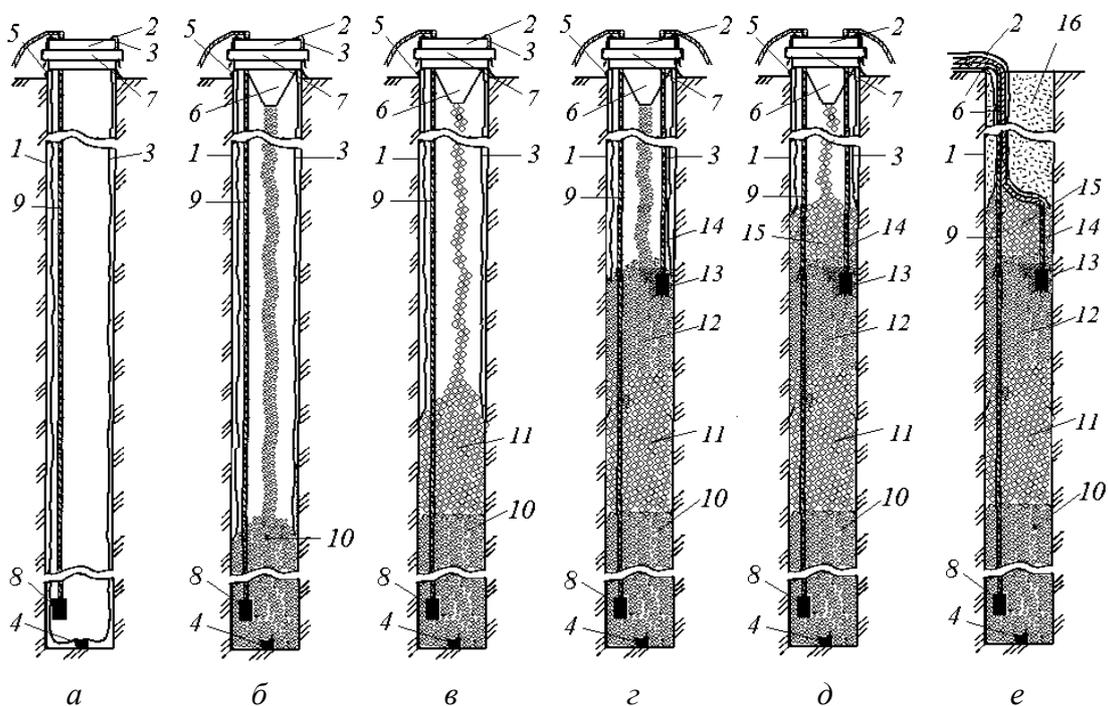


Рис. 4.1. Последовательность формирования в полиэтиленовую оболочку скважинного заряда с воздушным промежутком из вспененного полистирола

В скважину 1 через приемный цилиндр 2 на всю глубину опускают гидроизоляционную оболочку 3, выполненную из пленки полиэтиленовой,

<sup>1</sup> Технология горных и буровзрывных работ в сложных гидрогеологических и геокриологических условиях разреза «Восточный». С. 377.

<sup>2</sup> Способ формирования рассредоточенных зарядов взрывчатых веществ в частично обводненных скважинах : пат. 2314488 Рос. Федерация. № 2006108369/03 ; заявл. 16.03.06 ; опубл. 10.01.06, Бюл. № 1. 5 с.

цельнотянутой, рукавной, с толщиной стенок 0,20 мм, с герметизационным узлом 4 в нижней ее части (рис. 4.1, а).

Приемный цилиндр устанавливают 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. Верхний конец гидроизоляционной оболочки пропускают через внутреннее отверстие приемного цилиндра, отбортовывают на внешней его поверхности и зажимают обручем. Затем опускают боевик 8, закрепленный на проводнике инициирующего импульса 9.

Формирование нижней части заряда 10 производят подачей ВВ через воронку в гидроизоляционную оболочку (рис. 4.1, б), в результате чего ВВ заполняет скважину по всему сечению, прижимая к ее стенкам гидроизоляционную оболочку по всей длине заряда.

После образования нижней части заряда через воронку в гидроизоляционную оболочку подают вспененный полистирол и формируют воздушный промежуток 11 до заданного уровня (рис. 4.1, в). Затем выполняют верхнюю часть заряда 12 с боевиком 13 на проводнике инициирующего импульса 14 (рис. 4.1, г). По окончании создания верхней части заряда через воронку в гидроизоляционной оболочке формируют второй воздушный промежуток 15 из вспененного полистирола до забойки 16 (рис. 4.1, д). После этого верхний конец гидроизоляционной оболочки освобождают от приемного цилиндра, собирают вместе с проводниками инициирующего импульса в пучок, укладывают на поверхность уступа и размещают забойку поверх гидроизоляционной оболочки, удерживая ее верхний конец от увлечения забойкой (рис. 4.1, е).

Таким сформированный заряд с воздушными промежутками остается и после заполнения скважины 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. 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 около 40 % общего объема скважины, занятой воздушным промежутком. Две трети объема воздушного промежутка сохраняют воздух внутри гранул вспененного полистирола, объем которого, как мы указывали выше, достигает 98 %. Вспененный полистирол устойчив к действию влаги, не гигроскопичен, устойчив к действию агрессивных минеральных сред, слабых и сильных кислот. Проверка в лабораторных условиях подтвердила его устойчивость и к дизельному топливу в течение нескольких суток. Поэтому могут быть использованы простейшие ВВ типа игданитов, имеющие низкие скорости детонации. Кроме того, применение такой технологии позволит использовать низкоплотные ВВ в виде смеси штатных ВВ с пенополистиролом, поскольку при взрывании мерзлых пород наиболее эффективны именно ВВ со скоростями детонации не более 2 000...2 500 м/с<sup>1</sup>.

## 4.2. Формирование комбинированных рассредоточенных зарядов ВВ

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

### 4.2.1. Формирование комбинированного рассредоточенного заряда в неосушенной скважине

В конце прошлого века на крупнейшем железорудном карьере бассейна Курской магнитной аномалии – Лебединском – широко применяли способ отдельного формирования комбинированного заряда ВВ<sup>2</sup>. Отличительная его особенность заключалась в том, что водоустойчивым ВВ перекрывают не весь уровень воды в скважине. На перекрытие каждого метра воды требуется три метра высоты водоустойчивого ВВ, поэтому в скважину заряжают водоустойчивое ВВ только на высоту замеренного уровня воды, а после спада до статического уровня вытесненной зарядом вверх

---

<sup>1</sup> *Технология горных и буровзрывных работ в сложных гидрогеологических и гео-криологических условиях разреза «Восточный».* С. 376.

<sup>2</sup> *Техника и технология заряжания обводненных скважин на карьерах КМА / А. Т. Калашников [и др.] // Взрывное дело. 1986. № 89/46. С. 231–237.*

по скважине воды (процесс длится от нескольких часов до нескольких суток) заряжают неводоустойчивое ВВ на всю высоту расчетной колонки заряда.

Такой способ позволил втрое сократить величину заряда дорогостоящего водоустойчивого тротила. Особенно ощутимы преимущества отдельного заряжания в случае применения скважин с котловыми, когда вместимость котловой полости достигает 170...190 кг/м и более <sup>1</sup>. Недостатком этого способа является необходимость повторного подхода зарядной машины к скважине после спада воды до статического уровня через несколько часов или суток для последующей дозарядки скважины неводоустойчивым ВВ.

Мы считаем целесообразным использовать принцип отдельного заряжания при формировании рассредоточенных зарядов только в частично обводненных скважинах с высотой столба воды ниже расчетной глубины установки воздушного промежутка <sup>2</sup>.

Вначале замеряют уровень воды 1 в скважине 2 (рис. 4.2). Затем формируют нижнюю часть заряда из водостойкого ВВ 3, например гранулолота, на высоту уровня воды или с превышением в 1...2 диаметра заряда, размещая в нем боевик 4, на ДШ или волноводе 5. Практика ведения взрывных работ показала, что при этом вода вытесняется вверх по скважине на 0,6 высоты столба воды, поскольку для полного перекрытия столба воды в один метр необходим заряд ВВ высотой 3 м.

После этого ожидают спада воды, вытесненной в процессе формирования нижней части заряда вверх по скважине до уровня б, по трещинам массива до статического уровня. Длительность спада от нескольких часов до нескольких суток – в зависимости от степени трещиноватости массива горных пород. Обычно скорость понижения уровня воды на различных горизонтах карьера заранее устанавливаются опытными промерами. После спада воды до статического уровня формируют воздушный промежуток 7 из вспененного полистирола. Здесь возможны два варианта действий. Если статический уровень воды примерно совпадает с нижней границей воз-

---

<sup>1</sup> *Снижение расхода тротила при взрывании горных пород в обводненных условиях* / А. И. Дремин, А. И. Клейн, А. Л. Требуков, Е. Б. Шевкун // Горный журнал. 1985. № 9. С. 45–46.

<sup>2</sup> *Способ формирования рассредоточенных зарядов взрывчатых веществ в частично обводненных скважинах* : пат. 2310158 Рос. Федерация. № 200610360/03 ; заявл. 07.02.06 ; опубл. 10.11.07, Бюл. № 31. 6 с.

душного промежутка, его формируют непосредственно на нижнюю часть заряда из водостойкого ВВ подачей вспененного полистирола из мерной емкости или дозатора зарядной машины. В случае существенного превышения уровня установки воздушного промежутка относительно статического уровня воды над нижним зарядом из водостойчивого ВВ формируют заряд неводостойчивого ВВ  $\delta$ , например граммонита 79/21, до нижней границы воздушного промежутка, а затем формируют воздушный промежуток из вспененного полистирола.

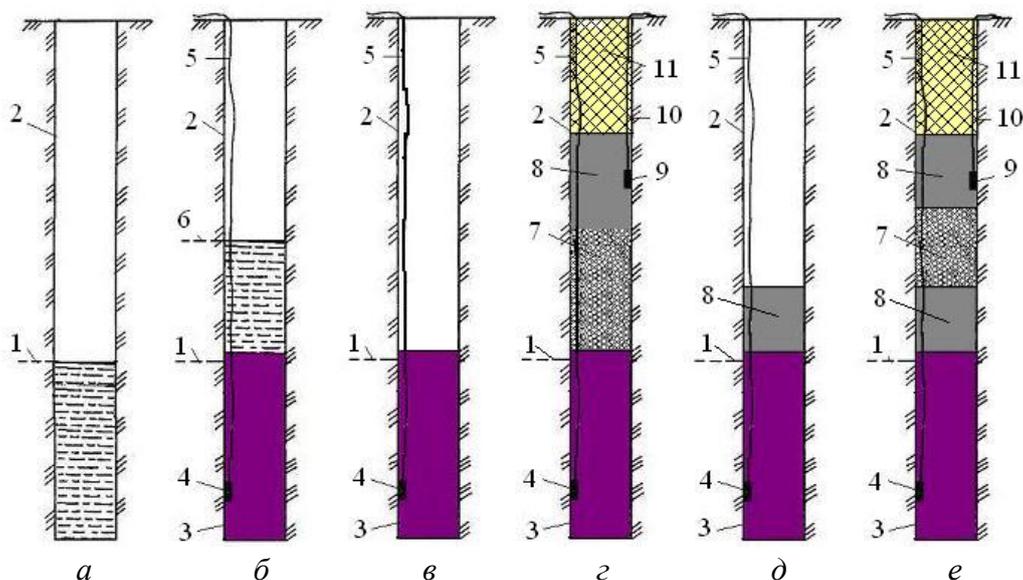


Рис. 4.2. Схема формирования комбинированного рассредоточенного заряда в частично обводненной скважине:

- а* – скважина, подготовленная к заряданию; *б* – формирование нижней части заряда ВВ;  
*в* – положение после спада воды до статического уровня;  
*г* – сформированный заряд с воздушным промежутком при совпадении уровней воды и воздушного промежутка;  
*д* – дозарядка неводостойчивого ВВ до уровня установки воздушного промежутка;  
*е* – сформированный заряд с воздушным промежутком при превышении воздушного промежутка над уровнем воды в скважине

Наши замеры показали, что в скважине диаметром 115 мм на длине 1 м помещается 10 л вспененного полистирола, при диаметре 165 мм – 20 л. После достижения заданной высоты воздушного промежутка формируют верхнюю часть заряда из неводостойчивого ВВ, размещая в нем второй боевик 9 на ДШ или волноводе 10. После этого формируют забойку 11.

Нам представляется достаточно интересным способ формирования комбинированного заряда ВВ, когда в скважину заряжают водостойчивое

ВВ, например гранулотол, на определенную высоту, затем на зеркало вытесненной воды размещают промежуток из вспененного полистирола, выполняющего роль поплавка, а на него размещают неводоустойчивое ВВ и забойку<sup>1</sup>.

Такой способ позволяет сэкономить 2,5...3,0 м колонки заряда водоустойчивого ВВ на каждый метр оставленной над ним воды, заменив его более дешевым неводоустойчивым ВВ. Недостатком этого способа является создание вместо воздушного промежутка водно-воздушного, в котором осуществление классической схемы и преимуществ воздушных промежутков достаточно проблематично.

Для устранения этого недостатка и создания полноценного воздушного промежутка нами разработан способ формирования комбинированного заряда ВВ, при котором воздушный промежуток из пенополистирола вначале также устанавливается на зеркало воды в скважине<sup>2</sup>. Суть способа в следующем (рис. 4.3). При обнаружении в скважинах 1 воды 2 измеряют уровень воды 3 ( $h_B$ ) и оценивают возможность применения предлагаемого способа из условия

$$L_c = L_{зар} + h_{выт}, \quad (4.1)$$

где  $L_c$  – глубина скважины, м;  $L_{зар}$  – общая длина комбинированного заряда, м;  $h_{выт}$  – высота столба вытесненной воды.  $h_{выт} = 0,6h_B$  м.

Это условие вытекает из того положения, что пористость заряда или его пустотность между гранулами ВВ, в которую может проникать вода, составляет, по нашим замерам, 38...42 %. Иными словами, при уровне воды в 1 м и засыпании гранулированного ВВ на этот уровень столб воды, как мы указывали выше, поднимется над зарядом на 0,6 м. Так, при длине столба воды  $h_B = 5$  м  $h_{выт}$  составит 3 м.

Обычно длина забойки должна быть не менее 0,3 длины скважины, а  $h_{выт}$  не может быть больше длины забойки, тогда из равенства  $h_{выт} = 0,3L_c$  высота столба воды в скважине не может быть больше половины ее длины. Если указанное условие для данной скважины соблюдается, формируют заряд 4 из водостойкого ВВ, например гранулотола, на высоту уровня воды. При этом размещают в нем боевик 5 на ДШ или детонирующей ленте 6, опуская их со слабиной. Затем на зеркало вытесненной воды размещают

<sup>1</sup> Юматов Б. П., Шебаршов А. А., Власов В. М. Указ. соч. С. 185.

<sup>2</sup> Способ формирования комбинированного заряда в частично обводненной скважине : пат. 2314486 Рос. Федерация. № 2006108373/03 ; заявл. 16.01.06 ; опубл. 10.01.08, Бюл. № 1. 5 с.

промежуток из вспененного полистирола 7. Причем высота этого промежутка может составлять, как показали исследования <sup>1</sup>, два-три диаметра скважины (меньшая величина для скважин меньшего диаметра), если он выполняет только роль «поплавка» для удержания над зеркалом воды заряда 8 из неводоустойчивого ВВ.

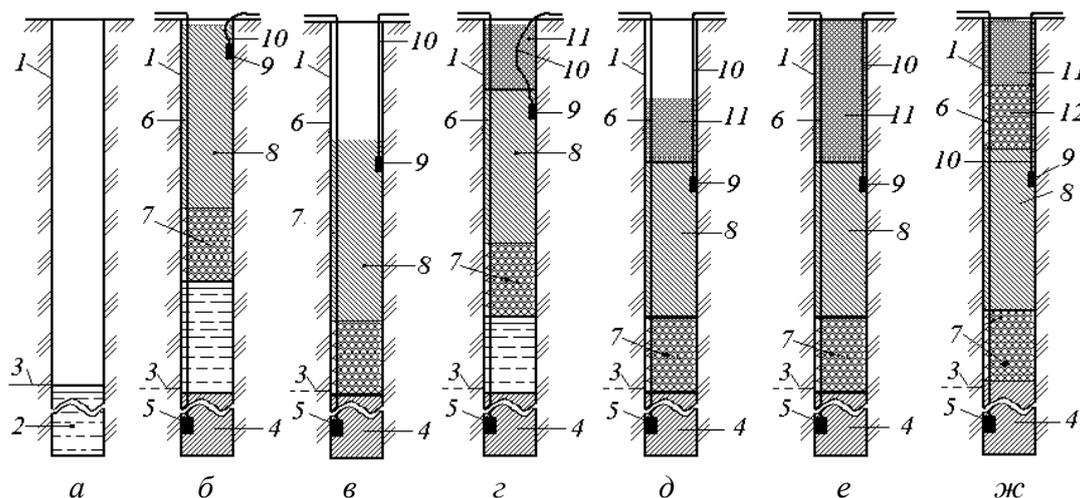


Рис. 4.3. Схема формирования комбинированного заряда в частично обводненной скважине:

- а* – скважина, подготовленная к заряданию;
- б* – формирование заряда из неводоустойчивого ВВ на промежутке из вспененного полистирола при предельном уровне воды;
- в* – положение после спада воды до статического уровня;
- г* – формирование заряда из неводоустойчивого ВВ на промежутке из вспененного полистирола при небольшом уровне воды;
- д* – положение после спада воды до статического уровня; *е* – сформированный заряд;
- ж* – сформированный заряд с воздушным промежутком под забойкой

В случае формирования из вспененного полистирола воздушного промежутка его высота принимается по расчету (как правило, 8...12 диаметров скважины). На этот промежуток из вспененного полистирола формируют заряд, размещают в его верхней части боевик 9 на ДШ или волноводе 10, при этом ДШ или волновод размещают со значительной слабикой, соответствующей высоте уровня вытесненной воды. На этом работа с взрывчатыми материалами заканчивается, и зарядные машины покидают блок.

Если уровень воды в скважине максимальный для предложенного способа, заряд 8 достигает устья скважины, если уровень воды ниже макси-

<sup>1</sup> Юматов Б. П., Шебаршов А. А, Власов В. М. Указ. соч. С. 188.

му, на заряд размещают часть или всю забойку 11. В случае необходимости между зарядом и забойкой формируют дополнительный воздушный промежуток 12 из пенополистирола. По мере спада воды до замеренного уровня плавающие на промежутке из пенополистирола заряд с забойкой оседают на заряд из водостойкого ВВ, образуя единый комбинированный заряд. При этом волновод или ДШ 10 вытягивается за счет своей значительной слабину. Детонирующий шнур б при небольшом уровне воды или детонирующая лента б при максимальном уровне выбирают слабины. За счет высокой прочности на разрыв (до 500 Н) детонирующая лента выдерживает значительную усадку заряда с забойкой. Время спада воды, занимающее от нескольких часов до нескольких десятков часов, устанавливают предварительно экспериментальными замерами. После выдерживания этого интервала по конкретному блоку формируют или добавляют забойку до расчетного уровня по каждой скважине блока.

Таким образом, предложенный способ формирования комбинированного заряда в частично обводненной скважине позволяет снизить время пребывания взрывного персонала и техники с ВМ на блоках, обеспечивает ускоренное формирование комбинированного заряда, а также существенную экономию водостойчивых ВВ.

Затраты времени на зарядку можно дополнительно снизить, если исключить повторную добавку забойки, установив сразу распорную металлическую или иной конструкции забойку. Исходя из этой посылки, нами предложен способ формирования комбинированного заряда и металлическая забойка для его осуществления <sup>1</sup>.

Обнаружив в скважинах 1 воду 2 (рис. 4.4, а), замеряют ее уровень 3 и оценивают возможность применения способа по условию (4.1). Если способ применим, формируют заряд 4 из водостойкого ВВ на высоту уровня воды, устанавливают в нем боевик 5 на ДШ или детонирующей ленте б со слабиной. На зеркало вытесненной воды размещают пенополистирол 7, на него формируют заряд 8 с боевиком 9 на проводнике иницирующего импульса 10 (ДШ или волновод), удлинённым на высоту вытесненной воды.

На этом работа с взрывчатыми материалами заканчивается, и зарядные машины покидают заряжаемый блок. На заряд 8 размещают металлическую забойку 11, включающую цилиндрический корпус 12 диаметром на

---

<sup>1</sup> Способ формирования комбинированного заряда и металлическая забойка для его осуществления : пат. 2312300 Рос. Федерация. № 2006108299/03 ; заявл. 16.03.06 ; опублик. 10.12.07, Бюл. № 34. 10 с.

4...8 мм меньше диаметра скважины (рис. 4.5). Корпус имеет с обеих сторон конические расширения 13 с продольными прорезями 14 и боковую проточку 15 для пропуска ДШ или детонирующей ленты 6.

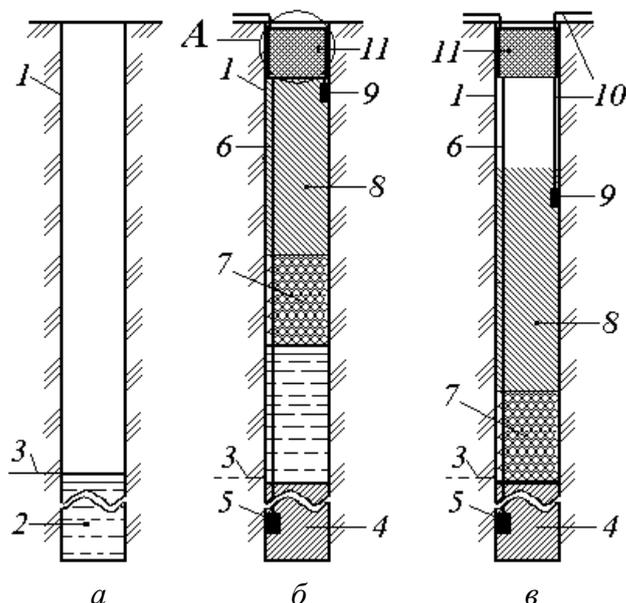


Рис. 4.4. Схема формирования комбинированного заряда в частично обводненной скважине:

*a* – скважина, подготовленная к заряданию; *б* – формирование заряда из неводоустойчивого ВВ на промежуток из вспененного полистирола при предельном уровне воды; *в* – сформированный заряд с воздушным промежутком под забойкой

В конические расширения снизу вставлен полый распорный конус 16, соединенный с толстостенной трубой 17, снабженной гайкой 18, а сверху – коническая пробка 19 с осевым каналом 20 и выемкой 21. В выемке 21 выполнены отверстия 22 под съемную монтажную петлю 23 или штифт 24 съемной крышки 25, а также выступ 26 под язычок 27 механического замка 28. Съемная монтажная петля снабжена гибкой связью 29.

На поверхности блока металлическую забойку собирают в конструктивный элемент. Для этого вставляют полый распорный конус с толстостенной трубой в нижнее коническое расширение и пропускают толстостенную трубу через корпус. Затем на нее через осевой канал надевают коническую пробку 19 с вставленной монтажной петлей и гибкой связью и накручивают гайку, подтягивая навстречу друг другу полый распорный конус и коническую пробку до соприкосновения их с коническими расширениями. Через толстостенную трубу пропускают проводник иницирующего импульса и за монтажную петлю с помощью гибкой связи, обладаю-

щей достаточной прочностью и мягкостью на сгиб, металлическую забойку опускают в скважину на глубину вытянутой руки. При этом ДШ или детонирующую ленту от нижнего боевика пропускают через проточку в корпусе. Затем гайкой 18 с помощью торцового ключа типа баллонного ключа грузового автомобиля стягивают полый распорный конус и коническую пробку до распора ими корпуса 12 в стенке скважины 1.

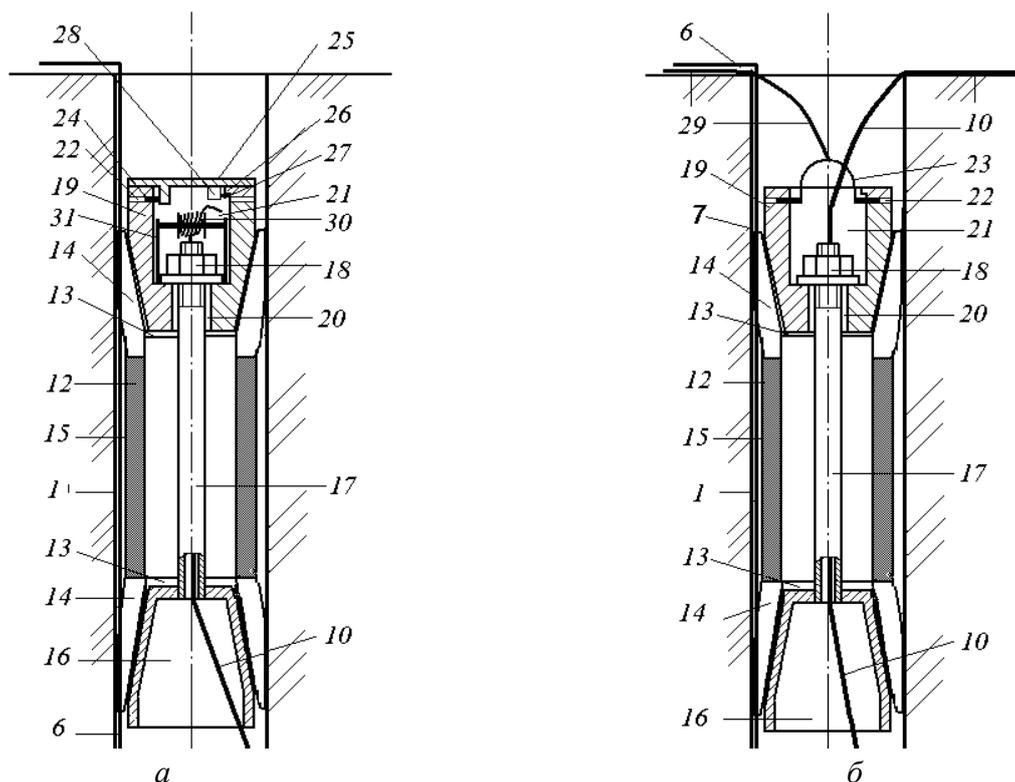


Рис. 4.5. Металлическая забойка (вид А на рис. 4.4, б) после формирования заряда (а) и после монтажа взрывной сети (б)

После этого снимают съемную монтажную петлю с гибкой связью, освобождая отверстия 22, проводник инициирующего импульса наматывают на катушку 30 и размещают ее в выемку 21 на подставке 31. Вставляют штифт съемной крышки в отверстие 22 и закрывают крышку до защелкивания язычка механического замка за выступ 26. Проводник инициирующего импульса надежно защищен: устройство установлено достаточно глубоко в узкой скважине – на глубину вытянутой руки человека, крышка заперта замком, на ней отсутствуют какие-либо выступы, монтажная петля снята. Выполнение крышки по диаметру конической пробки без выступов защищает ее от возможных попыток вскрытия. В процессе спада воды до статического уровня плавающий на промежутке из вспененного полисти-

рола заряд 8 оседает на заряд 4 из водостойкого ВВ, образуя единый комбинированный заряд. При этом проводник инициирующего импульса постепенно сматывается с катушки. После выдерживания интервала времени, необходимого для спада воды по данному конкретному блоку, приступают к монтажу взрывной сети.

Перед началом монтажа взрывной сети взрывник опускает руку в скважину, отпирает механический замок на крышке металлической забойки, вынимает съемную крышку, используя ключ в замке в качестве ручки, убирает ее для повторного использования и устанавливает в металлическую забойку данной скважины съемную монтажную петлю с гибкой связью. Затем он вынимает из выемки в конической пробке подставку с катушкой, сматывает с нее остатки проводника инициирующего импульса и приступает к монтажу поверхностной взрывной сети.

Завершив монтаж взрывной сети, с помощью гибкой связи соединяют металлическую забойку каждой скважины с соединительным элементом 32, например изношенной автомобильной шиной, обладающей высокой прочностью и упругостью при деформациях (рис. 4.6). При этом к одному соединительному элементу подсоединяют гибкие связи только от взрывааемых в одной ступени замедления скважин, что позволяет снизить динамические нагрузки на гибкие связи и соединительные элементы.

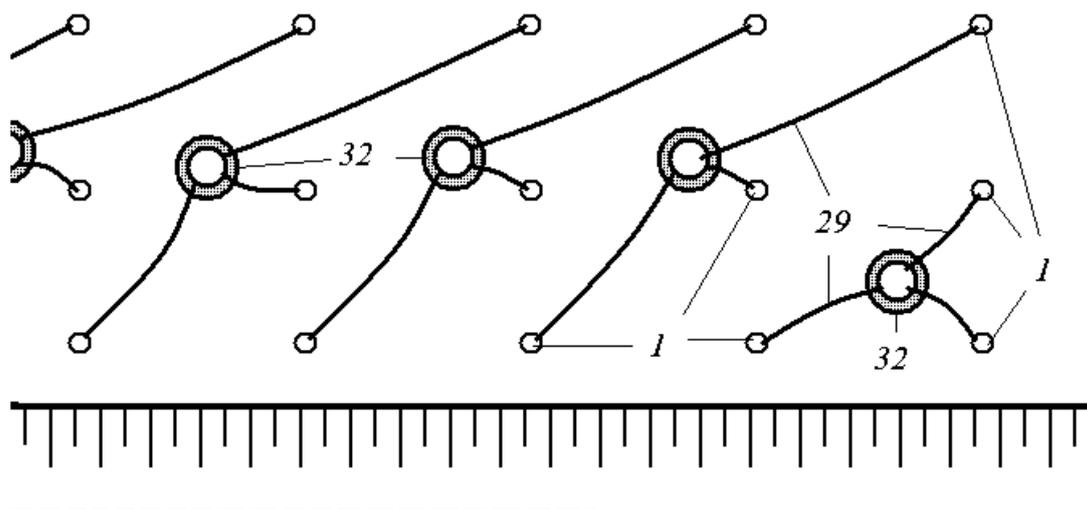


Рис. 4.6. Расположение соединительных элементов на поверхности блока при диагональной схеме взрывания

После окончания процедуры присоединения забоек к соединительным элементам производят массовый взрыв блока.

После детонации заряда ВВ в зарядной полости резко возрастает давление продуктов детонации до величин в несколько десятков тысяч атмосфер и происходит динамический удар газов по полному распорному конусу.

Корпус забойки в первый момент после детонации заряда остается неподвижным, поскольку продукты детонации воздействуют лишь на узкое кольцо нижней части конического расширения. Полный распорный конус за счет большой торцевой поверхности (в десятки раз большей, чем площадь кольца конического расширения) воспринимает значительные усилия, что приводит к немедленному вдавливанию его в нижнее коническое расширение и окончательному заклиниванию корпуса в скважине.

Это положение было проверено экспериментальным взрывом с металлической забойкой на скважинах диаметром 115 мм. Диаметр корпуса составил 110 мм, толщина его на срезе нижней части конического расширения – около 1 мм, площадь кольца, воспринимающего давление продуктов детонации, составила  $1,7 \text{ см}^2$ , в то время как площадь полого распорного конуса составила около  $95 \text{ см}^2$  – в 56 раз больше. После взрыва следов скольжения по скважине на наружной поверхности корпуса не обнаружено, что подтвердило надежность распора корпуса металлической забойки в стенке скважины до начала их разрушения.

Толстостенная труба при подвижке полого распорного конуса внутрь корпуса свободно смещается вверх в осевом канале, не нарушая положения конической пробки, расклинившей верхнюю часть корпуса в стенки скважины. Таким положение металлической забойки остается вплоть до прорыва продуктов детонации из зарядной полости в атмосферу через образующиеся в разрушаемом массиве трещины и начала разрушения стенок скважин. Прорыв газов через трещины массива снимает давление в скважине, а разрушающиеся стенки скважин снимают распор с корпуса металлической забойки и она выбрасывается из скважины остаточным давлением продуктов взрыва на поверхность развала горной массы. После взрыва металлические забойки с помощью соединительных элементов убирают с поверхности взорванной горной массы, например бульдозером.

### 4.2.2. Формирование рассредоточенного заряда в осушенной скважине

Формирование воздушного промежутка из пенополистирола технически существенно упрощается и происходит как в обычной сухой скважине, однако здесь необходимо учитывать статический уровень воды. Ознакомимся со способами формирования комбинированного рассредото-

ченного заряда ВВ в осушенной от воды скважине (рис. 4.7). В скважине 1, содержащей воду 2, замеряют уровень воды 3 и проводят ее осушение одним из известных способов.

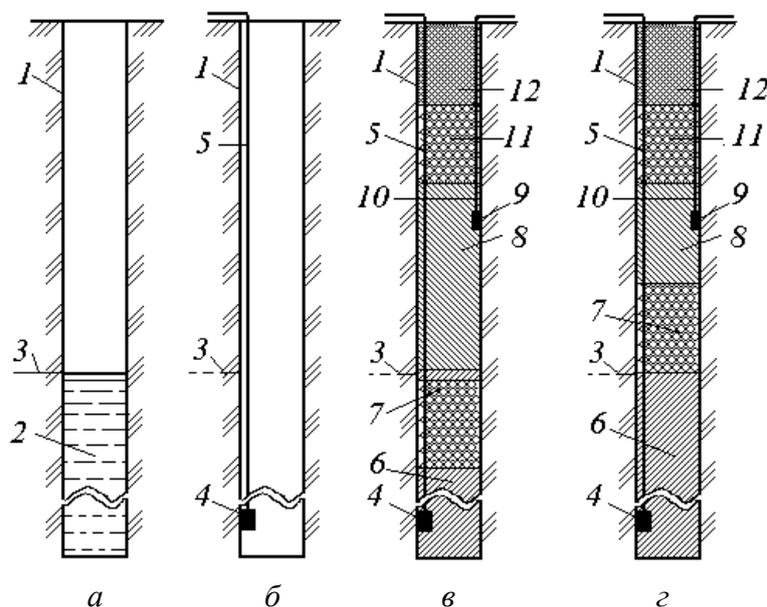


Рис. 4.7. Схема формирования комбинированного рассредоточенного заряда ВВ в обводненной скважине:

*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

В осушенную скважину размещают боевик 4 на проводнике инициирующего импульса 5 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 на нижнюю часть заряда 6 из водостойкого ВВ формируют верхнюю часть заряда 8 из неводоустойчивого ВВ до уровня установки воздушного промежутка, воздушный промежуток 7 – из вспененного полистирола и потом завершают формирование верхней части заряда.

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 из водостойкого ВВ до нижней границы воздушного промежутка. Затем формируют воздушный промежуток из вспененного полистирола расчетной высоты. После достижения заданной высоты воздушного промежутка далее формируют нижнюю часть заряда из водостойкого ВВ до уровня воды и верхнюю часть заряда из неводоустойчивого ВВ, размещая в нем второй боевик 9 на проводнике иницирующего импульса 10. Формируют второй воздушный промежуток 11 между комбинированным зарядом ВВ и забойкой и саму забойку 12.

Если статический уровень воды восстанавливается после формирования верхней части заряда, то вода лишь заполнит пустоты между гранулами вспененного полистирола.

#### 4.2.3. Определение условий применения комбинированного рассредоточенного заряда ВВ

Если 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 создания воздушного промежутка, или следует использовать способ формирования в гидроизоляционную оболочку.

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

$$F = \frac{\pi D^2}{4} h_b \gamma_w g (1 - k_3), \quad (4.2)$$

где  $D$  – диаметр скважины, м;  $h_b$  – высота обводненной части столба пенополистирола;  $\gamma_w$  – объемная масса воды, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $k_3$  – коэффициент заполнения воздушного промежутка скважины пенополистиролом.

Удерживающая сила столба пенополистирола определится следующим образом. Выделим элементарный слой пенопласта высотой  $dx$  (рис. 4.8) и запишем для него условие равновесия

$$\frac{dp}{dx} dx - dT - dG = 0, \quad (4.3)$$

где  $p(x)$  – осевое сопротивление пенополистирола перемещению в сечении скважины с координатой  $x$ , отсчитываемой по оси скважины от нижней границы столба пенополи-

стирола;  $dT$  – сила, учитывающая трение и сцепление между стенками скважины и пенополистиролом;  $dG$  – сила тяжести элемента.

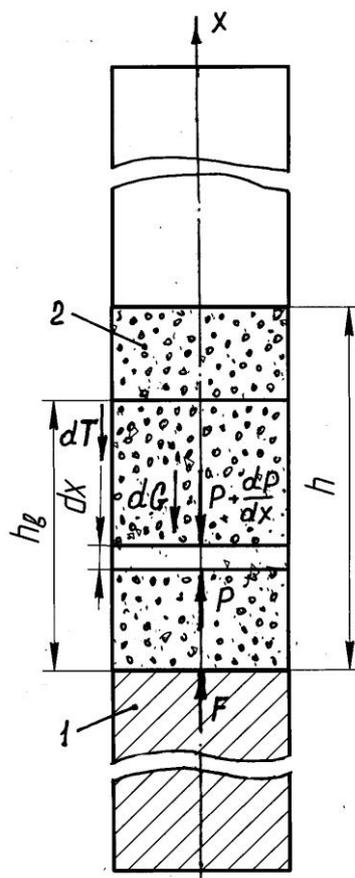


Рис. 4.8. Схема сил, действующих на столб пенополистирола в обводненной скважине при формировании заряда ВВ:  
1 – нижний заряд ВВ; 2 – пенополистирол

Сила трения и сцепления

$$dT = \pi D \left( C_0 + f \lambda \frac{4p}{\pi D^2} \right) dx, \quad (4.4)$$

где  $C_0$  – сцепление, Па;  $f$  – коэффициент трения;  $\lambda = \operatorname{tg}^2 \left( \frac{90 - \varphi}{2} \right)$  – коэффициент бокового распора;  $\varphi$  – угол внутреннего трения пенополистирола.

Сила тяжести элемента

$$dG = \frac{\gamma_n g \pi D^2 dx}{4}, \quad (4.5)$$

где  $\gamma_n$  – насыпная масса пенополистирола, кг/м<sup>3</sup>.

Подставив (4.4) и (4.5) в (4.3), получим дифференциальное уравнение осевого сопротивления

$$\frac{dp}{dx} - \frac{4f\lambda}{D} p = \pi D \left( C_0 + \frac{\gamma_n g D}{4} \right). \quad (4.6)$$

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

тогда (4.6) примет вид

$$\frac{dp}{dx} = ap + b. \quad (4.7)$$

Разделим переменные  $dp$  и  $dx$ :

$$\frac{dp}{ap + b} = dx. \quad (4.8)$$

Примем

$$ap + b = z. \quad (4.9)$$

$$a dp = dz; \quad dp = \frac{dz}{a}. \quad (4.10)$$

Подставим (4.9) и (4.10) в (4.8) и проинтегрируем

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

$$\ln z = ax + \ln C, \quad (4.11)$$

где  $C$  – постоянная интегрирования.

При  $x = 0$

$$\ln z_0 = \ln C. \quad (4.12)$$

Подставим (4.12) в (4.11)

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

С учетом подстановки (4.9) запишем

$$ap + b = \left( p_0 + b \right) e^{ax}. \quad (4.13)$$

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

$$p = p_0 e^{ax} + \frac{b}{a}(e^{ax} - 1) \quad (4.14)$$

При  $p_0 = 0$  выражение (4.14) примет вид

$$p = \frac{b}{a}(e^{ax} - 1)$$

и с учетом подстановок (4.7) и (4.8):

$$p = \frac{\pi D^2 \left( C_0 + \frac{\gamma_n g D}{4} \right)}{4 f \lambda} \left( e^{\frac{4 f \lambda h}{D}} - 1 \right) \quad (4.15)$$

Так как насыпная масса пенополистирола очень незначительна, примем  $\gamma_n = 0$ , тогда (4.15) запишется

$$p = \frac{\pi D^2 C_0}{4 f \lambda} \left( e^{\frac{4 f \lambda h}{D}} - 1 \right) \quad (4.16)$$

Приравняв выталкивающую силу воды  $F$  из (4.2) и удерживающую силу столба пенополистирола  $P$  в (4.16), определим отношение высоты столба пенополистирола  $h$  к диаметру скважины  $D$ , при котором столб пенополистирола не будет всплывать:

$$\frac{h}{D} = \frac{\ln \left( h_0 \frac{g \gamma_0 (-k_3) f \lambda}{C_0} + 1 \right)}{4 f \lambda} \quad (4.17)$$

Для удобства анализа (4.17) первое слагаемое числителя умножим и разделим на  $h$ :

$$\frac{h}{D} = \frac{\ln \left( \frac{h_0}{h} \frac{g \gamma_0 (-k_3) f \lambda}{C_0} h + 1 \right)}{4 f \lambda} \quad (4.18)$$

Наглядно подтверждают наши расчеты графики (рис. 4.9), где четко прослеживается, что с увеличением трения и сцепления допустимая высота обводнения столба пенополистирола в скважине увеличивается.

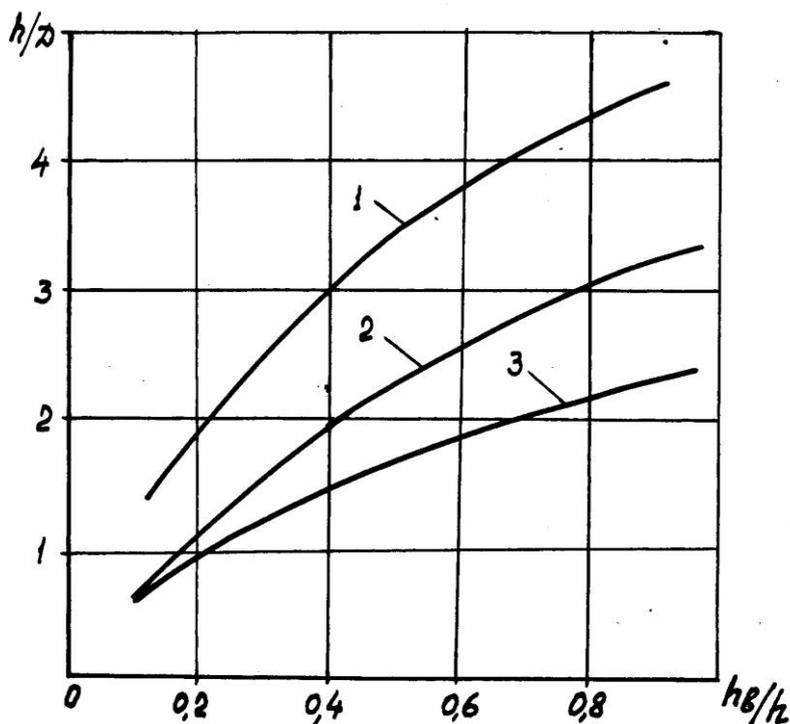


Рис. 4.9. Зависимости отношения высоты столба пенополистирола  $h$  к диаметру скважины  $D$  от относительной высоты обводненной части столба пенополистирола  $h_b/h$ , при которых столб пенополистирола не будет всплывать:  
 1 —  $f\lambda = 0,1$ ,  $C = 50 \text{ Па}$ ; 2 —  $f\lambda = 0,1$ ,  $C = 100 \text{ Па}$ ; 3 —  $f\lambda = 0,2$ ,  $C = 100 \text{ Па}$

#### 4.2.4. Лабораторные исследования условий применения комбинированного рассредоточенного заряда ВВ

Для проверки полученных расчетных зависимостей были проведены лабораторные исследования. В двухлитровый стеклянный цилиндр диаметром 7,8 см засыпали пенополистирол до заданного уровня, после чего отдельными порциями в цилиндр заливали воду (рис. 4.10). 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.

Рассмотрим теперь изменение относительной высоты столба пенополистирола от относительной высоты обводненной части  $h_b/h$  (рис. 4.11). По мере обводнения скважины высота столба пенополистирола уменьшается

на  $\Delta h$ . Когда уровень воды достиг  $0,76h$ , столб пенополистирола начал всплывать и на отметке уровня воды  $0,87h$  верхний уровень столба пенополистирола поднялся на величину  $0,19h$ .

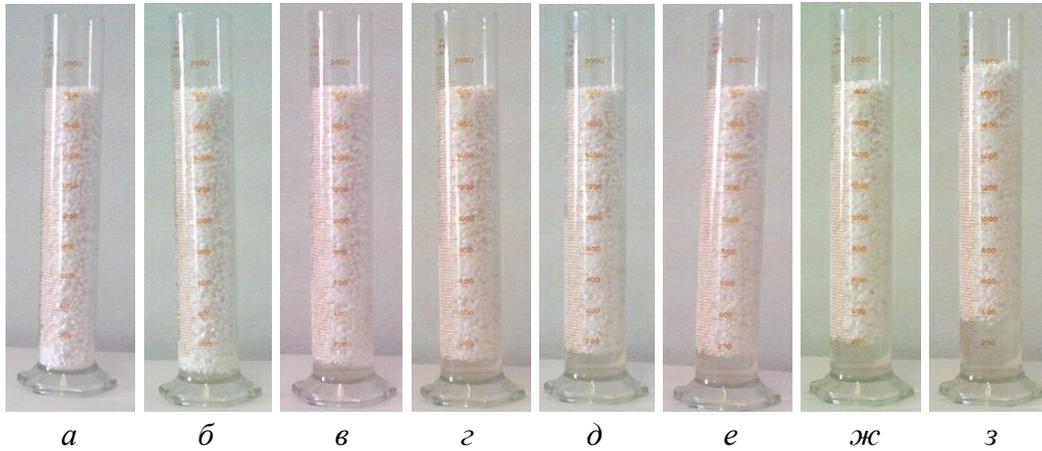


Рис. 4.10. Лабораторные исследования сопротивления столба пенополистирола выталкивающей силе воды:

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

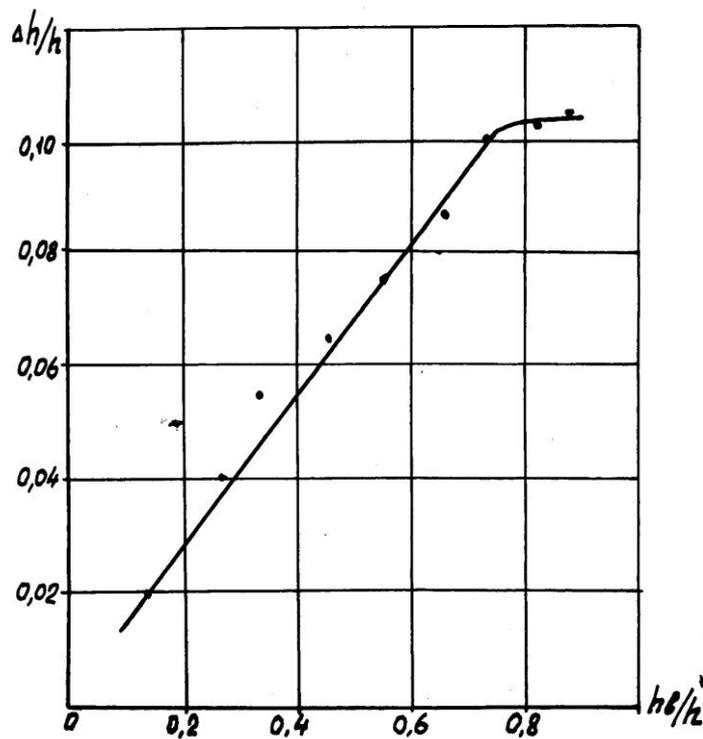


Рис. 4.11. Зависимость изменения относительной высоты столба  $\Delta h/h$  пенополистирола от относительной высоты обводненной части  $h_0/h$  при  $h/D = 4,86$

Таким образом, для заданных условий эксперимента при  $\frac{h}{D} = 4,86$  столб пенополистирола всплыл при отношении  $\frac{h_g}{h} \approx 0,8$ .

Если сравнивать полученные данные с графиками, приведенными выше на рис. 4.9, 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 (4.18) примет вид

$$\frac{h}{D} = \frac{\ln\left(\frac{g\gamma_g (-k_z) f_{вл} \lambda_{вл} h_g + 1}{C_{0вл}}\right)}{4f_{вл} \lambda_{вл}} + \frac{\ln\left(\frac{g\gamma_g (-k_z) f_c \lambda_c (-h_g) + 1}{C_{0c}}\right)}{4f_c \lambda_c},$$

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

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

### 4.3. Определение водонасыщения воздушных промежутков из пенополистирола

Для установления возможности применения пенополистирола в качестве воздушных промежутков в обводненных скважинах следует определить его водопоглощение. Известно, что водонасыщение отдельных гранул вспененного полистирола практически отсутствует – каждая отдельная гранула покрыта плотной оболочкой, а вот водонасыщение насыпной массы пенополистирола, заполняющей воздушный промежуток в скважине, может быть значительным, поскольку замеренная нами в лабораторных условиях пористость насыпного пенополистирола достигает 40 %. И это водонасыщение влияет как на количество применяемого водоустойчивого ВВ, так и на занимаемую высоту и эффективность воздушного промежутка (имеется в виду именно объем воздуха в нем).

### 4.3.1. Теоретическое определение водонасыщения воздушных промежутков из пенополистирола

Безусловно, объемно-плотностные характеристики гранулированных материалов сложным образом зависят от их плотности, гранулометрического состава, формы и размера зерен, влажности и др.<sup>1</sup> В связи с тем, что характеристики гранул вспененного полистирола в значительной степени отличаются, например, от гранулотола, нами проведены исследования пустотности упаковки смесей именно пенополистирола. Водонасыщение фракционированного пенополистирола в обводненной скважине определялось следующим образом (рис. 4.12).

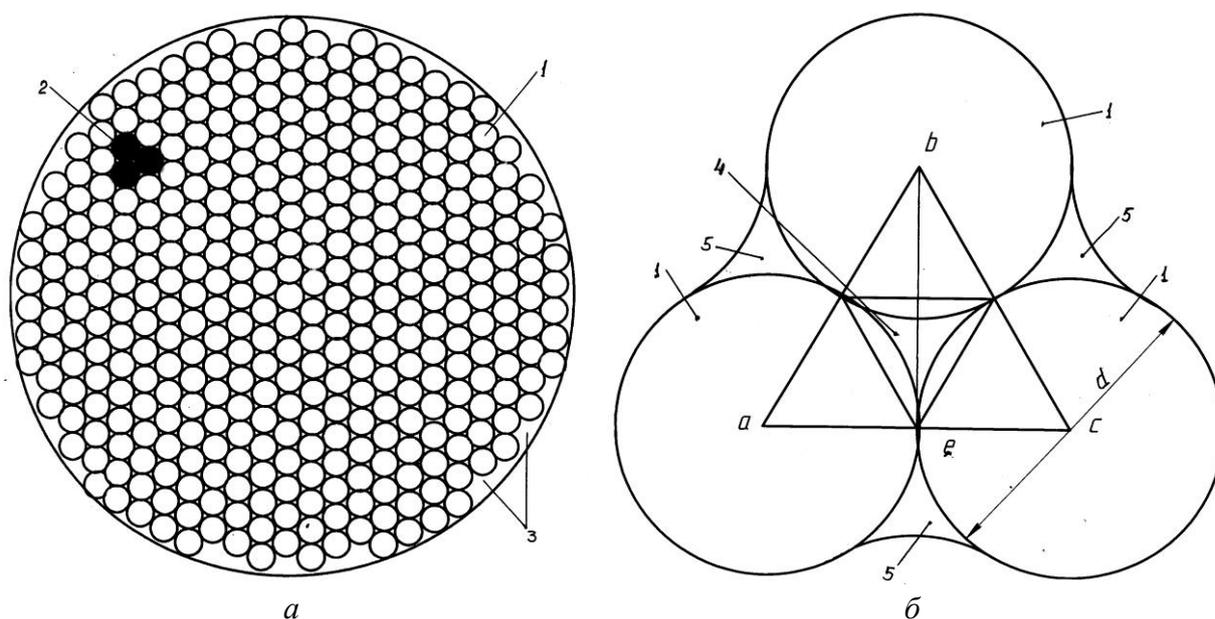


Рис. 4.12. Схема расположения гранул пенополистирола в скважине:

$a$  – сечение скважины;  $b$  – схема для расчета площади ячейки;

$1$  – гранула пенополистирола;  $2$  – ячейка;  $3$  – пустоты между стенками скважины и гранулами;

$4, 5$  – пустоты между гранулами

Принимаем допущение, что диаметр гранул пенополистирола одинаков и равен  $d$ . Для того, чтобы определить количество гранул, помещающихся в поперечном сечении скважины диаметром  $D$ , выделим элементарную ячейку, состоящую из трех гранул. Площадь, занимаемая такой ячейкой, складывается из проекции трех шаровидных гранул на горизонтальную

<sup>1</sup> *Меньшиков Б. А.* К расчету плотности и пустотности смесей гранулированных материалов // Взрывное дело. 1974. № 74/31. С. 84–91.

плоскость и площади четырех воздушных промежутков (одного центрального и трех боковых).

Площадь проекции трех гранул на горизонтальную плоскость

$$F_{\Gamma} = \frac{3\pi d^2}{4} = 2,355d^2.$$

Площадь воздушного промежутка между тремя гранулами

$$F_{\Pi} = F_{\Delta abc} - F_{\text{ск}},$$

где  $F_{\Delta abc}$  – площадь треугольника  $abc$ .

$$F_{\Delta abc} = \frac{ac \cdot be}{2} = \frac{d^2 \sin 60}{2} = 0,435d^2,$$

где  $ac$  и  $be$  – основание и высота равностороннего треугольника  $abc$ .

Площадь  $F_{\text{ск}}$  трех секторов с центральным углом, равным  $60^\circ$ :

$$F_{\text{ск}} = \frac{3\pi d^2}{4 \cdot 6} = \frac{\pi d^2}{8} = 0,393d^2.$$

Таким образом, площадь воздушного промежутка между тремя гранулами пенополистирола

$$F_{\Pi} = 0,435d^2 - 0,393d^2 = 0,042d^2.$$

Пустоты такой же площади образуются и по краям ячейки, всего пустот в ячейке четыре, отсюда площадь всей ячейки

$$F_{\text{я}} = F_{\Gamma} + 4F_{\Pi} = 2,355d^2 + 0,168d^2 = 2,523d^2.$$

Относительная площадь пустот

$$K_{\Pi} = \frac{4F_{\Pi}}{F_{\text{я}}} = \frac{2,355d^2}{2,523d^2} = 0,93.$$

Из этой формулы можно сделать вывод о том, что относительная площадь пустот не зависит от диаметра гранул пенополистирола.

Количество гранул пенополистирола, которые могут разместиться в поперечном сечении скважины диаметром  $D$ :

$$z = 3 \frac{0,785D^2}{2,523d^2}. \quad (4.19)$$

Рассмотрим достоверность приведенной формулы на примере.

В сечении скважины разместилось  $z_\phi = 378$  гранул полистирола, диаметр скважины равен  $20,8d$  (рис. 4.12). По (4.19) расчетное количество гранул полистирола

$$z_p = 3 \frac{339,6d^2}{2,523d^2} = 404.$$

Разница между расчетным и фактическим количеством гранул пенополистирола объясняется тем, что между стенками скважины и гранулами остаются пустоты (поз. 3 на рис. 4.12, а), в которых не могут поместиться гранулы, но этот факт в (4.19) не учитывается. Поэтому при расчете количества гранул следует вводить коэффициент  $\psi$ , учитывающий степень заполнения сечения. Его величина для рассматриваемого примера

$$\psi = \frac{z_\phi}{z_p} = \frac{378}{404} = 0,94.$$

Таким образом, (4.19) с учетом степени заполнения сечения примет вид

$$z = 3\psi \frac{0,785D^2}{2,523d^2} = 0,93\psi \left( \frac{D}{d} \right)^2. \quad (4.20)$$

После определения количества гранул полистирола, разместившихся в поперечном сечении скважины, определяется их объем  $V_{ш}^1$  в одном ряду по высоте скважины

$$V_{ш}^1 = \frac{\pi d^3}{6} z.$$

Таких рядов  $n$  по высоте скважины  $h$  уместается

$$n = \frac{h}{d}.$$

При объеме скважины диаметром  $D$  на высоте  $h$  ее объем

$$V_c = \frac{\pi D^2}{4} h,$$

а объем гранул полистирола, уместившихся по высоте скважины  $h$ :

$$V_{ш} = \frac{\pi d^3}{6} z \frac{h}{d} = \frac{\pi d^2}{6} z h.$$

Объем пустот, образовавшихся после засыпки гранул пенополистирола в скважину на высоту  $h$ :

$$V_{\text{п}} = V_{\text{с}} - V_{\text{ш}},$$

а относительный объем пустот  $k$  определится

$$k = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{с}}} = 1 - \frac{V_{\text{ш}}}{V_{\text{с}}} = 1 - \frac{4}{6} z \left( \frac{D}{d} \right)^2.$$

Подставив в это выражение значение  $z$  из (4.19), получим

$$k = 1 - 0,62\psi. \quad (4.21)$$

Поскольку пустоты в объеме пенополистирола заполняются водой, то коэффициент  $k$  и определяет водонасыщение пенополистирола.

#### 4.3.2. Лабораторные исследования по определению водонасыщения насыпного пенополистирола

Гранулированный полистирол разделили на фракции: 0,315...0,63; 0,63...1,25; 1,25...3,0 и более 3,0 мм, а затем провели вспенивание как указанных фракций, так и нефракционированного полистирола. После этого исследуемую фракцию пенополистирола помещали в лабораторный двухлитровый цилиндр, сверху на гранулы опускали картонный кружок и пригружали гирей массой 1 кг (рис. 4.13).

В цилиндр заливали воду до достижения ею верхней отметки пенополистирола, после чего по меткам на стенках цилиндра рассчитывали объем пенополистирола и воды, расположенной между его гранулами.

Результаты исследования показывают (табл. 4.1), что наименьшее водонасыщение имеет нефракционированный пенополистирол. Это объясняется тем, что промежутки между крупными гранулами заполняют более мелкие гранулы и объема для размещения воды остается меньше.

Таблица 4.1

Результаты замеров водонасыщения вспененного полистирола

Фракция невспененного полистирола, мм	Коэффициент водонасыщения $K$
0,315...0,63	0,38
0,63...1,25	0,40
1,25...3,00	0,41
Более 3,00	0,43
Нефракционированный	0,36

Расчет коэффициента водонасыщения по (4.21) при  $\psi = 1$  дает значение  $k = 0,38$ , и это значение не зависит от диаметра гранул фракции.

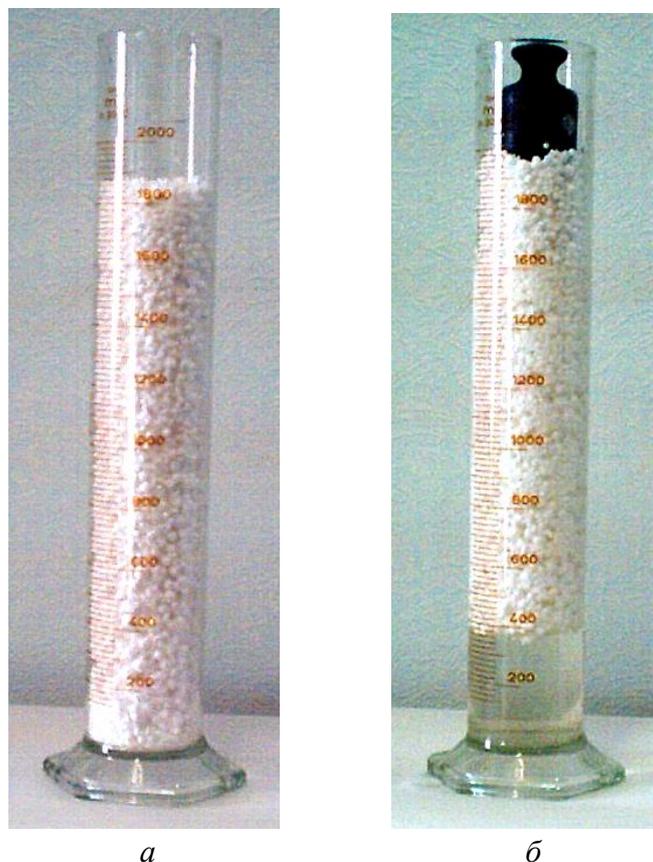


Рис. 4.13. Лабораторные исследования водонасыщения пенополистирола:  
*а* – цилиндр с загруженной фракцией пенополистирола;  
*б* – состояние пенополистирола в цилиндре после заливки водой

В то же время данные табл. 4.1 демонстрируют, что чем крупнее фракция пенополистирола, тем больше ее водонасыщение. Расхождение между результатами расчетов и фактическими данными объясняется тем, что даже фракционированный (моnofракционный) пенополистирол состоит из гранул не одного, а разных диаметров, что влияет на плотность упаковки гранул.

Нефракционированный (полифракционный) пенополистирол имеет наименьшее насыщение по сравнению с монофракционным, поэтому для получения наибольшего объема воздушного промежутка следует использовать нефракционированный пенополистирол.

Кроме того, при водонасыщении насыпной пенополистирол уменьшается в объеме (рис. 4.13). Это объясняется, во-первых, тем, что вода явля-

ется смазкой гранул и снижение трения способствует более плотной упаковке. Во-вторых, сухой пенополистирол насыщен статическим электричеством, которое не позволяет частицам плотно прижиматься друг к другу. В воде статическое электричество снимается, что также способствует более плотной упаковке гранул пенополистирола.

#### 4.3.3. Состав полифракционного пенополистирола, обеспечивающий наименьшее водонасыщение

Для того чтобы получить объем, заполненный гранулами вспененного полистирола с минимумом пустот между этими гранулами, как показали исследования <sup>1</sup>, в обязательном порядке должно соблюдаться условие о том, что диаметры гранул каждой последующей фракции уменьшаются в два раза:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{d_2}{d_3} = \frac{d_3}{d_4} = \dots = \frac{d_{m-1}}{d_m} = 2,$$

где  $d_1$  – наибольший диаметр гранул пенополистирола;  $d_m$  – наименьший диаметр гранул.

Размеры гранул согласно предыдущему уравнению следующие:

$$d_2 = \frac{d_1}{2}; \quad d_3 = \frac{d_2}{2} = \frac{d_1}{2^2}; \quad d_m = \frac{d_1}{2^{m-1}},$$

откуда число размеров гранул пенополистирола

$$m = \frac{\lg d_1 - \lg d_m}{\lg 2} + 1. \quad (4.22)$$

Количество фракций  $n$  на единицу меньше числа размеров  $m$ :

$$n = \frac{\lg d_1 - \lg d_m}{\lg 2}. \quad (4.23)$$

Объемное соотношение соседних фракций должно быть

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{y_3}{y_2} = \dots = \frac{y_n}{y_{n-1}} = k_c. \quad (4.24)$$

<sup>1</sup> Меньшиков Б. А. Указ. соч. С. 86.

Величина, которая показывает, во сколько раз количество последующей фракции меньше предыдущей, называется коэффициентом сбегания  $k_c$ . Исследования показали, что наибольшая плотность засыпного материала получается при  $k_c = 0,8$ .

Массовое количество фракций:

$$\begin{aligned} y_1; \\ y_2 &= y_1 k_c; \\ y_3 &= y_2 k_c = y_1 k_c^2; \\ y_n &= y_{n-1} k_c = y_1 k_c^{n-1}. \end{aligned}$$

Сумма объемного количества всех фракций пенополистирола равна ста процентам, т. е.:

$$y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n = y_1 \left( 1 + k_c + k_c^2 + k_c^3 + \dots + k_c^{n-1} \right) = 100.$$

В скобках указана сумма убывающей геометрической прогрессии со знаменателем прогрессии  $k_c$ , которая равна

$$\frac{1 - k_c^{n-1} k}{1 - k_c} = \frac{1 - k_c^n}{1 - k_c}.$$

Процентное содержание первой фракции:

$$y_1 = \frac{1 - k_c}{1 - k_c^n} 100. \quad (4.25)$$

Зная количество первой фракции, легко определить процентное содержание остальных фракций из (4.24).

Таким образом, используя фракционированный пенополистирол, можно обеспечить различные значения коэффициента его водонасыщения. Однако при этом следует учитывать, что наименьшую стоимость имеет нефракционированный пенополистирол, который обеспечивает достаточно низкий коэффициент водонасыщения, и его применение предпочтительно.

Изменением водонасыщения пенополистирола в воздушно-водяном промежутке можно получать различное соотношение между объемом воды и равномерно расположенными в ней воздушными объемами в гранулах пенополистирола. Взаимодействие между ними при детонации заряда ВВ

может повысить энергетику взрыва в районе воздушного промежутка за счет кавитации, сгорания полистирола, деструкции воды и иных эффектов.

#### **4.4. Формирование газовых промежутков в обводненных скважинах**

В тех случаях, когда осушение скважин нецелесообразно или неосуществимо, рассредоточение зарядов способами, применяемыми в сухих и осушенных скважинах, невозможно. В таких случаях мы предлагаем применить газовые промежутки, рассмотренные выше. Но в обводненных условиях их формирование осложняется возможностью непотопления мягкой емкости или ее всплытия в начале реакции газообразования.

Рассмотрим возможность рассредоточения зарядов ВВ газовыми промежутками в обводненных скважинах <sup>1</sup>. Перед заряданием обводненной скважины 1 (рис. 4.14) в нее опускают боевик 2, закрепленный на проводнике иницирующего импульса 3.

Затем формируют нижнюю часть заряда ВВ 4, например засыпкой гранулированного водостойкого ВВ типа гранулола или гексотала. Возможно также применение эмульсионных ВВ в патронированном виде либо с использованием зарядной машины. Формирование нижней части заряда ВВ сопровождается вытеснением воды вверх по скважине, применение гранулированных ВВ уменьшает высоту столба вытесненной воды за счет частичного поглощения ее в межгранульном пространстве, а эмульсионные ВВ вытесняют всю воду.

В столб вытесненной нижним зарядом ВВ воды опускают оболочку 5. Предварительно внутрь оболочки размещают утяжелитель 6, например один или несколько кусков горной породы, а также химические реагенты 7, после чего оболочку герметизируют. Оболочка тонет в воде и размещается поверх нижней части заряда ВВ. По мере протекания реакции газообразования оболочка расширяется в нижней части, где размещен утяжелитель, прижимается к стенкам скважины, образуя газовый промежуток 8 и вытесняя воду 9 вверх по скважине по мере дальнейшего заполнения оболочки газовым агентом. После завершения реакции газообразования воз-

---

<sup>1</sup> Способ формирования рассредоточенных зарядов в обводненных скважинах : пат. 2306523 Рос. Федерация. № 2006103613/03 ; заявл. 07.02.06 ; опубл. 20.09.07, Бюл. № 26. 7 с.

никает газовый промежуток расчетной высоты и на него формируют верхнюю часть заряда ВВ 10 с боевиком 11 на проводнике инициирующего импульса 12. Если уровень вытесненной воды достиг устья скважины, забойку не делают, если нет – выполняют забойку.

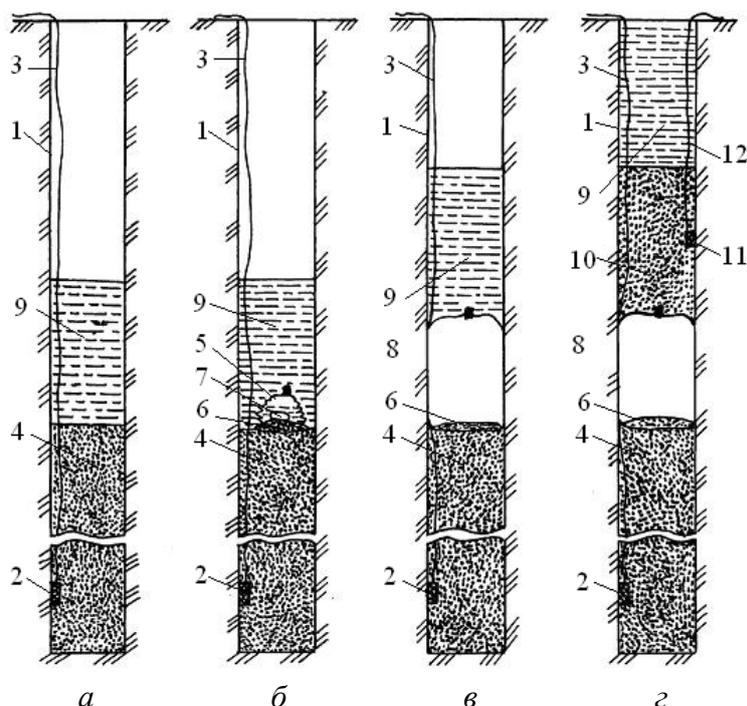


Рис. 4.14. Рассредоточение заряда ВВ газовым промежуток:  
*a* – размещение нижней части заряда ВВ; *б* – размещение на нижней части заряда ВВ оболочки с утяжелителем и химическими реагентами;  
*в* – скважина с газовым промежуток перед формированием верхней части заряда;  
*г* – заряженная скважина с газовым промежуток

Процесс формирования газового промежутка отслеживали в лабораторных условиях в стеклянной трубе диаметром 79 мм (рис. 4.15). Полностью подтвердилась версия о формировании газового промежутка вытеснением воды снизу вверх прижимающейся к стенкам скважины газовой оболочкой. Контакт газовой оболочки со стенками скважины возникает в ее нижней части, а трение о стенки скважины препятствует выталкиванию оболочки из воды.

В зависимости от степени обводненности скважины высота вытесненного столба воды и величина его давления на газовую оболочку будет меняться в широких пределах. Если уровень вытесненного столба воды  $h_y$  находится не выше газового промежутка, то величина этого давления

$$\rho = \frac{P}{F} = \frac{4P}{\pi D^2} + \rho_a, \quad (4.26)$$

где  $P$  – давление верхней части заряда ВВ и засыпной забойки на газовую оболочку, Н;  
 $F$  – площадь поперечного сечения скважины, м<sup>2</sup>;  $\rho_a$  – атмосферное давление, Па.

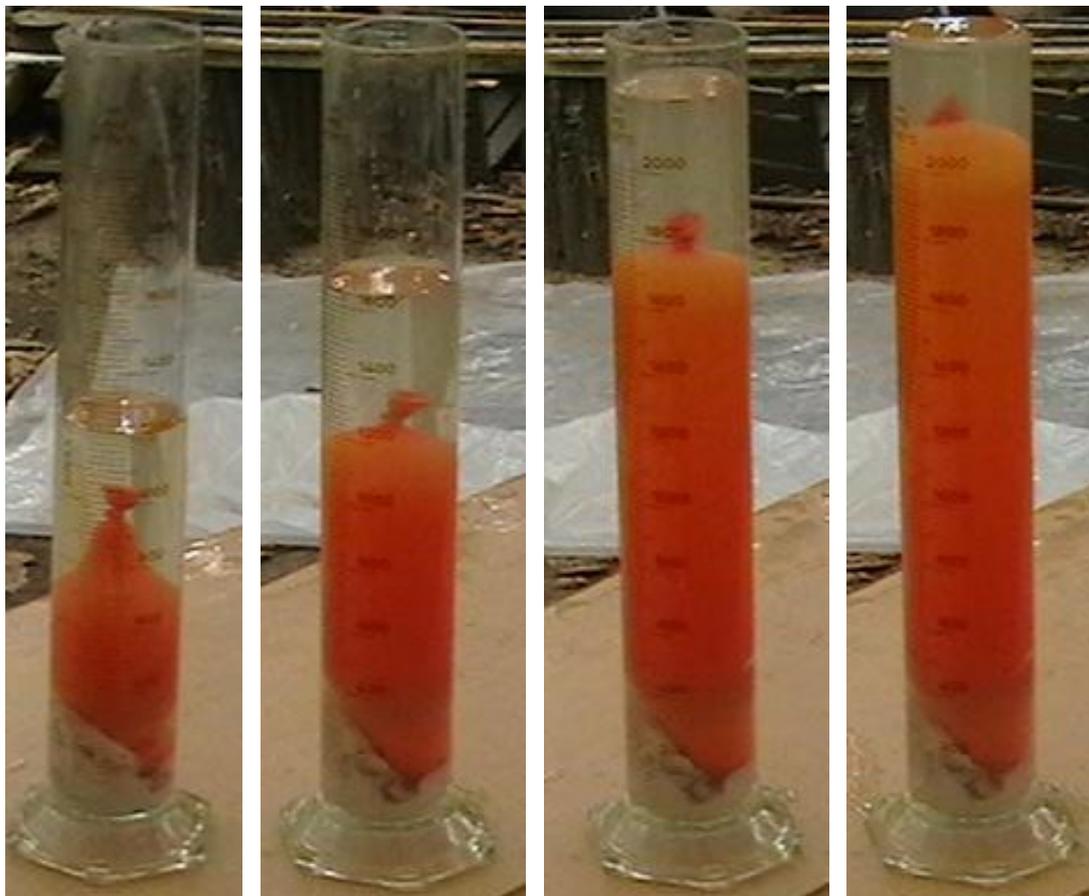


Рис. 4.15. Процесс формирования газового промежутка в стеклянной трубе в лабораторных условиях

В качестве примера представим графики давления на газовую оболочку в зависимости от уровня столба воды в скважине глубиной 14,4 м, диаметром 0,16 м (рис. 4.16). Высота нижней части заряда составила 5,8 м, высота газового промежутка – 1,0 м, высота верхней части заряда – 2,8 м, высота забойки – 4,8 м.

Рассмотрим вариант, когда выше газового промежутка скважина сухая. Как указывалось выше, в этом случае на оболочку будет действовать сила тяжести вышележащих сыпучих слоев высотой около четырех диаметров заряда с общим усилием, не превышающим 30 Н. Выполнив расчет по (4.26), получим величину давления  $\rho = 0,1015$  Па (точка 1 на рис. 4.16).

В скважинах с уровнем воды, расположенным несколько выше газовой оболочки, нижняя часть верхнего заряда перемешивается с водой, трение и сцепление этой части заряда со стенками скважины практически равны нулю, и давление на газовую оболочку следует рассматривать как гидростатическое давление.

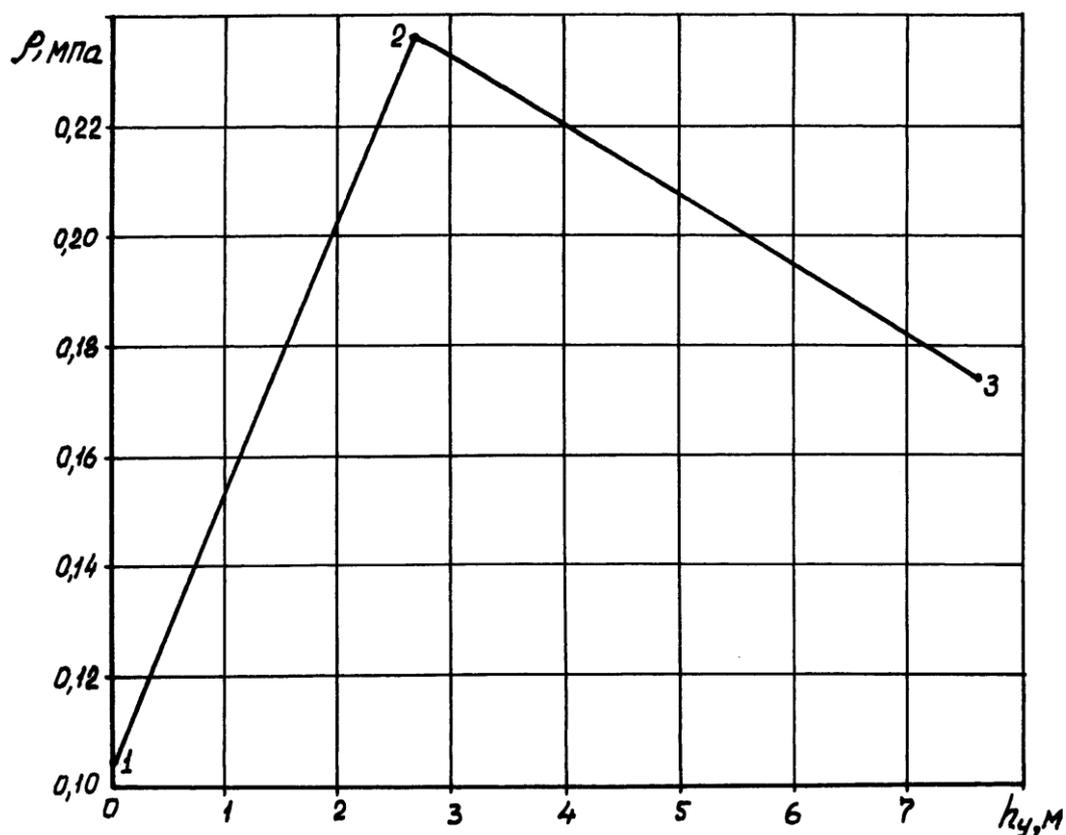


Рис. 4.16. Зависимость давления вышележащих слоев на газовую оболочку  $\rho$  в зависимости от уровня воды  $h_y$  в скважине

В результате засыпки заряда ВВ в воду, находящуюся на уровне  $h_y$ , уровень воды поднимется на высоту  $h_{м.з}$ .

Определим высоту обводненной части заряда ВВ и забойки:

$$h_{м.з} = \frac{h_y}{1 - K_y}, \quad (4.27)$$

где  $K_y$  – плотность упаковки заряда ВВ или засыпной забойки.

$$K_y = \gamma_n / \gamma_{п}, \quad (4.28)$$

где  $\gamma_n$  – насыпная плотность заряда ВВ или забойки,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\gamma_{п}$  – плотность гранулы заряда ВВ или породы,  $\text{кг/м}^3$ .

Давление же верхней, сухой части заряда ВВ и засыпной забойки определяется по (4.26). Для упрощения расчетов принимаем допущение, что плотность гранул заряда ВВ и частиц засыпной забойки одинакова. Суммарное давление

$$P = \gamma_{\text{вг}}gh_{\text{е}} + \gamma_{\text{пг}}gh_{\text{м.з}} + \frac{4P}{\pi D^2} + P_{\text{а}}. \quad (4.29)$$

Зависимость (4.29) действительна до тех пор, пока высота обводненной части заряда ВВ и забойки не достигнет устья скважины (на рис. 4.16 отрезок 1–2). Именно в этом случае давление на газовую оболочку будет наибольшим (точка 2 на рис. 4.16). Уровень воды, при котором скважина до устья заполняется обводненными зарядом ВВ и забойкой:

$$h_{\text{ум}} = h_{\text{вх}}(1 - R_{\text{г}}), \quad (4.30)$$

где  $h_{\text{вх}}$  – высота скважины от газовой оболочки до устья, м.

При уровне воды в скважине, большем  $h_{\text{ум}}$ , соотношение количества воды и забойки изменяется в сторону уменьшения количества забойки, верхние слои, оказывающие давление на газовую оболочку, состоят в нижней части из смеси воды и заряда ВВ, выше – смеси воды и забойки, а вверху – столба воды. Причем забойка засыпается во взрывную скважину только до тех пор, пока столб воды не поднимется до устья скважины. Высота столба воды  $h_{\text{в}}$  в верхней части скважины

$$h_{\text{г}} = h_{\text{гх}} - \frac{h_{\text{гх}} - h_{\text{г}}}{K_{\text{г}}}. \quad (4.31)$$

Давление в этом случае

$$P = \gamma_{\text{вг}}gh_{\text{е}} + \gamma_{\text{пг}}g(h_{\text{вх}} - h_{\text{в}}) + P_{\text{а}}. \quad (4.32)$$

Зависимость (4.32) действительна до полного обводнения скважины, когда столб воды доходит до ее устья (точка 3 на рис. 4.16). Заметим, из графика видно, что наименьшее давление на газовую оболочку возникает в сухих скважинах, а наибольшее оказывается в том случае, когда скважина до устья заполнена смесью воды с зарядом ВВ и засыпной забойки.

Отообразим графически зависимость отношения величины деформации оболочки  $\Delta h$  к ее первоначальной высоте  $h$  от высоты столба воды  $h_{\text{в}}$  над ней при первоначальном давлении газа в оболочке, равном атмосферному  $P_{\text{а}}$ . (рис. 4.17). Анализ графика показывает, что просадка оболочки с увеличением высоты столба воды быстро растет и может привести к раз-

рушению оболочки и затруднению соблюдения заданной высоты промежутка между частями заряда ВВ.

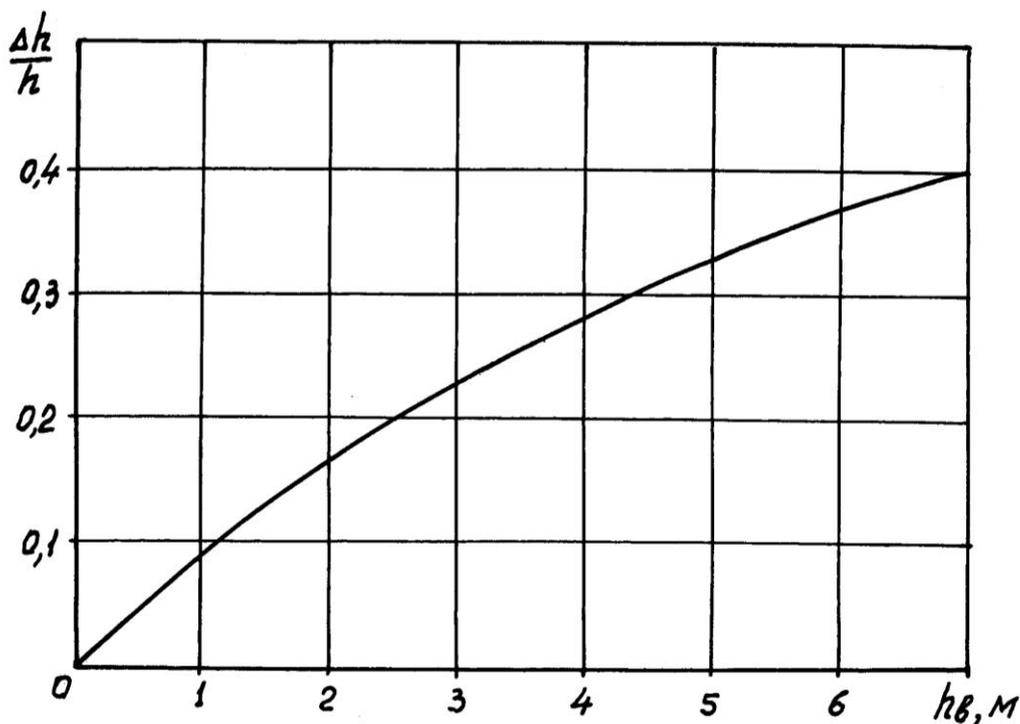


Рис. 4.17. Зависимость отношения величины просадки оболочки  $\Delta h$  к ее первоначальной высоте  $h$  от высоты столба воды  $h_{в}$  над ней

Для предотвращения просадки оболочки следует создавать в ней избыточное давление, равное давлению  $\rho$  вышележащих слоев на оболочку. Объем оболочки в этом случае должен быть равен объему газа при атмосферном давлении, обеспечивающем заданную высоту промежутка, а избыточное давление равно давлению вышележащих слоев (воды, верхней части заряда ВВ и засыпной забойки). Однако следует отметить, что для полностью обводненных скважин избыточное давление достигает 0,23...0,24 МПа, которое накладывает высокие требования к прочности эластичной оболочки.

Некоторый опыт практического применения газовых промежутков в скважинных зарядах уже есть <sup>1</sup>. Был опробован способ создания воздушной полости необходимого размера под колонной заряда с помощью газо-

<sup>1</sup> К вопросу снижения выхода мелких фракций при взрывной отбойке минерального сырья, а также бурения, расхода ВВ и сейсмического эффекта на открытых горных работах / П. В. Швыдько [и др.] // Вісник Кременчуц. держав. політехн. ун-та ім. Михайла Остроградського. 2007. Вып. 5/2007 (46), ч. 1. С. 94–97.

генерации в полиэтиленовом мешке, зафиксированном у забоя скважины. Газогенерация осуществлялась путем управляемой химической реакции уксусной кислоты с содой в герметичном мешке, затягиваемом через фиксирующее устройство под воду в скважину до необходимой отметки. Зарядка проводилась эмульсионным взрывчатым веществом *анемикс*, имеющим большую плотность, поэтому колонка заряда также рассредоточивалась с помощью газогенерирующих мешков. Кроме того, с помощью таких же мешков были созданы газовые промежутки и под забойками. Экспериментальные массовые взрывы подтвердили работоспособность газогенерирующего устройства для создания воздушной полости, что существенно снижает выход мелочи и негабарита.

Однако размещение герметичных мешков на нужном уровне осуществляется с помощью сложного фиксирующего устройства. Поэтому нами предложен еще один способ применения газовых промежутков для рассредоточения скважинных зарядов в обводненных скважинах – в полиэтиленовый рукав <sup>1</sup>.

Перед заряданием обводненной скважины в нее на всю глубину опускают гидроизоляционную оболочку *1*, выполненную, например, из полиэтиленовой пленки рукавной с толщиной стенок 200 мк (рис. 4.18). Нижний конец ее загерметизирован, в него помещают груз *2* для потопления гидроизоляционной оболочки, например кусок горной породы. Затем опускают боевик *3*, закрепленный на проводнике иницирующего импульса, например, ДШ или волноводе *4*. Верхний конец гидроизоляционной оболочки фиксируется на приемном цилиндре *5* при помощи надеваемого на него обруча *6*. Приемный цилиндр устанавливается над устьем скважины *7* на опорах *8* и снабжен воронкой *9* для равномерной подачи ВВ в скважину. Диаметр приемного цилиндра равен диаметру гидроизоляционной оболочки, а диаметр обруча 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. Часть гидроизоляционной оболочки, находящаяся ниже уровня воды *10*, схлопывается под действием ее гидростатического давления. Формирование нижней части заряда ВВ *11* производят внутри гидроизоляционной

---

<sup>1</sup> Способ формирования рассредоточенных зарядов в обводненных скважинах : пат. 2306522 Рос. Федерация. № 2006103605/03 ; заявл. 07.02.06 ; опубл. 20.09.07, Бюл. № 26. 5 с.

оболочки подачей в нее через воронку ВВ с плотностью, большей плотности воды, например, водосодержащих ВВ. Более плотное, чем вода, ВВ опускается внутри гидроизоляционной оболочки, раздвигая ее схлопнувшуюся часть, и достигает дна скважины. ВВ заполняет скважину по всему сечению, прижимая гидроизоляционную оболочку к ее стенкам, и вытесняет воду в направлении снизу вверх.

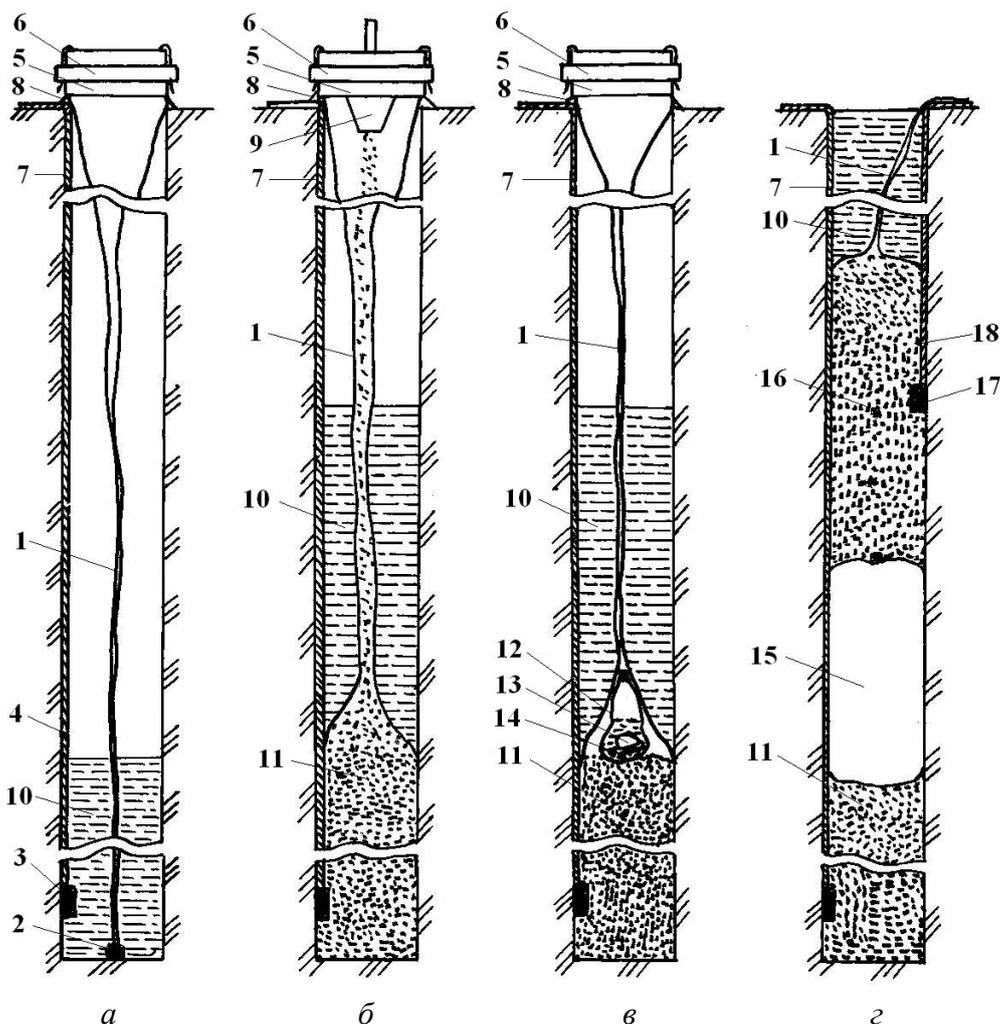


Рис. 4.18. Расседоточение заряда ВВ газовым промежутком в оболочку:

*а* – скважина, подготовленная к заряданию;

*б* – формирование в гидроизоляционную оболочку нижней части заряда ВВ;

*в* – размещение эластичной оболочки с утяжелителем и химическими реагентами;

*г* – заряженная скважина

После формирования нижней части заряда ВВ убирают воронку и через внутреннее отверстие приемного цилиндра опускают в гидроизоляционную оболочку эластичную оболочку 12, выполненную, например, из тон-

кой резины. Предварительно внутрь эластичной оболочки размещают утяжелитель *13*, например один или несколько кусков горной породы, а также химические реагенты *14*, например карбонат аммония или бикарбонат аммония и водный раствор уксусной кислоты, карбид кальция и воду и т. п., эластичную оболочку герметизируют, например завязывают ее верхний конец.

Достигнув верхней части заряда ВВ *11*, эластичная оболочка останавливается и по мере протекания реакции газообразования расширяется, прижимается к стенкам скважины вместе с гидроизоляционной оболочкой, вытесняя воду вверх. После контакта эластичной оболочки с гидроизоляционной оболочкой и через нее со стенками скважины возникает трение, снижающее выталкивание оболочки из воды, что позволяет уменьшить величину утяжелителя: он действует только до контакта эластичной оболочки со стенками скважины. Кроме того, выталкиванию заполняющейся газом эластичной оболочки препятствует и сопротивление схлопнувшейся гидроизоляционной оболочки.

После завершения образования газового промежутка *15* в приемный цилиндр вновь вставляют воронку и формируют верхнюю часть заряда ВВ *16* с боевиком *17* на ДШ или волноводе *18*. Остаточное давление газа в эластичной оболочке позволяет удерживать массу вышележащего заряда и забойки. По окончании формирования верхней части заряда ВВ верхний конец гидроизоляционной оболочки освобождают от приемного цилиндра и укладывают на поверхность уступа. Если уровень вытесненной вверх по скважине воды достиг ее устья, забойку не делают, если нет – выполняют забойку, удерживая верхний конец гидроизоляционной оболочки от увлечения забойкой.

Таким образом, размещением газового промежутка в гидроизоляционную оболочку обеспечивается формирование газового промежутка в скважинах, обводненных на любую высоту, независимо от величины проточности воды, что позволяет повысить эффективность взрывного дробления горных пород и в обводненных горных массивах.

Рассматривая в целом возможность создания воздушных или газовых промежутков в обводненных взрывных скважинах, можно отметить, что предложенные нами способы и технические решения позволяют осуществить рассредоточение скважинных зарядов ВВ и в обводненных массивах горных пород. При этом мы предлагаем достаточно широкий выбор способов – использование различных способов осушения скважин или зарядки

вслед за бурением с формированием воздушных промежутков. Последующее поступление воды в сформированный воздушный промежуток приведет к созданию воздушно-водяного или водно-воздушного промежутков. Возможно и создание чисто газового промежутка в заряде ВВ в массиве с любой степенью обводненности, не прибегая к дорогостоящим мероприятиям по снижению ее уровня.

Мы считаем такое решение вопроса целесообразным и экономически обоснованным, ибо повышение качества дробления пород и экономия ВВ в обводненных массивах горных пород становятся реальными.

---

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как видим, в современных условиях первостепенное значение в интенсификации открытых горных работ отводится буровзрывным работам. Создание запасов качественно взорванной горной массы обеспечивает эффективное использование погрузочно-транспортного оборудования. Однако наиболее применяемые в практике ведения взрывных работ сплошные скважинные заряды наименее эффективны с точки зрения механики взрывного дробления – при взрыве сплошного заряда образуется максимальный объем мельчайших и крупных фракций, а выход негабарита может достигать 15 % и более.

Многолетними исследованиями установлено, для повышения полезного использования энергии взрыва, безусловно, следует снижать пик давления, растягивать во времени действие взрыва и увеличивать расстояние между зарядом и забойкой. Решению поставленной задачи в значительной мере способствует рассредоточение скважинных зарядов воздушными промежутками – достигается более мелкое и равномерное дробление, чем при сплошных зарядах. Размер среднего куска уменьшается в 1,5...2,0 раза, выход негабарита снижается от двух до десяти раз, а в некоторых случаях полностью исключается. Только при воздушном промежутке обеспечиваются три условия, необходимые для существенного повышения полезной работы взрыва при дроблении горных пород: снижение начального давления на фронте ударной волны, растягивание во времени воздействия взрыва на окружающую среду и усиление интерференции ударных волн. Наблюдалось очень много случаев снижения расхода ВВ при одновременном улучшении результатов взрыва. Происходит перераспределение энергии взрыва – уменьшается доля энергии, затрачиваемой на бесполезное переизмельчение породы вокруг скважины в результате бризантного действия ВВ. Значительно сокращается объем работ по забойке за счет снижения длины забиваемой части скважин.

Применение зарядов с воздушной подушкой в перебуре по сравнению со сплошными зарядами позволяет значительно улучшить качество дробления увеличением продолжительности действия взрыва и высоты колонки заряда на 1...2 м при соответствующем уменьшении длины забойки; снизить удельный расход ВВ на 10...20 %; уменьшить разрушение массива за

последним рядом скважин в 1,3...1,6 раза; обеспечить направленный выброс горной массы в сторону откоса уступа, что принципиально важно при ведении взрывных работ в стесненных условиях.

Без всякого сомнения, все ранее применявшиеся способы создания воздушных промежутков с ручной установкой громоздких приспособлений неприменимы в новом тысячелетии. Время диктует современные воззрения на проблему рассредоточения скважинных зарядов, и, надо признаться, этому есть подтверждение – мы смогли механизировать процесс создания воздушных промежутков из пенополистирола, а также его приготовления для удаленных предприятий. Пенополистирол в настоящее время очень широко распространен, доступен, дешев, он не гигроскопичен, химически устойчив, горюч, выделяя дополнительный объем газов при взрыве, имеет достаточную несущую способность. При его использовании возможно последующее обводнение скважины, доля воздуха в промежутке все равно будет выше 60 %. Мы предложили целый ряд конструктивных решений по созданию воздушных промежутков в сухих и частично обводненных скважинах из пенополистирола и пенопласта. Они проверены в лабораторных, полигонных и промышленных условиях.

Учитывая широкое применение скважин с котловыми полостями и эмульсионных, горячельющихся и других текучих ВВ, нами найдены технические решения по созданию воздушных промежутков и в этих условиях. Кроме того, предложено решение проблемы создания газовых промежутков в обводненных скважинах.

Мы, безусловно, считаем, что результаты наших теоретических, стендовых, полигонных и промышленных исследований дают возможность широкого применения их на практике. Мы видим реальную и действительную потребность в наших технологических и технических решениях на большинстве горных предприятиях Дальневосточного федерального округа, а также других регионов России.

---

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ГЛАВА 1	
Роль воздушных промежутков в процессе разрушения горных пород .....	5
1.1. Влияние воздушных промежутков на использование энергии взрыва .....	5
1.2. Воздушные промежутки между зарядами ВВ и забойкой .....	12
1.3. Воздушные промежутки в нижнем торце зарядов .....	15
ГЛАВА 2	
Ретроспективный обзор взрывных работ с воздушными промежутками .....	23
2.1. Рациональные параметры воздушных промежутков .....	23
2.2. Создание воздушных промежутков в сухих скважинах .....	32
2.3. Возможности создания воздушных промежутков в обводненных сква- жинах .....	38
2.3.1. ДРЕНАЖ ВОДЫ ПО ИСКУССТВЕННО НАРУШЕННЫМ ЗОНАМ В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД	39
2.3.2. ОСУШЕНИЕ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН ВЫБРОСОМ ВОДЫ ПРОСТРЕЛОЧНЫМИ ЗАРЯДАМИ ВВ	41
2.3.3. ОСУШЕНИЕ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН ВЫТЕСНЕНИЕМ ВОДЫ ГАЗООБРАЗНЫМ АГЕНТОМ	42
2.3.4. ОСУШЕНИЕ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН ВЫТЕСНЕНИЕМ ВОДЫ ВОЗДУХОМ С ОБРАЗОВАНИ- ЕМ ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКИ .....	52
2.3.5. ОТКАЧИВАНИЕ ВОДЫ ПОГРУЖНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ .....	62
ГЛАВА 3	
Формирование воздушных промежутков в сухих взрывных скважинах .....	65
3.1. Воздушные промежутки из пенополистирола .....	65
3.1.1. ОПЫТ ВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ С ВОЗДУШНЫМИ ПРОМЕЖУТКАМИ ИЗ ПЕНОПОЛИ- СТИРОЛА .....	65
3.1.2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА В ЗАВОДСКИХ УСЛОВИ- ЯХ .....	71
3.1.3. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ВСПЕНЕННОГО ПОЛИСТИРОЛА В УСЛОВИЯХ УДАЛЕННЫХ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ .....	73
3.2. Воздушные промежутки из пенопласта .....	79
3.2.1. ВОЗДУШНЫЕ ПРОМЕЖУТКИ ИЗ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ .....	80
3.2.2. ВОЗДУШНЫЕ ПРОМЕЖУТКИ ИЗ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ .....	90
3.3. Воздушные промежутки из упаковок с пенополистиролом .....	97
3.4. Формирование воздушных промежутков из утилизируемых изделий .	99
3.4.1. ВОЗДУШНЫЕ ПРОМЕЖУТКИ ИЗ ЛОМА ПЕНОПЛАСТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ .....	99
3.4.2. ВОЗДУШНЫЕ ПРОМЕЖУТКИ ИЗ ПЛАСТИКОВЫХ ЕМКостей .....	101
3.5. Формирование газовых промежутков .....	103
3.6. Рассредоточение скважинных зарядов ВВ в особых условиях .....	106

---

3.6.1. РАССРЕДОТОЧЕНИЕ ЗАРЯДА ТЕКУЧИХ ВВ .....	106
3.6.2. ВОЗДУШНЫЕ ПРОМЕЖУТКИ В КОТЛОВЫХ ПОЛОСТЯХ .....	109
<b>ГЛАВА 4</b>	
Особенности создания воздушных промежутков в обводненных скважинах .....	113
4.1. Формирование рассредоточенных скважинных зарядов в гидроизоляционную оболочку .....	113
4.2. Формирование комбинированных рассредоточенных зарядов ВВ .....	116
4.2.1. ФОРМИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО РАССРЕДОТОЧЕННОГО ЗАРЯДА В НЕОСУШЕННОЙ СКВАЖИНЕ .....	116
4.2.2. ФОРМИРОВАНИЕ РАССРЕДОТОЧЕННОГО ЗАРЯДА В ОСУШЕННОЙ СКВАЖИНЕ .....	125
4.2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО РАССРЕДОТОЧЕННОГО ЗАРЯДА ВВ .....	127
4.2.4. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО РАССРЕДОТОЧЕННОГО ЗАРЯДА ВВ .....	131
4.3. Определение водонасыщения воздушных промежутков из пенополистирола .....	133
4.3.1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОНАСЫЩЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ ИЗ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА .....	134
4.3.2. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВОДОНАСЫЩЕНИЯ НАСЫПНОГО ПЕНОПОЛИСТИРОЛА .....	137
4.3.3. СОСТАВ ПОЛИФРАКЦИОННОГО ПЕНОПОЛИСТИРОЛА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ НАИМЕНЬШЕЕ ВОДОНАСЫЩЕНИЕ .....	139
4.4. Формирование газовых промежутков в обводненных скважинах .....	141
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	<b>151</b>

Научное издание

**Лещинский Александр Валентинович, Шевкун Евгений Борисович**  
**РАССРЕДОТОЧЕНИЕ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ**

Главный редактор *Л. А. Суевалова*

Редактор *Е. Н. Ярулина*

Дизайнер обложки *Л. В. Задвернюк*

Оператор компьютерной верстки *Т. И. Хохлова*

Подписано в печать 05.05.09. Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага писчая. Гарнитура Таймс.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 8,95. Тираж 500 экз. Заказ 132.

Издательство Тихоокеанского государственного университета.

680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.

Отдел оперативной полиграфии издательства Тихоокеанского государственного университета.

680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.