

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский государственный горный университет»



А. Г. Петрушин

ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ В СКВАЖИНАХ

Допущено Учебно-методическим объединением вузов
Российской Федерации по образованию в области горного дела
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлениям подготовки (специальностям)
«Горное дело» и «Физические процессы горного
или нефтегазового производства»

Екатеринбург
2015

Рецензенты: заведующий кафедрой строительства подземных сооружений и шахт, заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, профессор *В. В. Першин* (ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева»);
заведующий лабораторией разрушения горных пород, академик АГН, канд. техн. наук *В. Г. Шеменёв* (Институт горного дела УрО РАН)

Печатается по решению Редакционно-издательского совета
Уральского государственного горного университета

А. Г. Петрушин

П 312 ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ В СКВАЖИНАХ: учебное пособие /
А. Г. Петрушин; ФГБОУ ВПО «Урал. гос. горный ун-т». – Екатеринбург: Изд-во
УГГУ, 2015. – 222 с.
ISBN 978-5-8019-0357-6

Изложены основные положения теории взрыва и взрывчатых веществ: определение взрыва и взрывчатого вещества; кислородный баланс ВВ; чувствительность ВВ к внешним воздействиям; формы химического превращения ВВ; основы теории детонации; методы оценки эффективности, безопасности и качества ВВ; действие взрыва и принципы расчета сосредоточенных и кумулятивных зарядов ВВ, характеристики промышленных взрывчатых веществ, способы и средства инициирования зарядов ВВ.

Рассмотрены основные методы производства прострелочно-взрывных работ в скважинах, взрывчатые материалы, ПВА, оборудование, техника и технология прострелочно-взрывных работ в глубоких нефтяных, газовых и других скважинах. Большое внимание уделено вопросам организации и безопасности при выполнении работ в скважинах.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки (специальностям) «Горное дело» и «Физические процессы горного или нефтегазового производства».

Может быть рекомендовано для студентов, обучающихся по специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых», а также для специалистов геофизических организаций, занимающихся прострелочно-взрывными работами в скважинах.

УДК 622.235: 622.245.14

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ. ВИДЫ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ.....	7
2. ПОНЯТИЕ О ВЗРЫВЕ И ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВАХ	11
2.1. Понятие о взрыве. Типы взрывов	11
2.2. Понятие о взрывчатом веществе.....	13
2.3. Кислородный баланс ВВ	19
2.4. Ядовитые газы взрыва.....	20
2.5. Формы химического превращения ВВ.....	21
3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ДЕТОНАЦИИ.....	23
3.1. Понятие о детонации	23
3.2. Параметры взрывчатого превращения	26
3.3. Факторы, влияющие на скорость и устойчивость детонации.....	28
4. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ, БЕЗОПАСНОСТИ И КАЧЕСТВА ВВ	33
4.1. Работа взрыва.....	33
4.2. Оценка производственной эффективности взрывчатых свойств ВВ.....	35
4.3. Оценка чувствительности и опасности ВВ в обращении	44
5. ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА ЗАРЯДОВ ВВ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ.....	51
5.1. Классификация зарядов ВВ	51
5.2. Действие взрыва сосредоточенного заряда в твердой однородной безграничной среде	52
5.3. Действие взрыва сосредоточенного заряда в твердой однородной среде при наличии обнаженной поверхности	53
5.4. Воронка взрыва и ее элементы. Классификация зарядов по показателю действия взрыва	55
5.5. Принципы расчета сосредоточенных зарядов	55
5.6. Кумулятивное действие взрыва.....	56
6. АССОРТИМЕНТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВВ.....	62
6.1. Требования к промышленным ВВ	62
6.2. Классификации промышленных ВВ.....	62
6.3. Ассортимент непродохранительных ВВ	62
7. СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ИНИЦИИРОВАНИЯ ЗАРЯДОВ ВВ.....	70
7.1. Классификация способов инициирования зарядов ВВ.....	70
7.2. Огневое взрывание	71
7.3. Электрическое взрывание	73
7.4. Электроогневое взрывание	80

7.5. Взрывание с помощью детонирующего шнура.....	80
7.6. Взрывание с применением систем неэлектрического взрывания	82
8. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОСТРЕЛОЧНЫХ И ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В СКВАЖИНАХ.....	85
9. ВЗРЫВЧАТЫЕ МАТЕРИАЛЫ, КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ИСТОЧНИКИ ТОКА ДЛЯ ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫХ РАБОТ	87
9.1. Взрывчатые вещества	87
9.2. Способы и средства инициирования зарядов ВВ.....	90
10. ПЕРФОРАЦИЯ СКВАЖИН	97
10.1. Общие сведения о перфорации скважин.....	97
10.2. Кумулятивная перфорация	98
10.3. Пулевые перфораторы.....	124
10.4. Выбор методов ПВР, прострелочно-взрывной аппаратуры и режимов перфорации	127
11. ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПЛАСТ ГАЗООБРАЗНЫМИ ПРОДУКТАМИ ГОРЕНИЯ	131
11.1. Общие сведения	131
11.2. Пороховые генераторы давления	132
11.3. Комплексные системы воздействия на пласт	137
11.4. Воздействие на пласт с применением горюче-окислительных составов	140
12. УСТАНОВКА РАЗОБЩАЮЩИХ МОСТОВ В СКВАЖИНАХ	141
13. ВЗРЫВНЫЕ СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ В СКВАЖИНАХ.....	146
13.1. Аварии и осложнения в скважинах и способы их ликвидации	146
13.2. Торпеды из детонирующего шнура	147
13.3. Торпеды фугасные шашечные.....	148
13.4. Кумулятивные труборезы	149
13.5. Кумулятивные торпеды осевого действия	150
13.6. Импульзные ловители.....	153
14. ОТБОР ОБРАЗЦОВ ПОРОД В СКВАЖИНАХ БОКОВЫМИ СТРЕЛЯЮЩИМИ ГРУНТОНОСАМИ.....	155
15. ОБОРУДОВАНИЕ, КАБЕЛИ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В СКВАЖИНАХ	157
15.1. Подъемники.....	157
15.2. Кабели и провода	161
15.3. Скважинные контрольно-измерительные приборы для прострелочно-взрывных работ	162
15.4. Источники тока и контрольно-измерительные приборы	167
15.5. Оборудование для работ при герметизированном устье скважин ..	171

16. ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ, ЗАРЯЖАНИЯ И РАЗРЯЖАНИЯ, ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНОЙ АППАРАТУРЫ И ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ	173
16.1. Зарядные мастерские	173
16.2. Лаборатории перфораторных станций	175
16.3. Сборка и зарядание аппаратов	178
16.4. Отказы ПВА, разряжение и разборка аппаратов, уничтожение ВМ и ПВА	182
17. ОРГАНИЗАЦИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ РАБОТ	185
17.1. Организация и документирование работ	185
17.2. Хранение, транспортирование аппаратуры и взрывчатых материалов	187
17.3. Общая технология работ	192
17.4. Контроль и испытания аппаратов и взрывчатых материалов	203
17.5. Осложнения, аварии и недоброкачественные результаты работ в скважинах	206
17.6. Техника безопасности при производстве ПВР	210
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	216
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	217
Приложение 1. Заявка на прострелочно-взрывные работы	218
Приложение 2. Технический проект на прострелочно-взрывные работы	219
Приложение 3. Акт о подготовленности скважины для производства прострелочно-взрывных работ	221

ВВЕДЕНИЕ

Прострелочно-взрывные работы (ПВР) в нефтяных, газовых и других скважинах применяются на стадиях разведки, вскрытия и эксплуатации продуктивных пластов с использованием широкой номенклатуры кумулятивных перфораторов, воздействием пороховых газов и горюче-окислительных систем. В процессе освоения и эксплуатации скважин используют различные виды взрывного воздействия, включая торпедирование скважин, разделение продуктивных пластов взрывными пакерами, ликвидацию аварий в скважинах, боковой отбор пород стреляющими грунтоносами.

Для решения этих задач применяется большая номенклатура прострелочно-взрывных аппаратов (ПВА), зарядов ВВ и средств инициирования, работающих в глубоких скважинах в условиях высоких температур и давлений.

Эффективное и безопасное применение техники и технологии ПВР невозможно без знания основ теории взрыва и взрывчатых веществ, свойств и характеристик взрывчатых материалов, конструкций и особенностей прострелочно-взрывной аппаратуры, оборудования и приборов, соблюдения требований правил безопасности и охраны труда.

1. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ. ВИДЫ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Первое взрывчатое вещество – *черный дымный порох* представляет собой механическую смесь *древесного угля, серы и калиевой селитры*.

Впервые описание порохоподобных смесей для фейерверков дано китайским ученым Сунь-Сымяо в 682 году.

М. Грек (XIII-XIV вв.) описал смеси на основе калиевой селитры, применявшиеся в Византии и названные «греческим огнем».

В Европе первооткрывателями пороха, согласно летописям, следует признать францисканского монаха, англичанина Роджера Бекона (1242 г.), а также францисканского монаха Бертольда Шварца (1354 г.).

В Европе начиная с XIV века черный порох используют, главным образом, в военных целях, в частности, в огнестрельном оружии и для подрыва крепостных стен подземными (минными) зарядами при осаде таких городов, как Будапешт (1489 г.) и Казань (1552 г.).

Начало применения пороха в горном деле, по разным источникам, относят к XVI-XVII вв. Еще в 1548 году в России дымный порох применили для взрывания скал и камней, мешавших судоходству на реках.

Первое применение пороха при взрывных работах на рудниках относится к 1627 году (проходка штольни на руднике в Словакии). При этом порох в бумажных патронах заряжали в шпуров диаметром до 50 мм и глубиной до 1 м, выбуренные вручную. Для водоизоляции патроны покрывали смолой. Заряженные шпуров забивали глиной, а пороховой заряд поджигали с помощью выводной пороховой трубки.

Начиная с 1632 г. порох начали применять при взрывных работах на серебряных рудниках Швеции. К концу XVII века взрывные работы с помощью пороха стали широко распространенными в горной промышленности многих стран.

До середины XIX века *черный порох* оставался практически единственным применяемым взрывчатым веществом (ВВ).

Начиная с последней четверти XVIII века были открыты другие ВВ:

– В 70-80-х годах XVIII века французские химики А. Лавуазье и К. Бертолле изобрели взрывчатую смесь на основе хлората калия (*бертолетовой соли*).

– В 1771 году П. Вульфом был синтезирован *тринитрофенол (пикриновая кислота)*, являющийся мощным бризантным ВВ, но его взрывчатые свойства и способность детонации стали известными лишь в 1873 году благодаря исследованиям Г. Шпренгеля.

В начале XIX века были изобретены новые средства инициирования пороховых зарядов (СИ) и новые ВВ:

– В 1812 году русский ученый П. Л. Шиллинг впервые применил электрический воспламенитель для взрывания пороховых зарядов.

– В 1831 году в Англии был изобретен огнепроводный шнур, который по имени изобретателя называли бикфордовым.

Эти изобретения значительно упростили и сделали более безопасным подрыв пороховых зарядов.

В 1867 году Нобель запатентовал в Великобритании первый **капсюль-детонатор** (запал Нобеля), представляющий собой медную гильзу с начинкой из **гремучей ртути**, которая была открыта еще в 1799 году английским химиком Э. Говардом.

В этом же году А. Нобелем был запатентован динамит – смесевое ВВ на основе нитроглицерина. В последующие годы А. Нобель построил заводы по производству динамита в Германии (Гамбург), Швеции (Стокгольм), Франции и других странах.

Динамиты стали широко применяться во всех странах для разрушения крепких горных пород.

Таким образом было положено начало широкому применению взрывных работ в промышленности способом огневого инициирования:

- **огнепроводный шнур**;
- **капсюль-детонатор**;
- **заряд порошкообразного патронированного ВВ.**

В дальнейшем развитие получили также более стабильные и мощные пластичные ВВ (**желатин-динамиты**), в которых нитроглицерин связан нитроклетчаткой (коллоидным хлопком).

С 1891 года быстро растет производство полученного еще в 1863 году И. Вильдбрандтом **тротила**, основанное на успехах коксохимии, поскольку тротил образуется при нитрации толуола, являющегося продуктом перегонки каменного угля смесью азотной и серной кислот. Высокая безопасность и стойкость тротила обеспечили ему ведущее положение среди других ВВ.

После открытия явления детонации был синтезирован ряд новых взрывчатых веществ:

- В 1887 году К. Мартенсом был получен **тетрил**;
- в 1890 году Т. Курциусом – **азид свинца**;
- в 1894 году Толленом и Виганом – **тэн**;
- в 1897 году Ленце – **гексоген**.

Эти ВВ с начала XX века сами по себе или в составе взрывчатых смесей получили широкое применение в боеприпасах, в средствах инициирования, при производстве взрывных работ.

В 1867 году шведские инженеры И. Норбин и И. Ольсен запатентовали **аммониты**, составы гораздо более безопасные, чем динамиты. Ими были предложены взрывчатые смеси, состоящие из аммиачной селитры и древесного угля или горючих органических соединений.

Широкое применение **аммиачной селитры** в больших масштабах началось после разработки и освоения промышленных методов получения аммиака и азотной кислоты.

С конца 80-х годов XIX столетия начинают широко применять, особенно в угольных шахтах, **аммониты** – механическую смесь аммиачной селитры с различными взрывчатыми и горючими добавками. Использование

аммонитов позволило постепенно заменить динамиты, повысив тем самым безопасность работ в горной промышленности.

В России до 30-х годов XX века преимущественно применялись нитроглицериновые ВВ: **93 % *гремучий студень*, 88 % и 83 % взрывчатые желатины, 62 % динамит**, а также **29 % и 12 % *гризутины*** на аммиачной селитре.

В 1932-1936 годах в связи с возрастанием объема взрывных работ были разработаны и внедрены в производство первые недорогие двухкомпонентные **аммониты**, состоящие из механической смеси ***тротила*** и **аммиачной селитры**. Тогда же была начата разработка мелкодисперсных аммиачно-селитренных смесей взрывчатых смесей без нитросоединений, названных **динамонами**.

С 50-60-х годов XX века в зарубежных странах и в СССР широкое развитие получили гранулированные ВВ, в т. ч.:

- простейшие смесевые ВВ типа АС-ДТ (аммиачная селитра + дизельное топливо) – ***изданиты***,

- гранулиты; гранулированные смеси тротила и аммиачной селитры – ***граммониты***;

- водосодержащие ВВ, получаемые на местах производства взрывных работ из горячих растворов селитр путем смешивания их с твердыми компонентами (тротилом, алюминием, кристаллической селитрой и др.), – **акватола, ифзаниты** и др.

Последние десятилетия широкое применение в мировой практике получили **эмульсионные ВВ** как разновидность простейших аммиачно-селитренных смесей, отличие которых от смесей типа АС-ДТ состоит в том, что в них жидкое горючее покрывает тонкой пленкой капли насыщенного раствора аммиачной селитры, образуя так называемую обратную эмульсию.

Эмульсионные ВВ (***порэммит, сибирит*** и др.) в настоящее время являются наиболее широко применяемым типом ВВ на открытых горных разработках и состоят из эмульсии и газогенерирующей добавки (водного раствора нитрата натрия). Эмульсия изготавливается на стационарных пунктах предприятий, а газогенерирующая добавка вводится при зарядании скважин.

Особую группу занимают ВВ, получаемые из конверсируемых материалов: различных порохов – ***гранипор, граммопор, дибазит*** и др.

Для изготовления кумулятивных и фугасных зарядов прострелочно-взрывных аппаратов применяют индивидуальные химические ВВ и их смеси: ***тротил, гексоген, октоген*** и др.

В настоящее время области применения взрывных работ в промышленности чрезвычайно разнообразны – от горнодобывающих предприятий до металлургических комбинатов, от геологоразведочных и геофизических работ до высокотехнологичных производств, связанных со штамповкой и сваркой крупногабаритных металлических изделий.

Основными (общими) видами взрывных работ в горной промышленности являются:

взрывные работы в подземных выработках и на поверхности угольных и сланцевых шахт, опасных по газу или разрабатывающих пласты, опасные по взрывам пыли;

взрывные работы в подземных выработках и на поверхности угольных и сланцевых шахт, не опасных по газу или разрабатывающих пласты, не опасные по взрывам пыли;

взрывные работы в подземных выработках и на поверхности рудников (объектов горнорудной и нерудной промышленности), опасных по газу или пыли;

взрывные работы в подземных выработках и на поверхности рудников (объектов горнорудной и нерудной промышленности), не опасных по газу или пыли;

взрывные работы на открытых горных разработках.

Кроме общих существует достаточно много видов специальных видов взрывных работ, а именно:

взрывные работы при сейсморазведке, а также при прострелочно-взрывных и иных работах в нефтяных, газовых, водяных и других скважинах;

рыхление мерзлых грунтов, на болотах, взрывание льда, подводные взрывные работы;

разрушение горячих массивов; обработка материалов (резка, сварка, упрочнение, штамповка и др.) энергией взрыва; валка зданий, сооружений, дробление фундаментов и спекшейся руды;

корчевка пней, валка леса, ликвидация заторов при лесосплаве; борьба с лесными пожарами.

К техническому руководству горными и взрывными работами на объектах организаций и предприятий Российской Федерации могут допускаться лица, имеющие законченное горнотехническое (высшее или среднее специальное) образование или окончившие высшие (средние) специальные учебные заведения либо курсы, дающие право технического руководства горными и (или) взрывными работами либо работами со взрывчатыми материалами. При этом во всех случаях руководители взрывных работ должны пройти проверку знаний требований безопасности и получить соответствующее квалификационное удостоверение – «Единую книжку взрывника» («Единую книжку мастера-взрывника»).

Право руководства взрывными работами предоставляется на вид взрывных работ в соответствии со специальностью, по которой проводится обучение.

Право технического руководства взрывными работами (*прострелочно-взрывными работами в нефтяных, газовых, водяных и других скважинах*) предоставляется лицам, окончившим высшие учебные заведения с присвоением квалификации горного инженера по специальности: 080400 – «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых».

Подготовка и обучение взрывников на соответствующий вид взрывных работ проводится по специальным программам, утвержденным Ростехнадзором России, на курсах с выдачей «Единой книжки взрывника» («Единой книжки мастера-взрывника»), дающей право производства взрывных работ.

2. ПОНЯТИЕ О ВЗРЫВЕ И ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВАХ

2.1. Понятие о взрыве. Типы взрывов

Взрыв – это процесс чрезвычайно быстрого выделения энергии в ограниченном объеме, связанный с изменением состояния вещества.

В данном определении важно отметить то, что выделяющаяся при взрыве энергия намного больше энергии, содержащейся в окружающей среде. В зависимости от источника исходной энергии выделившаяся энергия может достигать сотен гигаджоулей на килограмм взрываемого материала. Чрезвычайно быстрое выделение энергии означает, что энергия выделяется быстрее, чем она передается окружающей среде. Выделение энергии при взрывах обычно происходит за миллионные доли секунды.

Поскольку состояние вещества может меняться на разных уровнях, различают три типа взрывов:

Физический взрыв – это процесс, при котором состояние вещества меняется только на физическом уровне без изменения его химического состава. При этом вещество из одного физического состояния (температура, давление, плотность) переходит в другое. Наиболее характерными примерами физического взрыва являются взрывы паровых котлов, баллонов со сжиженными газами, землетрясения с мгновенным выделением упругой энергии и др.

Химический взрыв – это процесс, при котором изменяется химический состав вещества в результате окислительных химических реакций.

Химическим взрывом называется чрезвычайно быстрое выделение тепловой энергии, связанное с изменением химического состава вещества и образованием большого количества газообразных продуктов.

Таким образом, обязательными признаками химического взрыва являются:

- высокая скорость реакции – $400 \div 9000$ м/с;
- большое количество газообразных продуктов – $700 \div 1000$ л/кг;
- высокая температура газообразных продуктов в момент взрыва – $1900 \div 4500$ °С (выделение большого количества тепловой энергии – $3400 \div 6000$ кДж/кг).

Столь высокие температуры газов в момент взрыва имеют место из-за высокой скорости протекания химической реакции, малого времени выделения энергии и незначительного теплообмена продуктов взрыва с окружающей средой.

Только совокупность действия всех трех перечисленных признаков позволяет говорить о явлении химического взрыва.

Энергия, выделяемая при взрыве 1 кг тротила, составляет 4200 кДж/кг, тогда как энергия, выделяемая при сгорании 1 кг керосина, – 47000 кДж/кг, каменного угля – 29000 кДж/кг, березовых дров – более 18000 кДж/кг. Следовательно, потенциальная энергия вещества не является достаточной характеристикой его взрывчатых свойств.

Одной из основных характеристик взрывчатых веществ является скорость распространения реакции. В обычных горючих веществах окислительные реакции, идущие за счет внешнего кислорода, протекают с относительно невысокой скоростью. Во взрывчатых веществах реакция взрывчатого превращения (детонация) распространяется путем окисления горючих элементов кислородом, входящим в состав молекул компонентов ВВ. За счет этого скорость распространения окислительной реакции достигает $2\div 5$ км/с у основных промышленных ВВ.

Поэтому действие взрыва заряда ВВ характеризуется его мощностью. Так, при взрыве патрона аммонита 6ЖВ массой 200 г при энергии взрыва 4190 кДж/кг выделяется 838 кДж.

При скорости детонации $W = 3,5$ км/с время взрыва $t = L_{\Pi} / W = 0,2 / 3500 \approx 5,7 \cdot 10^{-5}$ с, а выделяемая в момент взрыва мощность

$$N = \frac{838 \cdot 10^3}{5,7 \cdot 10^{-5}} \approx 15 \cdot 10^8 \text{ Дж/с (14,6} \cdot 10^6 \text{ кВт)}.$$

Значит, наряду с количеством выделяемой энергии скорость реакции играет важнейшую роль, и реакции, протекающие с выделением большого количества тепла, но с низкой скоростью, взрывом не являются.

Также не являются взрывом реакции, идущие с высокими скоростями, но не являющиеся экзотермическими.

Выделение большого количества газообразных продуктов наряду с двумя другими признаками тоже является неотъемлемым признаком химического взрыва, поскольку при реакции окисления горючих компонентов кислородом обязательно выделяются такие газообразные окислы как углекислый газ CO_2 , вода H_2O (пары) и ряд других газов. Объем газов V_{Γ} зависит от температуры взрыва и определяется по формуле

$$V_{\Gamma} = V_{\text{н}} + V_{\text{н}} \left(\frac{T}{273} \right), \quad (2.1)$$

где $V_{\text{н}}$ – объем газов при нормальной температуре, л;

T – температура газообразных продуктов (до 5000 К).

Газообразные продукты, значительно расширяясь в объеме при высокой температуре, создают давление на стенки зарядной камеры и совершают работу.

Ядерный взрыв – процесс, при котором в результате цепных реакций происходит изменение самого вещества с образованием новых элементов. Известны два способа выделения атомной энергии при взрыве: радиоактивный распад при делении атомных ядер урана и плутония и термоядерный синтез, при котором из тяжелого водорода образуется гелий.

При ядерном и термоядерном взрыве выделяемая энергия (кДж/кг) в миллионы раз больше, чем при химическом взрыве ($6,8 \cdot 10^{10}$ – при ядерном взрыве, $4,2 \cdot 10^{11}$ – при термоядерном).

При взрывных работах в промышленности основным является химический взрыв. Ядерные взрывы, несмотря на многочисленные проекты их использования в промышленности и проведение в Советском Союзе с 1965 по 1988 гг. 128 экспериментальных взрывов, не нашли применения из-за серьезных экологических проблем, связанных с радиоактивным заражением окружающей среды.

2.2. Понятие о взрывчатом веществе

Взрывчатое вещество (ВВ) – это малоустойчивая химическая система, которая под действием внешнего начального импульса (при приложении определенного количества внешней энергии) способна чрезвычайно быстро переходить в более устойчивую химическую систему (взрываться) с выделением большого количества тепловой энергии и газообразных продуктов.

Все взрывчатые химические системы по своему физическому состоянию можно подразделить на 5 классов:

1) смеси газов (водород + кислород; ацетилен + кислород; метан + кислород воздуха и др.);

2) смесь твердых или жидких веществ с газами (угольная пыль + кислород воздуха; сернистая пыль + кислород воздуха; мучная пыль + кислород воздуха и др.; частицы жидкого керосина, бензина, нефти + кислород воздуха);

3) жидкие вещества (нитроглицерин, нитроглицоль);

4) смеси жидких и твердых веществ (гранулит-игданит – аммиачная селитра + дизельное топливо; динамиты – нитроглицерин + диатомит и др.);

5) твердые химические соединения или смеси твердых веществ (тротил; аммониты – аммиачная селитра + тротил и др.).

Смеси первого и второго классов, как правило, взрывчатыми веществами не называют, поскольку одним из необходимых компонентов в них является кислород атмосферы, т. е. процесс взрыва может происходить только на открытом воздухе.

Жидкие взрывчатые вещества (нитроглицерин и другие жидкие нитроэфиры) в чистом виде не находят применения в промышленности из-за своей повышенной опасности (высокой чувствительности к внешним воздействиям).

Практическое применение имеют 4-й и 5-й классы химических взрывчатых систем, которые называются промышленными ВВ (ВВ, допущенными к постоянному применению в определенной отрасли промышленности).

Взрывчатые вещества представляют собой энергетические материалы, в которых за счет взрывчатых превращений потенциальная химическая энергия переходит в работу расширяющихся газообразных продуктов взрыва и ударной волны. Промышленные взрывчатые вещества часто называют химическими, так как взрывчатые превращения происходят в виде химических реакций.

В зависимости от внешних условий различают следующие формы химического превращения взрывчатых веществ.

Детонация – распространение взрыва по массе ВВ со сверхзвуковой, постоянной для данного типа ВВ и диаметра заряда скоростью ($2\div 9$ км/с).

Горение – переменная по скорости (от нескольких миллиметров до сотен метров в секунду) химическая реакция, протекающая по массе ВВ и основанная на теплопередаче.

Термическое разложение – реакция, протекающая в ВВ при температуре ниже температуры вспышки.

Для возбуждения химической реакции в форме взрывчатого превращения необходимо внешнее воздействие на взрывчатое вещество, называемое **инициированием**. Химические реакции взрывчатого превращения начинаются при достижении некоторой критической для данного ВВ температуры. Обеспечить такую температуру можно прямым нагревом (пламенем) или с помощью ударного импульса.

Начальный импульс – это определенное количество внешней энергии, которое необходимо приложить к заряду для начала процесса взрывчатого превращения ВВ.

В зависимости от вида энергии, прилагаемой к заряду ВВ, различают следующие виды начального импульса:

- механический (удар, трение и пр.);
- тепловой (разогрев и поджигание ВВ);
- электрический;
- энергия другого типа ВВ (взрывной начальный импульс).

Механический начальный импульс, широко используемый в военных целях (взрыватели ударного действия, мины и пр.), не применяется в промышленности из-за повышенной опасности, несмотря на то, что многие виды взрывчатых материалов могут взорваться от механического начального импульса. Исключение составляют капсули-воспламенители, применяющиеся в специфической области взрывного дела – прострелочно-взрывных работах в нефтяных и газовых скважинах.

Тепловой начальный импульс применяется только для взрывания черного дымного пороха. Большинство ВВ при поджигании горят с участием кислорода атмосферы, не переходя от горения к детонации. В то же время тепловой начальный импульс используется при производстве взрывных работ в специальных устройствах для инициирования зарядов – детонаторах (капсюлях-детонаторах, электродетонаторах), необходимых для возбуждения начального импульса в зарядах ВВ. Так, в капсулях-детонаторах инициирование первичного инициирующего вещества происходит с помощью снопа искр из огнепроводного шнура (ОШ), а в электродетонаторах – посредством снопа искр от капельки зажигающего состава, воспламеняющейся от нагревающейся нити накаливания.

Сущность **электрического начального импульса** состоит в инициировании заряда ВВ электрической дугой высокого напряжения ($15\div 25$ кВ), возникающей между двумя электродами, помещенными в ВВ. Данный способ

инициирования зарядов применяется в высоковольтных электродетонаторах для обработки материалов энергией взрыва (ЭДВ-1, ЭДВ-2).

Основным видом начального импульса, применяемым в промышленности, является энергия другого типа ВВ (взрывной импульс). Промышленные взрывчатые вещества, за исключением черного дымного пороха, взрываются только от взрывного импульса (энергии другого типа ВВ).

Минимальная величина импульса, вызывающего взрывчатые превращения, называется **чувствительностью** ВВ. Она зависит от химического состава ВВ (типа и силы межатомного взаимодействия, наличия примесей), его физического состояния (плотности, температуры, влажности), массы ВВ, наличия и свойств оболочки и пр.

По чувствительности к внешнему импульсу все взрывчатые вещества разделяются на **первичные инициирующие** и на **вторично-детонирующие ВВ**. Для возбуждения взрыва первичных инициирующих ВВ достаточно с помощью простейшего воздействия (пламени, искры, удара, трения) обеспечить нагревание ВВ до температуры вспышки.

Промышленные ВВ при нагревании их до температуры вспышки воспламеняются, но не взрываются (детонируют). Такие ВВ называют вторично-детонирующими.

Для возбуждения взрыва вторично-детонирующих ВВ необходим существенно более мощный импульс в виде взрыва относительно небольшого по величине заряда ВВ (детонатора), обеспечивающего ударно-волновое возбуждение.

При этом в обоих случаях важно обеспечить достаточный объем первоначально прореагировавшего ВВ. Если такой объем мал, то процесс взрывчатого превращения пойдет с затуханием и взрыва не произойдет.

Критический объем или масса первоначально прореагировавшего ВВ, которые обеспечивают устойчивое протекание взрывчатых превращений, существенно различны для разных типов взрывчатки. Например, у азида свинца (первичного инициирующего ВВ) достаточно взорвать массу в один миллиграмм и взрыв охватит весь заряд. Для тротила минимальная масса составляет десятые доли грамма. Но чтобы инициировать взрыв, например, аммиачной селитры, нужно взорвать не менее нескольких десятков килограммов. Поэтому, в частности, аммиачную селитру, используемую в сельском хозяйстве в качестве удобрения, обычно не считают взрывчатым веществом.

Чувствительность к тепловому воздействию характеризуется **температурой вспышки** ВВ, т. е. той минимальной температурой, при которой реакция термического распада принимает характер теплового взрыва. Температура вспышки большинства промышленных ВВ в обычных условиях находится в пределах 280÷350 °С. Температура вспышки первичных инициирующих веществ – 165÷230 °С.

Важной характеристикой является чувствительность ВВ к воздействию открытого пламени, искры, раскаленных газов. Эта характеристика оценивается **воспламеняющей способностью** ВВ. Критерием ее является количество

тепловой энергии, которое нужно подвести к взрывчатому веществу, чтобы вызвать его воспламенение.

Для промышленных ВВ чувствительность к инициированию характеризуют минимальным зарядом первичного инициирующего ВВ, необходимым для возбуждения детонации.

Чувствительность к механическому воздействию (удару, трению) взрывчатых веществ определяется экспериментально с помощью специальных устройств (см. главу 4). Она возрастает с увеличением степени измельчения ВВ, наличия газовых включений (пузырьков) и твердых частиц.

Взрывчатые вещества, широко используемые в народном хозяйстве, называют промышленными ВВ. К промышленным ВВ относятся химические соединения и смеси, достаточно безопасные в изготовлении и обращении, эффективные в применении, доступные в изготовлении и не меняющие свойств при хранении. Примерно 80 % выпускаемых ВВ используется в горном деле. При их взрыве горючие элементы – водород и углерод – окисляются кислородом, входящим в состав ВВ, в отличие от процесса горения горючих веществ, при котором окисление происходит за счет кислорода воздуха. Благодаря этому при взрыве ВВ обеспечивается высокая скорость химического превращения.

По характеру таких химических реакций можно выделить две группы ВВ.

1. Индивидуальные химические соединения

В таких взрывчатых веществах каждая молекула содержит в себе все необходимое для взрывчатых превращений. Молекулы этих ВВ можно представить в виде двух активных групп атомов: горючих химических элементов – водорода и углерода, разделенных малоактивной преградой от окислителя – кислорода. Такой преградой являются обычно атомы азота, который сам инертен в химическом отношении, поэтому молекула стабильна. Обобщенную химическую формулу большинства индивидуальных химических ВВ можно записать в виде: $C_aH_bN_cO_d$, где a , b , c , d – соответственно количество атомов углерода, водорода, азота и кислорода в молекуле ВВ.

При повышении температуры взрывчатого вещества соответственно увеличивается кинетическая энергия движения атомов в молекуле. При достижении этой энергией определенного предела молекула перестает существовать как единое целое – активные атомные группы освобождаются, неактивные преграды между ними перестают оказывать экранирующее действие и атомы вступают в химическую реакцию.

При взрыве индивидуальных ВВ химическая реакция протекает в одну стадию в виде реакции мономолекулярного распада – внутренне-молекулярных окислительно-восстановительных реакций.

При взаимодействии атомов образуются новые молекулы газообразных соединений, которые имеют большую скорость и несут тем самым большую энергию. Эти газы быстро расширяются и передают окружающей среде энергию своих молекул.

2. Смесевые взрывчатые вещества

Данные ВВ обязательно включают в себя два типа компонентов (химических соединений): горючее и окислитель. В качестве окислителя обычно применяют химическое соединение, содержащее в своем составе кислород, например аммиачная селитра NH_4NO_3 , в качестве горючих компонентов применяют активные химические элементы в чистом виде либо в составе химических соединений – активные металлы, углерод, углеводороды, например дизельное топливо, мазут, различные масла и т. п.

Реакция смесевых ВВ протекает в две стадии:

- 1 – разложение или газификация одного либо нескольких компонентов;
- 2 – реакция окисления кислородом входящих в состав горючих химических элементов. На этой стадии выделяется основная часть энергии при взрыве.

При соединении горючего и окислителя происходит процесс горения, сопровождающийся резким повышением температуры смеси. Образующиеся газообразные продукты, расширяясь, оказывают силовое воздействие на окружающую среду.

Особую группу взрывчатых веществ представляют смеси жидкостей. Одна из этих жидкостей является горючим веществом, другая содержит в составе своих молекул кислород, выделяемый при нагреве. Благодаря интенсивному перемешиванию молекул этих двух жидкостей химические реакции происходят очень быстро и интенсивно. Однако в силу технических трудностей жидкие ВВ не нашли широкого применения в практике взрывных работ.

Некоторые смесевые ВВ могут содержать одно или несколько индивидуальных ВВ с различными добавками, которые вводятся для придания смесям каких-либо специфических свойств. По такому принципу был создан желатин-динамит, состоящий по массе на 93 % из жидкости – тринитроглицерина и 7 % нитроцеллюлозы, которая предназначена для придания смеси желеобразной консистенции с целью формирования патронированных ВВ.

Механические смеси образуют как минимум два химических соединения: окислитель и горючее.

Окислители – вещества, содержащие избыточный кислород, который расходуется при взрыве на окисление горючих элементов. К ним относят аммиачную, калиевую, натриевую селитры, хлораты и перхлораты калия и аммония, жидкий кислород и др.

Горючие добавки – твердые или жидкие вещества, богатые углеродом и водородом, которые легко окисляются и выделяют при этом большое количество тепла. Наиболее распространенными добавками являются тонкоизмельченный уголь, древесная мука, соляровое масло. В качестве горючих веществ используют взрывчатые компоненты (тротил, гексоген и др.), а также активные металлы алюминий, магний, которые вводят в состав смесевых ВВ в мелкодисперсном виде.

Для придания взрывчатому веществу нужных свойств и качеств в его состав могут вводиться следующие компоненты.

Для повышения чувствительности ВВ в него вводят соответствующие добавки – сенсibilизаторы. **Сенсibilизаторы** – вещества, вводимые в состав ВВ для повышения его чувствительности к передаче детонации. В этом качестве применяют мощные ВВ: тротил, нитроглицерин, нитроглицоль, гексоген и др. Сенсibilизаторами могут являться и невзрывчатые вещества, такие как соляровое масло, древесная мука, уголь. Особенно сильно повышают чувствительность к удару и трению примеси абразивных веществ (песка, кусочков горных пород, стекла и т. п.), твердость которых выше твердости ВВ. Эти примеси служат концентраторами энергии, вызывающими локальные очаги воспламенения и взрыва. Так, примесь к тротилу $0,1 \div 0,2$ % песка повышает его чувствительность в $3 \div 5$ раз.

Нередко чрезмерная чувствительность ВВ нежелательна из-за опасности самопроизвольного взрыва при транспортировке и зарядании взрывчатых веществ. В этом случае в состав ВВ вводят соответствующие добавки – флегматизаторы. **Флегматизаторы** – вещества, снижающие чувствительность ВВ к механическому воздействию. Наиболее часто используют вазелин, парафин, различные масла, тальк и др. Эти вещества, обладающие низкой температурой плавления и высокой теплоемкостью, обволакивают частицы ВВ и не вступают с ним в реакцию.

Для повышения стойкости ВВ к внешним условиям используют стабилизаторы. **Стабилизаторы** – вещества, повышающие химическую или физическую стойкость ВВ. В этом качестве обычно используют мел или соду (в динамитах), древесную или торфяную муку (в аммонитах).

При взрывании в опасных условиях наличия горючих газов или тонкодисперсной пыли, способных воспламенить шахтную атмосферу, необходимо снизить температуру продуктов взрыва. Для этого используют специальные пламегасители. **Пламегасители** – химические соединения, снижающие температуру взрыва и уменьшающие опасность воспламенения метановоздушных и пылевоздушных смесей в шахтах, опасных по газу и пыли. К ним относят хлористый натрий, хлористый калий, хлористый аммоний и др.

Наибольшее распространение (не считая военного дела) взрывчатые вещества получили при разработке месторождения полезных ископаемых для разрушения горных пород. Однако взрывчатые вещества применяются и во многих других областях человеческой деятельности.

В нефтяной и газовой промышленности ВВ применяют для перфорации скважин, разрыва продуктивных пластов, ликвидации прихвата или обрыва (перерезания) бурильных (обсадных) труб, разрушения металлических предметов (долот, приборов) в забое скважины и пр. Так, после бурения нефтяной скважины в нее опускают стальные обсадные трубы, которые затем цементируют. Для того чтобы нефть могла поступать из пласта в скважину, необходимо пробить ряд отверстий в трубе и окружающем ее цементном кольце, а также создать в пристволенной зоне систему отверстий и трещин. Такие отверстия получают путем взрыва малых кумулятивных зарядов ВВ, а также выстрелами пуль из специальных устройств, называемых перфораторами.

Широко используются ВВ при сейсморазведке для создания упругих волн, «просвечивающих» массив и дающих информацию о его строении и свойствах. При этом заряды могут подвешиваться в воздухе, закладываться в грунт или воду.

2.3. Кислородный баланс ВВ

Любое химическое взрывчатое вещество содержит в своем составе, как правило, одни и те же компоненты: углерод (С), водород (Н), азот (N), кислород (О). Тогда общую формулу индивидуального взрывчатого вещества можно записать в общем виде следующим образом: $C_aH_bN_cO_d$, где a, b, c, d – соответственно количество атомов углерода, водорода, азота и кислорода в молекуле ВВ.

Из вышеперечисленных элементов углерод, водород, а также алюминий (в составе смесевых ВВ) являются горючими, кислород – окислителем, азот при обычных условиях нейтрален.

При окислении кислородом углерода высшим оксидом является углекислый газ CO_2 , при недостатке кислорода образуется промежуточный оксид СО (угарный газ); при окислении водорода образуется вода H_2O .

Кислородный баланс ВВ (КБ) – это соотношение между массой избыточного или недостающего кислорода, необходимого для окисления горючих элементов, входящих в состав ВВ, до их высших оксидов, и общей массой молекул, участвующей в реакции взрывчатого превращения (определяется в процентах).

Для окисления всех атомов (грамм-атомов) углерода до высшего оксида CO_2 необходимо $2a$ атомов (грамм-атомов) кислорода, для окисления всех атомов (грамм-атомов) водорода – $0,5b$ атомов (грамм-атомов) кислорода. Тогда кислородный баланс ВВ может быть определен по следующей формуле, %:

$$КБ = \frac{16 \cdot [d - (2a + 1/2b)]}{M}, \quad (2.2)$$

где $M = 12a + b + 14c + 16d$ – молекулярная (молярная) масса ВВ.

В качестве примера определим кислородный баланс для такого широко распространенного ВВ, как тротил $C_7H_5(NO_2)_3$:

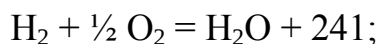
$$КБ = \frac{16 \cdot (6 - 14 - 2,5)}{227} \cdot 100 = -74 \, \%.$$

Кислородный баланс может быть положительным, отрицательным и нулевым. При положительном кислородном балансе количество кислорода в ВВ превышает количество, необходимое для полного окисления горючих элементов; при отрицательном – недостаточно для полного окисления всех горючих элементов; при нулевом – в составе ВВ содержится точно такое количество кислорода, которое необходимо для полного окисления горючих элементов. Такое соотношение компонентов называется *стехиометрическим*.

При взрыве ВВ с нулевым кислородным балансом образуются в основном пары воды, углекислый газ, свободный азот и минимальное количество ядовитых газов.

В этом случае при взрыве ВВ образуется минимальное количество вредных газов и выделяется максимальное количество энергии. Полное окисление горючих элементов, кДж/моль, – это:

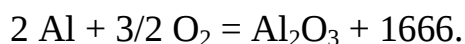
- окисление водорода в воду



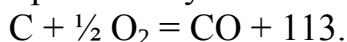
- окисление углерода в углекислый газ



- окисление металлов в их высший окисел, например для алюминия



При *отрицательном* кислородном балансе, т. е. при недостатке кислорода, в результате взрыва образуется ядовитая для человека окись углерода СО (угарный газ) вместо нейтрального углекислого газа СО₂, кДж/моль:



При взрыве ВВ с отрицательным кислородным балансом образуется значительное количество ядовитого оксида углерода СО. Образование этого оксида идет с выделением меньшего количества тепла, чем образование углекислого газа. При взрыве ВВ с положительным кислородным балансом избыточный активный атомарный кислород при высокой температуре вступает в реакцию с азотом с образованием большого количества высокотоксичных оксидов азота: NO, NO₂, N₂O₅. Реакции образования оксидов азота эндотермичны (идут с поглощением тепла).

Таким образом, наиболее эффективными с энергетической точки зрения являются взрывчатые вещества с нулевым кислородным балансом, при взрыве которых выделяется максимальное количество энергии.

2.4. Ядовитые газы взрыва

Оксид углерода СО (угарный газ) образуется при взрыве ВВ с недостаточным количеством кислорода (отрицательным кислородным балансом). Отравляющее действие оксида углерода основано на его способности при вдыхании образовывать прочные соединения с эритроцитами (красными кровяными тельцами), являющимися переносчиками кислорода из легких к тканям, из-за чего человеческий организм начинает испытывать кислородное голодание, приводящее к головокружению, тошноте, обморочным состояниям. При больших концентрациях СО (> 1 %) наступает смерть. Предельно допустимая концентрация оксида углерода в соответствии с требованиями правил безопасности составляет 0,0017 % (по объему).

Оксиды азота NO, NO₂, N₂O₅, образование которых связано с окислением азота взрывчатого вещества свободным атомарным кислородом при высокой

температуре взрыва. Оксиды азота при вдыхании в легкие, вступая в реакцию с водой, образуют азотную и азотистые кислоты, действие которых приводит к отеку легких и к смерти. Особую опасность оксиды азота представляют из-за того, что они способны накапливаться в организме в течение 4-6 часов. Поэтому по токсическому действию они считаются в 6,5 раз более ядовитыми, чем оксид углерода. Предельно допустимая концентрация оксидов азота в атмосфере составляет по объему 0,00026 %.

Кроме этих ядовитых газов, при взрывании в сульфидных рудах могут образовываться сероводород H_2S (ПДК – 0,00066 %) и сернистый ангидрид SO_2 (ПДК – 0,00071 %), при вдыхании которых происходит острое раздражение дыхательных путей и отек легких. По токсичности эти газы в 2,5 раза более токсичны, чем оксид углерода.

При производстве взрывных работ в подземных горных выработках, где избыточное количество ядовитых газов приводит к серьезным проблемам с проветриванием, допускается применение ВВ только с нулевым и близким к нулю (± 3 %) кислородным балансом. Поскольку точно выдержать нулевой кислородный баланс невозможно, критерием для отнесения ВВ к нулевому кислородному балансу является выделение не более 40 л ядовитых газов при взрывании 1 кг ВВ.

Для оценки степени токсичности нескольких ядовитых газов, содержащихся в атмосфере, производят пересчет их концентрации на условный оксид углерода по формуле:

$$CO_{\text{усл}} = CO + 6,5(NO + NO_2 + N_2O_5) + 2,5(H_2S + SO_2). \quad (2.3)$$

Суммарное количество ядовитых газов в атмосфере рабочих мест не должно превышать 0,008 % (по объему).

2.5. Формы химического превращения ВВ

Химическое превращение ВВ может протекать в различных формах, основными из которых являются:

- 1) медленное химическое превращение (термический распад);
- 2) горение;
- 3) взрывное горение;
- 4) детонация.

Медленное химическое превращение (термическое разложение) представляет собой процесс распада вещества в течение длительного времени и характеризуется тем, что все разлагающееся вещество находится при одинаковой температуре, практически равной температуре окружающей среды. Скорость реакции соответствует этой температуре и во всех точках одинакова. Закономерности медленного химического превращения ВВ принципиально не отличаются от закономерностей превращений невзрывчатых веществ.

Медленное химическое превращение ВВ возможно в процессе изготовления, хранения и даже в процессе применения ВВ. Обычно начало медленного химического превращения связано с неблагоприятными условиями

для ВВ (повышенная температура, влажность, наличие примесей-катализаторов и др.).

Наиболее опасными с позиций термического разложения являются нитроэфирсодержащие ВВ, в процессе хранения которых возможно начало медленного химического превращения.

Современный ассортимент промышленных ВВ при условии правильного хранения является стойким в химическом отношении. В то же время при наличии неблагоприятных условий (повышенная температура, наличие кислотных вод) термическое разложение взрывчатых веществ возможно.

Горение ВВ (скорость от сантиметров до десятков метров в секунду) как форма химического превращения характерно для большинства промышленных ВВ. Горение происходит за счет внешнего кислорода, однако при больших количествах ВВ или при горении в замкнутых объемах из-за отсутствия оттока тепла возможно повышение температуры и переход во взрыв – высшие формы химического превращения ВВ.

Горение как форма химического превращения используется при уничтожении недоброкачественных ВВ.

При взрывном горении (скорость распространения от 400 до 1500 м/с) окисление горючих компонентов ВВ происходит за счет внутреннего кислорода взрывчатого вещества. Распространение реакции при взрывном горении происходит за счет теплопередачи, т. е. ранее прореагировавшие слои ВВ передают тепловую энергию (поджигают) следующим слоям.

В форме взрывного горения происходит взрыв черного дымного пороха, инициируемого тепловым начальным импульсом.

Детонация – распространение взрыва, обусловленное прохождением по заряду ВВ детонационной волны со сверхзвуковой скоростью. Детонация – это высшая форма химического превращения ВВ, протекающая с наибольшей скоростью (1500÷9000 м/с) и максимальным выделением энергии.

Медленное химическое превращение (термический распад), горение, взрывное горение и детонация являются основными формами химического превращения взрывчатых веществ. Они могут переходить одна в другую. Так, например, медленное химическое превращение больших объемов ВВ при недостаточном теплоотводе может переходить в горение, а горение – в детонацию. Могут происходить и обратные процессы – при неправильных параметрах взрывных работ (в частности, из-за недостаточно эффективного инициирования зарядов) детонация может переходить во взрывное горение и горение (дефлаграция).

3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ДЕТОНАЦИИ

3.1. Понятие о детонации

В общем случае под процессом детонации понимают перемещение зоны химического превращения ВВ по заряду. В соответствии с гидродинамической теорией детонацию можно рассматривать как совокупность физического процесса распространения ударной волны и химического превращения взрывчатого вещества. Взрыв капсюля-детонатора аналогичен гидравлическому удару, энергия которого должна быть достаточной для преодоления инерции прилегающего слоя взрывчатого вещества. Вследствие активации молекул начинается химическая реакция ВВ и освобождается энергия, которая, в свою очередь, при дальнейшем развитии взрывчатого превращения передает ударный импульс по взрывчатому веществу. При взрывчатом превращении вещества образуются газообразные продукты детонации (ПД), которые движутся вслед за фронтом химического превращения с некоторой скоростью u . Если процесс происходит без потерь энергии, то скорость детонации равна сумме скорости звука C в данной среде и скорости ПД:

$$D = C + u. \quad (3.1)$$

В соответствии с гидродинамической теорией, процесс детонации можно разделить на три стадии:

- механическое сжатие слоя ВВ при ударном импульсе инициатора;
- нагрев слоя ВВ, который вследствие высокой скорости ударного сжатия происходит без теплообмена с окружающей средой (адиабатический процесс);
- экзотермическое (т. е. с выделением теплоты) разложение слоя ВВ под действием высокой температуры.

Детонация представляет собой процесс распространения по взрывчатому веществу со сверхзвуковой скоростью зоны химической реакции вслед за **ударной волной** – областью сжатия с резким скачком давления, температуры и плотности на переднем фронте.

Изменение параметров среды при прохождении ударной волны по цилиндрическому заряду ВВ показано на рис. 3.1.

Совокупность ударной волны 2 и зоны химической реакции 7 называется детонационной волной 1 (см. рис. 3.1).

Под действием ударной волны происходит разрушение молекул ВВ, и освобожденные от первоначальных связей, нагретые до высокой температуры горючие элементы и кислород в пределах зоны химической реакции вступают в реакцию с выделением тепла и превращением ВВ в газообразные продукты взрыва.

В зоне химической реакции распространяется фронт расширения продуктов взрыва 3, а с периферии к центру заряда по наклонной к оси заряда плоскости распространяется фронт волны разряжения 4.

В центре зоны химической реакции в виде конуса формируется зона нерасширившихся газов 5, от устойчивости которой зависит устойчивость процесса детонации в целом.

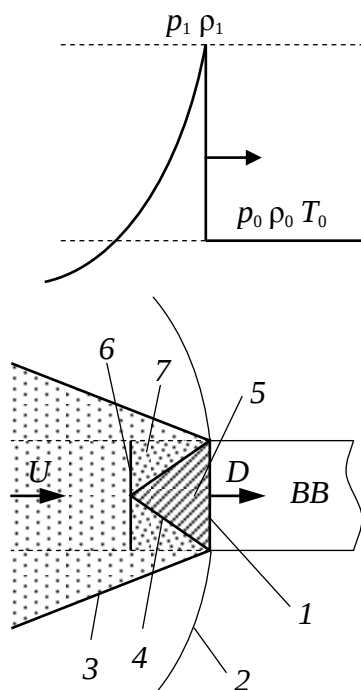


Рис. 3.1. Схема детонации открытого цилиндрического заряда:
1 – детонационная волна; 2 – ударная волна;
3 – фронт расширения продуктов взрыва;
4 – фронт волны разрежения;
5 – зона нерасширившихся газов;
6 – плоскость Чепмена-Жуге;
7 – зона химической реакции

Первые математические модели детонационной волны, опирающиеся на теорию ударных волн в газах, были созданы в виде гидродинамических теорий детонации в конце XIX века В. А. Михельсоном в России, Д. Л. Чепменом в Англии и Е. Жуге во Франции.

Рассмотрим диаграмму детонационной волны в координатах давление (p) – объем (V) (рис. 3.2). Исходное вещество с параметрами p_0V_0 (точка A) сжимается в фронте ударной волны до состояния p_1V_1 (точка B), при котором в результате адиабатического сжатия и разогрева возникает экзотермическая реакция взрывчатого превращения, заканчивающаяся в точке C , называемой точкой Чепмена-Жуге и лежащей на адиабате EC продуктов детонации (адиабате Гюгонио). Процесс превращения сопровождается расширением нагретых газообразных продуктов детонации, поэтому давление продуктов детонации в плоскости Чепмена-Жуге примерно в 2 раза ниже, чем в точке B , т. е. на фронте волны сжатия.

За плоскостью Чепмена-Жуге (точка C) по адиабате CF происходит дальнейший спад давления продуктов детонации вследствие их расширения. Пря-

Зона химической реакции ограничивается плоскостью Чепмена-Жуге. Ширина волны сжатия в заряде не превышает длину свободного пробега молекулы, а ширина зоны химической реакции изменяется от 1 до 40 мм в зависимости от состава и дисперсности ВВ.

Характерные особенности детонационной волны:

- 1) скорость распространения детонационной волны D всегда выше скорости звука в данной среде;
- 2) на фронте детонационной волны происходит скачкообразное повышение давления, плотности и температуры вещества;
- 3) продукты взрыва смещаются вслед за ударной волной со скоростью U ;
- 4) скорость ударной волны зависит от величины сохранившегося и поддерживаемого энергией зоны химической реакции давления на фронте волны.

мая AB , являющаяся касательной к адиабате Гюгонио в точке Чепмена-Жуге, называется прямой Михельсона.

На профиле детонационной волны, построенном в координатах давление (p) – расстояние (x) (рис. 3.3), адиабатическому сжатию вещества соответствует прямая AB .

Небольшой угол ее наклона к оси ординат свидетельствует о крайне малом времени пребывания вещества в волне и малой толщине сжимаемого слоя. Участок BC на кривой падения давления соответствует зоне химической реакции, а совпадающей с линией Михельсона точке C – перехода от линии Михельсона к адиабате Гюгонио соответствует плоскость Чепмена-Жуге. Участок кривой CD характеризует спад давления в расширяющихся продуктах детонации.

Вещество при сжатии переходит в состояние, описываемое уравнением

$$P_1 = P_0 + \frac{D^2(V_0 - V_1)}{V_0}. \quad (3.2)$$

Если в зоне химической реакции выделяется определенное количество тепла, то изменяется и состояние вещества, описываемое уравнением другой адиабаты, проходящей выше адиабаты исходного вещества. При этом адиабата Гюгонио для конечных продуктов детонации должна располагаться выше всех промежуточных адиабат, так как к этому моменту выделится вся энергия.

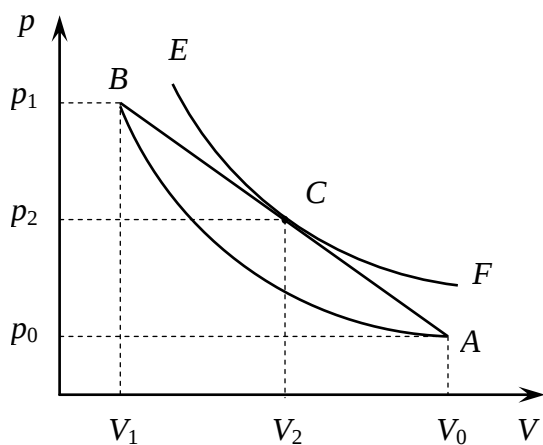


Рис. 3.2. Диаграмма детонационной волны

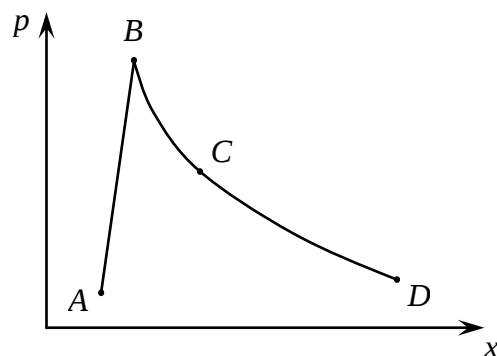


Рис. 3.3. Профиль детонационной волны

Условие касания адиабаты Гюгонио с прямой Михельсона имеет вид:

$$\frac{P_2 - P_0}{V_0 - V_2} = - \left(\frac{dp}{dV} \right)_2. \quad (3.3)$$

Головную часть волны химической реакции принято называть химическим пиком (участок BC на рис. 3.3). В зоне химического пика местная скорость звука в продуктах детонации, а следовательно, и скорость распространения выделившейся теплоты, выше скорости детонационной волны относительно продуктов детонации. Благодаря этому происходит «подпитка» дето-

национной волны за счет выделившейся в химическом пике энергии, что обеспечивает ее устойчивость и самораспространение.

Основным условием устойчивости детонации заряда ВВ является преобладание количества энергии, выделившейся в зоне химического пика, над потерями энергии в этой зоне вследствие расширения продуктов детонации. И наоборот, детонация становится неустойчивой, и ее скорость снижается, если потери теплоты при расширении продуктов детонации превысят количество теплоты, выделившейся в зоне химического пика.

3.2. Параметры взрывчатого превращения

Основными параметрами взрыва являются:

скорость детонации D ;

теплота взрыва Q ;

температура взрыва T ;

давление детонации P ;

объем продуктов взрыва V_0 .

Скорость детонации ВВ в определенных условиях взрывания является величиной постоянной, но она может изменяться в широких пределах в зависимости от совокупного влияния различных факторов, таких как степень дисперсности ВВ, плотность и диаметр заряда, наличие прочной оболочки и др.

Скорость детонации в конкретных условиях взрывания зависит от энергии ВВ, а также от его плотности и может быть определена экспериментально или рассчитана по формуле

$$D = \sqrt{2Q_V(n-1)}, \quad (3.4)$$

где Q_V – теплота взрыва при постоянном объеме;

n – показатель политропы (адиабаты), приблизительно равный 3.

Теплотой взрыва называется количество тепла, выделяемое при взрывчатом превращении 1 кг или 1 моля ВВ. Теплота взрыва, являющаяся одной из основных, наиболее важных характеристик ВВ, определяет его мощность и может быть вычислена по формуле

$$Q_v = q_1 - q_2, \quad (3.5)$$

где q_1 – теплота образования продуктов взрыва;

q_2 – теплота образования исходного ВВ или его составных частей.

Экспериментальное определение количества тепловой энергии, выделяемой при взрывчатом превращении единицы массы ВВ, определяют калориметрическим методом. Калориметр представляет собой термостат с бурно перемешиваемой жидкостью (обычно водой). В центр калориметра помещают бомбу, в которой взрывают заряд испытуемого ВВ. О теплоте взрыва судят по изменению температуры жидкости в калориметре.

Теплота взрыва для большинства промышленных ВВ составляет 2000÷5000 кДж/кг.

Температурой взрыва называется максимальная температура, до которой нагреваются продукты взрыва за счет теплоты взрывчатого превращения. Температуру взрыва T (°C) обычно определяют по формуле:

$$T = \frac{Q_v}{C_v} + 273, \quad (3.6)$$

где C_v – средняя теплоемкость продуктов взрыва при постоянном объеме.

Состав продуктов взрыва экспериментально определяют в бомбах Би-хеля или Долгова методами газового анализа после взрыва заряда ВВ. Температура газообразных продуктов взрыва достигает 2500÷4000 °C.

Измерение *температуры* продуктов детонации производится путем анализа излучения детонационного фронта с помощью пирометров, светочувствительным приемником которых являются фотоэлектронные умножители. Наиболее распространенным способом измерения температуры является сравнение интенсивности (яркости) излучения фронта детонации и эталонного источника света, для которого известна зависимость яркости излучения от температуры. Реже температура определяется путем спектрального анализа излучения (цветовой метод).

Давление детонации (давление на фронте ударной волны) пропорционально плотности ВВ и квадрату скорости его детонации и может быть приближенно вычислено по формуле:

$$P = \frac{\rho_0 D^2}{n+1} = \frac{\rho_0 D^2}{4}, \quad (3.7)$$

где ρ_0 – массовая плотность ВВ, равная ρ/g ;

g – ускорение свободного падения.

Для промышленных ВВ давление детонации изменяется от 5000 до 25000 МПа.

При инженерных расчетах пользуются понятием среднее давление детонации – давление газообразных продуктов взрыва до начала расширения (разрушения) зарядной полости.

Среднее давление детонации определяется по формуле

$$P_{cp} = \frac{P_{max} - P_{min}}{4} = \frac{\rho_0 D^2}{8}. \quad (3.8)$$

Давление газообразных продуктов взрыва в объеме V зарядной камеры в момент взрыва при плотности заряжания 500÷1000 кг/м³ определится объединенным законом Бойля-Мариотта и Гей-Люссака с поправкой Ван-дер-Ваальса:

$$P = \frac{P_0 V_{ПВ} T_{взр}}{273 \cdot (V - \alpha)}, \quad (3.9)$$

где $P_0 = 0,1$ МПа – атмосферное давление;

$V_{\text{ПВ}}$ – объем, занимаемый газообразными продуктами при $P_0 = 0,1$ МПа и температуре 0°C ;

$T_{\text{взр}}$ – температура взрыва по Кельвину;

α – поправка, учитывающая собственный объем молекул продуктов взрыва, – несжимаемая часть газа или *коволум*, м^3 .

В общем случае $\alpha = (0,0006 \div 0,001) V_{\text{ПВ}}$. Причем давление газообразных продуктов не является константой, оно непрерывно изменяется в ходе развития взрыва в горных породах.

Объем газообразных продуктов взрыва определяется на основе закона Авогадро, в соответствии с которым объем, занимаемый одним молем газа при температуре 0°C и давлении $0,1$ МПа (1 атмосфера), равен $22,4$ л. Тогда объем ПВ ($\text{м}^3/\text{кг}$) для одного моля индивидуального ВВ

$$V_{\text{ПВ}} = \frac{22,4 \cdot (n_1 + n_2 + \dots + n_n)}{M}, \quad (3.10)$$

для многокомпонентного смесового ВВ

$$V_{\text{ПВ}} = \frac{22,4 \cdot (n_1 + n_2 + \dots + n_n)}{M_1 m_1 + M_2 m_2 + \dots + M_n m_n}, \quad (3.11)$$

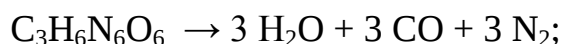
где $n_1, n_2, \dots$ – количество грамм-молекул газообразных ПВ;

$M_1, M_2, \dots$ – молекулярные массы составных частей ВВ;

$m_1, m_2, \dots$ – количество грамм-молекул составных частей ВВ;

M – молекулярная масса ВВ, г-моль.

В частности, при взрыве 1 кг гексогена ($M = 222$ г-моль) состав газообразных продуктов можно определить из уравнения реакции взрывчатого разложения, а его объем по формуле (3.10)



$$V_{\text{ПВ}} = \frac{22,4 \cdot (3 + 3 + 3)}{222} = 0,908 \text{ м}^3.$$

При взрывчатом разложении 1 кг промышленных ВВ выделяется $0,6 \div 1,0 \text{ м}^3$ газообразных продуктов.

3.3. Факторы, влияющие на скорость и устойчивость детонации

Устойчивой называется детонация заряда ВВ с постоянной, характерной для условий взрывания скоростью. Поэтому устойчивость детонации, как правило, характеризуется скоростью детонации.

Все факторы, влияющие на скорость и устойчивость детонации ВВ в заряде, можно разделить на две группы:

факторы, зависящие от типа ВВ и его состояния (дисперсность, чувствительность к начальному импульсу и др.);

факторы, зависящие от условий взрывания зарядов ВВ (плотность ВВ, диаметр заряда ВВ, наличие прочной оболочки; мощность начального импульса и др.).

3.3.1. Тип ВВ

С увеличением теплоты взрыва ВВ скорость его детонации, как правило, растет. ВВ с большой теплотой взрыва при одинаковых условиях детонируют более устойчиво, особенно в зарядах малого диаметра (менее 25 мм).

3.3.2. Мощность начального импульса

Для инициирования любого заряда промышленного ВВ необходим достаточно мощный точечный источник (детонатор), который вызовет начальную детонацию в критической массе инициируемого заряда и обеспечит самораспространение детонации по массе ВВ с характерной для него скоростью.

Если скорость ударной волны, передаваемой детонатором, меньше скорости звука в инициируемом заряде, то возможность развития детонации в нем исключается. При скорости ударной волны в инициаторе, близкой к скорости звука в заряде ВВ, процесс возникновения и развития детонации носит вероятностный характер, при этом возможны следующие варианты событий:

- затухание детонационной волны;
- воспламенение ВВ с последующим переходом в детонацию;
- детонация с самоускорением реакции до нормальной скорости для данного ВВ.

Причем чем выше скорость детонации инициирующего заряда, тем выше надежность возбуждения детонации. Влияние мощности (скорости детонации) инициатора сказывается лишь на начальном участке развития детонации, где в зависимости от величины импульса может быть получена скорость детонации основного заряда выше или ниже характерной для данного диаметра заряда, но в любом случае на участке $1 \div 2$ диаметра заряда скорость стабилизируется (рис. 3.4).

С этой точки зрения для инициирования любого заряда ВВ необходимо применение детонатора со скоростью детонации не ниже, чем у основного заряда ВВ. При невыполнении данного условия детонация в заряде может затухнуть.

Поэтому на практике для обеспечения надежности возбуждения детонации ВВ, содержащиеся в детонаторах, обладают более высокой скоростью детонации по сравнению с ВВ, находящимися в составе инициируемых зарядов.

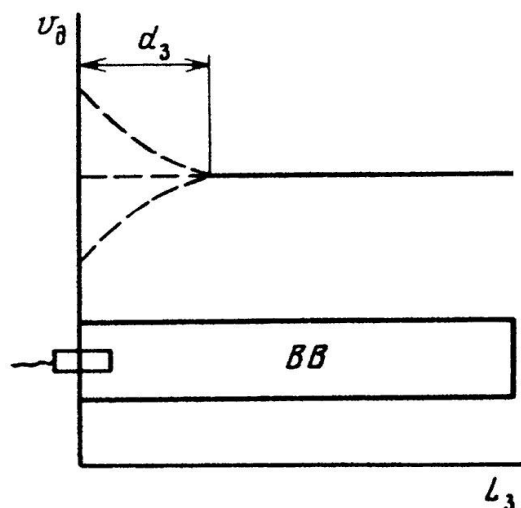


Рис. 3.4. Изменение скорости детонации заряда ВВ от мощности начального импульса

3.3.3. Дисперсность частиц ВВ

Крупность частиц ВВ не оказывает непосредственного влияния на скорость детонации. Однако с увеличением размера ВВ заметно возрастает значение критического диаметра заряда. Так, крупнодисперсные ВВ (гранулиты) имеют существенно большие значения критического заряда, чем ВВ такого же состава порошкообразной структуры.

3.3.4. Диаметр заряда

Каждое ВВ характеризуется двумя диаметрами заряда, определяющими скорость и устойчивость детонации, – критическим и предельным.

Критическим диаметром $d_{кр}$ называется такой диаметр заряда, при дальнейшем уменьшении которого детонация заряда ВВ становится неустойчивой, т. е. может происходить ее затухание (рис.3.5).

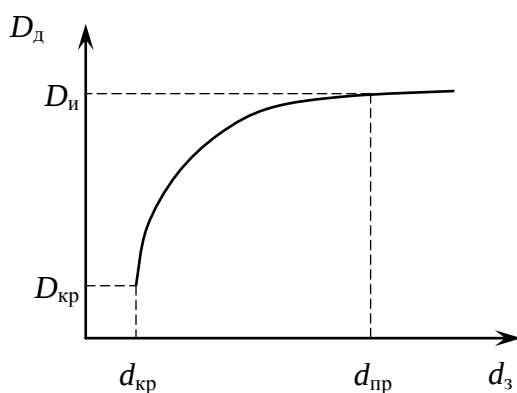


Рис. 3.5. Зависимость скорости детонации от диаметра заряда

Предельным диаметром $d_{пр}$ называется диаметр заряда, обеспечивающий максимальную скорость детонации ВВ, при дальнейшем увеличении которого скорость детонации заряда ВВ не увеличивается.

При увеличении диаметра заряда от критического до предельного скорость детонации возрастает до максимального значения.

Детонация может устойчиво распространяться по заряду только в том случае, если продолжительность реакции частиц ВВ в волне τ меньше времени выброса вещества в радиальном направлении за пределы заряда θ . В соответствии с этим условием минимальный диаметр заряда, при котором обеспечивается устойчивое распространение детонации (критический диаметр), может быть найден из условия совместного решения следующих уравнений: $\tau = a / (D - U)$; $\theta = d_з / (2\omega)$; $d_{кр} = 2\omega\tau$; где a – ширина зоны химической реакции; $d_з$ – диаметр заряда; U – массовая скорость веществ в точке Чепмена-Жуге; ω – скорость волны разрежения, равная скорости звука (c) в расширяющихся продуктах детонации (рис. 3.6).

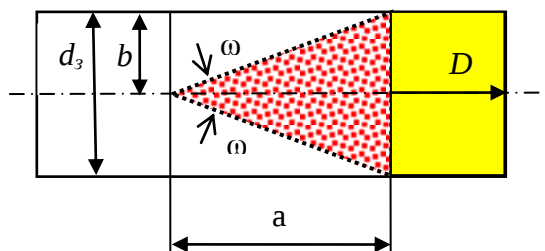


Рис. 3.6. К расчету критических параметров устойчивой детонации

При $\tau < \theta$ детонация в заряде затухает, так как волна разрежения проникает на глубину b (глубина проникновения волны разрежения в заряд) к оси заряда в пределах зоны химической реакции впереди плоскости Чепмена-Жуге, то есть расширение продуктов детонации начинается до завершения химической реакции. При $d_3 = d_{кр}$ должно соблюдаться условие $\tau = \theta$.

Приблизительно величину критического диаметра для открытого цилиндрического заряда можно определить по формуле Ю.Б. Харитона: $d_{кр} \approx 2c\tau$, при этом минимальная скорость устойчивого распространения детонации по заряду – $D_{min} \approx 2c$.

3.3.5. Оболочка вокруг заряда

Прочная оболочка, окружающая заряд ВВ, затрудняет разлет продуктов детонации и препятствует формированию в них волны разрежения, движущейся к центру заряда. Наличие оболочки практически не оказывает влияния на скорость детонации зарядов индивидуальных ВВ большой плотности и, наоборот, в значительной степени определяет скорость и устойчивость детонации зарядов смесевых ВВ.

Прочная оболочка за счет сдерживания разлета продуктов детонации в зоне химической реакции позволяет уменьшить критический диаметр заряда ВВ, то есть обеспечить устойчивую детонацию при меньших диаметрах заряда (рис. 3.7).

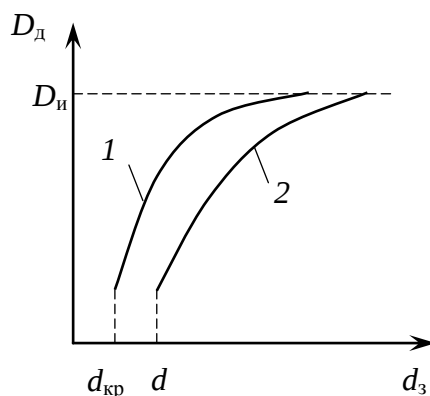


Рис. 3.7. Зависимость скорости детонации от наличия оболочки:

1 – без оболочки; 2 – с оболочкой

Исходя из приведенных выше сведений, рекомендуется тщательно заполнять шпуры взрывчатым веществом. В таком случае горная порода представляет собой прочную оболочку. Это позволит при прочих равных условиях повысить скорость детонации заряда ВВ.

3.3.6. Плотность

Для каждого ВВ существует насыпная, оптимальная и критическая плотность. Скорость детонации в значительной мере зависит от изменения плотности ВВ в заряде (рис. 3.8). Так, с увеличением плотности индивидуальных ВВ скорость детонации возрастает до максимальных значений (кривая 1), что объясняется увеличением концентрации энергии в единице объема.

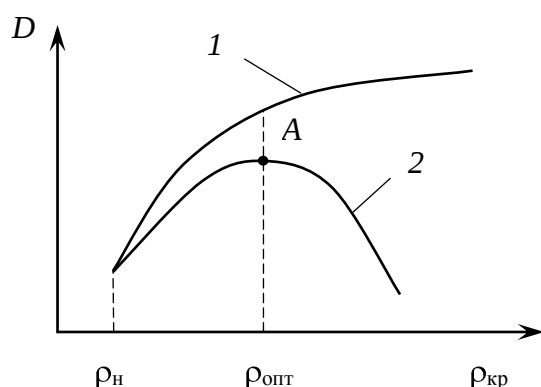


Рис. 3.8. Зависимость скорости детонации от плотности ВВ:
1 – для индивидуальных ВВ;
2 – для смесевых ВВ

Влияние плотности на скорость и устойчивость детонации смесевых ВВ значительно сложнее. При увеличении плотности смесевых ВВ от насыпной ρ_n до оптимальной $\rho_{опт}$ скорость детонации D возрастает до максимальной величины (точка A на кривой 2), поскольку с уменьшением расстояния между частицами ВВ улучшаются условия теплопередачи от частицы к частице и пополнения энергией волны сжатия, распространяющейся по заряду, а также условия взаимодействия химических элементов, образовавшихся в

процессе первичного превращения. При дальнейшем увеличении плотности до критического значения $\rho_{кр}$ уменьшается свободная, не контактирующая поверхность частиц ВВ, что затрудняет восприятие частицами теплоты. Также затрудняются процессы диффузионного смешивания продуктов первичного распада, необходимые для вторичных реакций с высоким тепловыделением. Кроме того, аммиачная селитра, входящая в состав большинства ВВ, при этих плотностях ведет себя как инертное вещество, поглощающее тепло и не поддерживающее окислительные реакции. Все вышеперечисленные факторы препятствуют распространению детонации по заряду ВВ.

Аммиачно-селитренные ВВ в процессе хранения из-за высокой гигроскопичности могут слеживаться (уплотняться). Поэтому с целью предотвращения отказов (невосприимчивости иницирующего импульса) или неполноты взрыва (затухания детонации в заряде) согласно требованиям «ПБ при взрывных работах» порошкообразные взрывчатые вещества на основе аммиачной селитры в патронах и мешках перед применением должны быть размяты без нарушения целостности оболочки.

4. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ, БЕЗОПАСНОСТИ И КАЧЕСТВА ВВ

4.1. Работа взрыва

При практическом использовании взрывчатых веществ основной целью является получение механической работы в той или иной форме.

Общая энергия (теплота), характеризующая возможную работу взрыва и совершаемая за счет выделения тепла, кДж:

$$E = E_0 \cdot Q, \quad (4.1)$$

где E_0 – удельная теплота взрыва, кДж/кг;

Q – масса заряда, кг.

Превращение потенциальной химической энергии в тепловую может быть в определенных условиях неполным. Возникают потери, которые называют химическими. **Химические потери** связаны, в первую очередь, с поверхностным слоем взрывчатого вещества, который разлагается не полностью или даже частично разбрасывается. Толщина разбрасываемого слоя ВВ пропорциональна его критическому диаметру.

Вычитая из потенциальной химической энергии ВВ величину химических потерь, получаем **полную тепловую энергию взрыва**. В свою очередь, превращение тепла в работу в любом реальном процессе связано с **тепловыми потерями** (остаточная теплота газообразных продуктов взрыва, нагревание окружающей среды).

Полной работой взрыва называют всю сумму форм механической работы взрыва, которая расходуется на разрушение и перемещение среды (породы), возбуждение сейсмических и воздушных волн. Полная работа взрыва (рис. 4.1) составляет некоторую часть общей энергии (теплоты взрыва), кДж:

$$A_{\Pi} = E \cdot \tau_{0.x}, \quad (4.2)$$

где $\tau_{0.x}$ – общий химический КПД взрыва (0,6÷0,8).

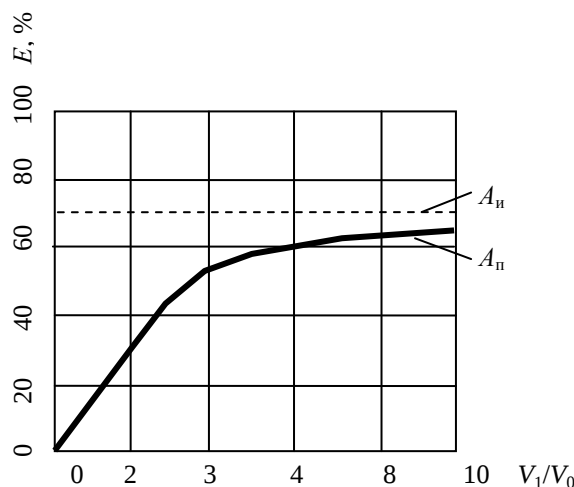


Рис. 4.1. Работа газов взрыва сосредоточенного заряда в воздухе

За вычетом химических и тепловых потерь оставшая энергия переходит в механическую работу взрыва. В соответствии с законами термодинамики *полную идеальную работу* взрыва в воздухе можно определить по формуле

$$A_{и} = E \left[1 - \left(\frac{V_0}{V_1} \right)^{\gamma-1} \right] = E \left[1 - \left(\frac{1}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right], \quad (4.3)$$

где $A_{и}$ – полная идеальная работа газов взрыва при расширении их до атмосферного давления;

E – теплота взрыва;

V_0 и V_1 – начальный и конечный объемы газов;

P_0 – начальное давление газов взрыва;

γ – показатель адиабаты.

Схема баланса энергии взрыва, по проф. А. Ф. Беляеву, приведена на рис. 4.2.

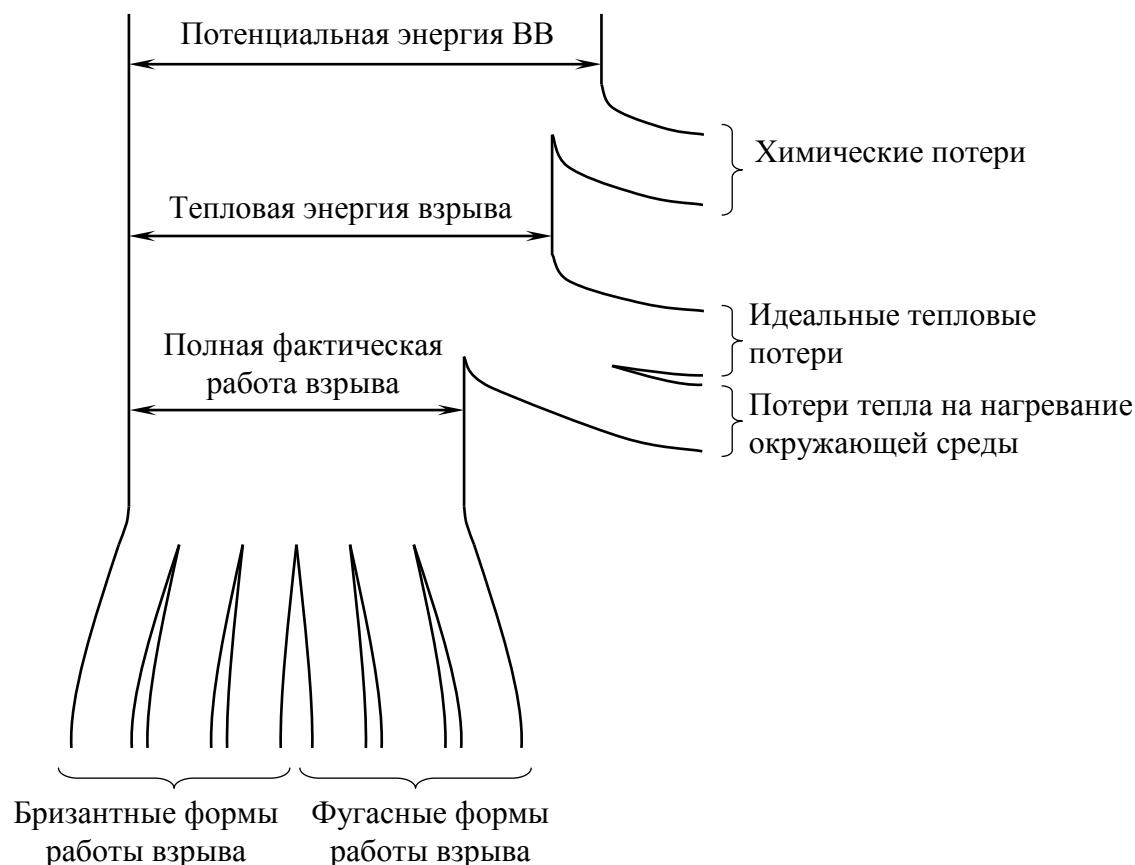


Рис. 4.2. Схема баланса энергии взрыва, по проф. А. Ф. Беляеву

При различных взрывах: в воздухе, на поверхности или в глубине массива – полная механическая работа изменяется незначительно. Однако затраты на отдельные виды механической работы значительно изменяются.

При взрыве в воздухе значительная доля механической работы трансформируется в ударную воздушную волну, при взрыве в глубине массива механическая энергия взрыва в основном расходуется на разрушение среды и возбуждение сейсмических колебаний.

В зависимости от цели взрыва отдельные виды механической работы разделяют на полезные и бесполезные (вредные). В общем виде к полезным формам работы взрыва относят разрушение и перемещение породы, образование подземных полостей. К бесполезным формам механической работы взрыва относят излишнее переизмельчение и разброс породы, возбуждение воздушных и сейсмических волн. С другой стороны, при выполнении взрывных работ в сейсморазведке, основной целью является взрывное возбуждение сейсмических колебаний в исследуемом массиве.

Точных методов количественной оценки полезных форм работы взрыва не существует, тем не менее коэффициент полезного действия взрыва в большинстве случаев составляет несколько процентов.

Полная механическая работа взрыва реализуется в нескольких формах, которые можно разделить на две большие группы: формы фугасного (общего) действия взрыва и формы бризантного (дробящего) действия взрыва.

Бризантность – это способность взрывчатого вещества к местному разрушительному действию, которое является результатом резкого удара продуктов детонации по окружающей заряд среде.

Бризантное (дробящее) действие взрыва заключается в интенсивном дроблении и деформации среды, непосредственно прилегающей к заряду, в результате резкого удара продуктов детонации, сжатых до высоких давлений. Бризантное действие взрыва связано с прохождением по породе ударной волны. Интенсивность дробления определяется в основном концентрацией энергии на фронте детонационной волны и величиной пикового давления, которое пропорционально плотности заряда ВВ и квадрату скорости детонации. С удалением от заряда бризантное действие ВВ снижается.

Основными формами проявления бризантного действия взрыва являются: переизмельчение горной породы в ближней от заряда зоне; развитие радиальных трещин, связанных с прохождением по породе ударной волны; сейсмические колебания массива пород.

Фугасное (общее) действие взрыва в горной породе связано, в первую очередь, с действием газообразных продуктов взрыва и проявляется на больших расстояниях от заряда, чем бризантные формы работы взрыва.

К фугасным формам работы взрыва в горной породе относят: разрушение породы по трещинам, созданным бризантным действием взрыва; перемещение отдельных кусков породы относительно друг друга; выброс горной породы; создание ударной воздушной волны.

4.2. Оценка производственной эффективности взрывчатых свойств ВВ

Эффективность применения взрывчатых веществ характеризуется тремя основными параметрами:

- скоростью детонации ;
- работоспособностью;
- бризантностью.

4.2.1. Определение скорости детонации

Методы определения скорости детонации, позволяющие измерять ее с необходимой точностью в зарядах сравнительно небольших размеров, можно подразделить на две группы:

методы, дающие возможность определить среднюю скорость на определенном участке длины заряда (метод Дотриша, осциллографические методы);

методы, дающие возможность определить скорость детонации в любой точке длины заряда (фотографические методы, в частности, метод скоростной киносъемки).

Метод Дотриша измерения скорости детонации с помощью детонирующего шнура (ДШ) (рис. 4.3) состоит в том, что неизвестная скорость испытуемого ВВ сравнивается в известной скоростью детонации ДШ.

Для проведения испытания используют бесшовную трубу 4, изготовленную из стали 5 с внутренним диаметром 30 или 40 мм, толщиной стенок 3-4 мм и длиной 450 мм, закрытую с обоих концов закручивающимися крышками 2, в одной из которых по центру просверлено отверстие диаметром 7,5 мм под электродетонатор 1. На поверхности трубы два таких же отверстия, отстоящих одно от другого на расстояние 350 мм и от торца трубы со стороны крышки на расстояние 60 мм, для пропуска в заряд концов 6 и 7 отрезков ДШ.

Для фиксации места встречи детонационных волн отрезков ДШ используют пластинку-фиксатор 8 из оцинкованной стали толщиной 0,7 мм, шириной 15 мм и длиной 600 мм. На пластинке перед укладкой концов ДШ наносят две поперечные риски *A* и *B* на расстоянии 500 мм одна от другой. Под пластинку помещают стальную подкладку 9 толщиной 10 мм, шириной 20 мм и длиной 620 мм. Обмотанную спиралью с помощью ниток пластинку с подкладкой и концами ДШ помещают в металлическую трубу 10, защищающую фиксатор от осколков при детонации заряда.

Скорость детонации ДШ, применяемого для испытаний, должна быть не менее 6,5 км/с. Измерение ее (тарирование ДШ) производят заранее осциллографическим методом.

Для надежного возбуждения детонации в испытуемом заряде 5 используют промежуточный детонатор 3 – прессованную шашку плотностью $1,5 \div 1,6 \text{ г/см}^3$.

Для монтажа фиксирующей системы берут два неравных отрезка ДШ, длину которых устанавливают в зависимости от ожидаемой скорости детонации испытуемого ВВ.

Подготовленный к испытанию заряд взрывают. Распространяющаяся по заряду детонационная волна в точке *B* вызывает детонацию в отрезке шнура 6 длиной L_1 , затем в точке *Г* инициирует отрезок шнура 7 длиной L_2 . Распространяющиеся по этим отрезкам детонационные волны встречаются в некоторой точке *K* и, создав мгновенное повышение давления, образуют на пластинке характерную вмятину, которая и служит для измерений при расчете скорости детонации.

После взрыва заряда извлекают из защитной трубы 10 оставшуюся пластинку-фиксатор 8, разыскивают на ней отметку K и измеряют расстояние от этой отметки до рисок A и B .

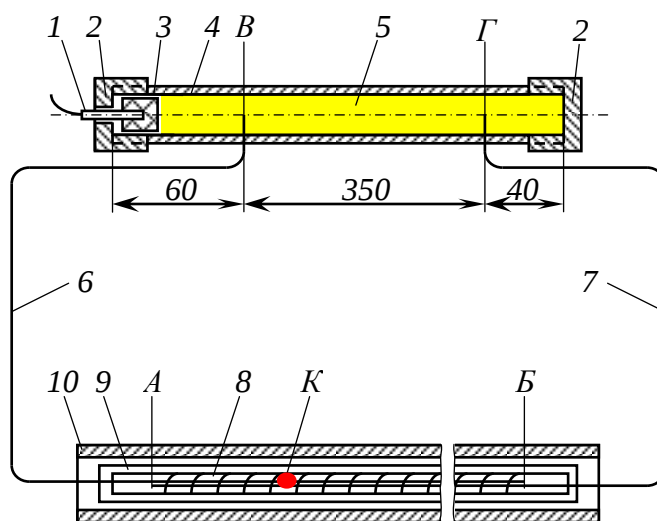


Рис. 4.3. Схема определения скорости детонации по методу Дотриша:
1 – электродетонатор; 2 – закручивающиеся крышки; 3 – промежуточный детонатор;
4 – бесшовная труба; 5 – заряд ВВ; 6, 7 – отрезки детонирующего шнура L_1 и L_2 ;
8 – пластинка-фиксатор; 9 – стальная подкладка; 10 – металлическая труба

Скорость детонации определяется исходя из равенства времени распространения детонационных волн по заряду и по отрезкам детонационного шнура до встречи

$$\frac{L_1 - KB}{V_{\text{ДШ}}} = \frac{BG}{V_{\text{ВВ}}} + \frac{L_2 - AK}{V_{\text{ДШ}}}, \quad (4.4)$$

где $V_{\text{ДШ}}$ – скорость детонации детонирующего шнура;

$V_{\text{ВВ}}$ – скорость детонации испытуемого ВВ.

По зависимости (4.4), считая скорость детонации ДШ $V_{\text{ДШ}}$ постоянной, находим скорость детонации ВВ.

Недостатком метода Дотриша является то, что с помощью него можно определить только среднюю скорость детонации ВВ по заряду (участок ВГ).

Осциллографический метод основан на способности продуктов детонации ионизироваться, замыкать в таком состоянии искровые промежутки датчиков, помещенных в заряд, и посылать на осциллограф электрические импульсы (рис. 4.4).

Вдоль заряда 2 испытуемого ВВ располагают заземленный электропровод 9. В поперечном положении в заряд вводят два датчика 10 и 11 на точно измеренном расстоянии между ними. Датчики не должны касаться заземленного провода, образуя с ним искровые промежутки, через которые до момента взрыва электрический ток не может проходить по ВВ, если оно не имеет электропроводности (для токопроводящих ВВ метод не пригоден).

Концы проводов датчиков подключают к электрическому блоку, состоящему из конденсаторов 7 и 8 малой емкости и сопротивлений 4, 5 и 6. В блок поступает напряжение от источника постоянного тока 3, заряжающего конденсаторы. Перед испытанием к блоку подключают осциллограф.

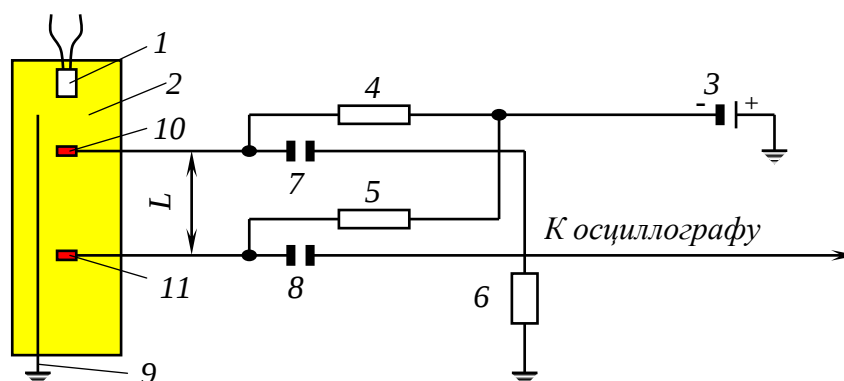


Рис. 4.4. Схема осциллографического метода определения скорости детонации:

1 – электродетонатор; 2 – заряд ВВ; 3 – источник постоянного тока;
4, 5, 6 – сопротивления; 7, 8 – конденсаторы; 9 – заземленный электропровод;
10, 11 – датчики

Заряд инициируют электродетонатором 1. При прохождении детонационной волны вдоль заряда датчики поочередно замыкаются с заземленным электропроводом благодаря ионизации продуктов детонации. При замыкании датчика 10 разряжается конденсатор 7 и дает первый импульс в осциллограф, при замыкании датчика 11 разряжается конденсатор 8 и дает второй импульс. Оба последовательных импульса вызывают соответствующие скачки напряжения, которые в виде всплесков светящейся кривой с большой точностью на экране электронно-лучевой трубки осциллографа. С полученной осциллограммы определяют время прохождения детонационной волны между датчиками t , сравнивая расстояние между двумя скачками (пиками) кривой напряжения и имеющимися метками времени.

Среднюю скорость детонации на измеренном интервале можно определить по формуле

$$W = \frac{L}{t}, \quad (4.5)$$

где L – расстояние между датчиками.

Можно измерить скорость детонации на ряде участков заряда, если ввести в него соответствующее число датчиков. В зависимости от агрегатного состояния ВВ (сыпучее, твердое, жидкое и др.) могут применяться датчики различной конструкции (фольговые, игольчатые и др.).

Фотографический метод основан на фоторегистрации светящихся продуктов детонации за фронтом детонационной волны, распространяющихся вдоль заряда. Для выполнения этого метода наиболее широко применяется фоторегистр СФР с зеркальной разверткой, который выдает фотограмму

с наклонным изображением (по отношению к координатным осям) следа свечения продуктов детонации в виде непрерывной линии.

Прибором СФР можно получить вместо непрерывной развертки процесса во времени серию отдельных снимков с частотой до $2 \cdot 10^6$ кадров в секунду.

4.2.2. Методы определения работоспособности (фугасности)

Для экспериментальной оценки работоспособности ВВ на практике наибольшее распространение получили следующие методы:

- метод свинцовой бомбы (проба Трауцля);
- метод баллистического маятника;
- метод баллистической мортиры.

4.2.2.1. Метод свинцовой бомбы (проба Трауцля)

Данный метод является самым простым и самым распространенным в практике определения относительной работоспособности ВВ. В соответствии с международным и российским стандартом (ГОСТ 4546-81), испытания ВВ проводят в бомбе Трауцля, представляющей собой массивный свинцовый цилиндр с осевым отверстием (рис. 4.5). На дно отверстия (канала) помещают заряд исследуемого ВВ массой 10 г в бумажной гильзе. В качестве забойки поверх заряда насыпают сухой кварцевый песок. Заряд инициируют электродетонатором ЭД-8-Э. В результате работы взрыва происходит вздутие свинцовой бомбы.

В качестве меры относительной работоспособности ВВ принимают объем ΔV (см³) образовавшейся грушевидной полости за вычетом начального объема канала и расширения, производимого электродетонатором (30 см³). Объем полости определяют по количеству вместившейся туда воды.

Для получения сопоставимых результатов необходимо строго выдерживать стандартные условия эксперимента и изготовления бомб. Каждую партию свинцовых бомб перед испытаниями тарируют по эталонному ВВ – тротилу. На результаты определений влияет множество различных факторов. Так, повышение температуры бомбы приводит к возрастанию пластичности свинца, что сопровождается увеличением объема полости при тех же условиях взрыва. Стандартной считается температура 10 °С. При уменьшении температуры до 0 °С объем измеренной полости увеличивают на 5 %, при + 30 °С – уменьшают на 6 %. При одинаковой массе заряда испытываемого ВВ объем полости зависит от его геометрии – заряды большей высоты легче деформируют свинец и дают большее расширение канала бомбы.

Все условия опыта должны строго учитываться. Но даже и в этом случае испытания одного и того же ВВ дают большой разброс данных, порядка ± 30 см³. Кроме того, опыты показывают, что объем расширения полости не пропорционален работоспособности ВВ.

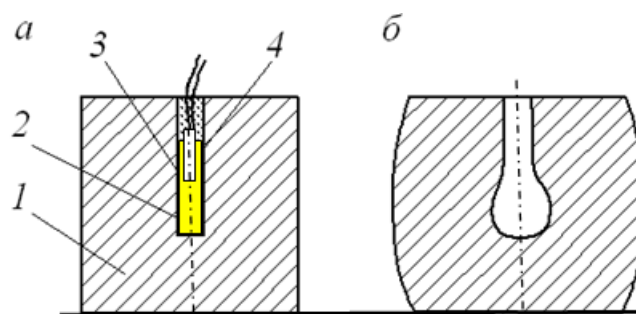


Рис. 4.5. Определение работоспособности ВВ в свинцовой бомбе (метод Трауцля):
 а – до взрыва: 1 – свинцовый цилиндр; 2 – заряд ВВ; 3 – детонатор; 4 – забойка; б – после взрыва

Так, при увеличении расширения в 2 раза работоспособность ВВ возрастает лишь в 1,7 раза. Это связано с уменьшением доли энергии, расходуемой на выброс забойки, и образованием ударной волны, а также с тем, что при увеличении расширения свинцовой бомбы ее стенки становятся тоньше и меньше сопротивляются давлению ПВ. Поэтому данный метод дает только относительную (сравнительную) оценку работоспособности ВВ, т. е. позволяет лишь ранжировать ВВ по данному показателю.

Величины работоспособности, определенные этим методом, приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Показатели относительной работоспособности промышленных ВВ

Взрывчатое вещество	Тротил	Гексоген	Аммонит БЖВ	Аммонал скальный № 1	Детонит М	Аммонит ПЖВ 20
Работоспособность, мм	285-310	475-495	360	460-480	440-460	265-290

4.2.2.2. Метод баллистического маятника

Основой баллистического маятника является груз, подвешенный на жестких тросах к неподвижной опоре. Под действием потока продуктов взрыва маятник получит импульс и отклонится на некоторый угол α .

Техническая реализация эксперимента и конструкция маятника могут быть самыми различными. Наиболее распространенной является схема, когда заряд ВВ взрывают в стальной мортире (рис. 4.6), которая на специальной тележке подкатывается вплотную к маятнику. Преимуществом такой схемы является возможность взрывания больших (до 200 г) зарядов ВВ.

Практическое использование метода баллистического маятника дает большие погрешности. Это обусловлено невозможностью учета потерь давления продуктов на контакте заряда и маятника, характером взаимодействия прямой и отраженной ударных волн и др.

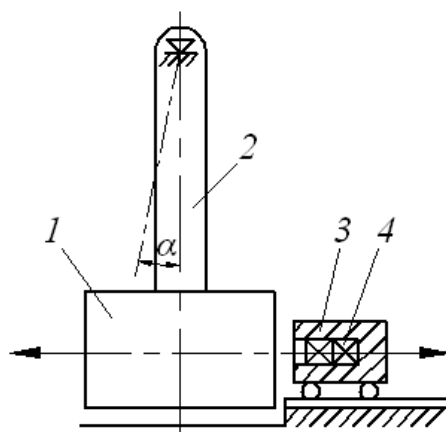


Рис. 4.6. Определение работоспособности: с помощью баллистического маятника:

1 – маятник; 2 – подвеска; 3 – мортира; 4 – заряд ВВ

Поэтому определяют не непосредственно работу взрыва, а массу заряда исследуемого ВВ, который дает отклонение маятника, равное отклонению его при взрыве заряда стандартного ВВ (обычно тротила массой 200 г).

4.2.2.3. Метод баллистической мортиры

Идея метода состоит в том, что во избежание указанных выше недостатков заряд ВВ взрывается непосредственно в мортире, массивный корпус которой подвешен на тросах в виде маятника (рис. 4.7).

В корпусе имеется взрывная камера объемом $V_{\text{взр}}$, в которой взрывается заряд ВВ, и расширительная камера объемом $V_{\text{р}}$, в которую перед взрывом помещают массивный стальной поршень-снаряд. Энергия взрыва по этой схеме испытаний расходуется на выталкивание (метание) поршня-снаряда.

При этом потери энергии минимальны. В момент вылета снаряда (когда его задний торец пройдет сечение среза мортиры) продукты взрыва вырвутся на воздух и работа в системе мортира – снаряд прекратится.

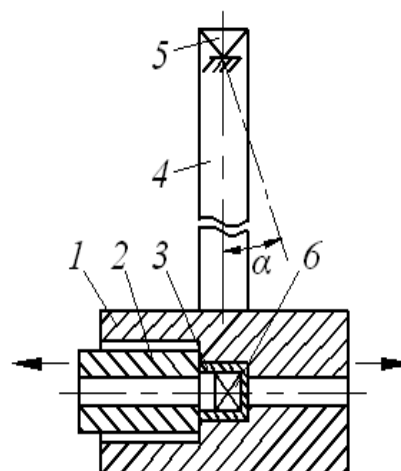


Рис. 4.7. Определение работоспособности в баллистической мортире:

1 – мортира; 2 – снаряд; 3 – вкладыш;
4 – подвеска; 5 – опора; 6 – заряд ВВ

Одним из недостатков метода баллистической мортиры является то, что конструктивно объем взрывной камеры делается достаточно большим, иначе мортира быстро разрушится. Но в этом случае за счет расширения продуктов взрыва их давление даже в начальной стадии относительно мало. Кроме того, из-за больших размеров камеры расположение заряда ВВ трудно фиксировать, и в

различных опытах его положение относительно поршня-снаряда меняется, что существенно сказывается на величине угла отклонения маятника α и, следовательно, на результатах определения работоспособности ВВ.

4.2.3. Методы определения бризантности ВВ

Наиболее простым и распространенным методом испытания на бризантность является проба на обжатие свинцовых столбиков или *проба Гесса*. Схема испытательного устройства представлена на рис. 4.8. Для испытаний применяют свинцовый столбик, деформация которого при взрыве и является мерой бризантности ВВ. Высота столбика 60 мм, диаметр 40 мм. На столбике размещают стальную пластину толщиной 10 мм и заряд ВВ. В соответствии со стандартом масса заряда составляет 50 г. Испытываемое ВВ помещают в цилиндрический бумажный патрон и подпрессовывают до плотности 1 г/см^3 с одновременным образованием гнезда для капсюля-детонатора. Свинцовый столбик с пластиной и зарядом располагают на массивной стальной подставке.

Об относительной бризантности судят по величине абсолютной продольной деформации столбика после взрыва Δh , мм. Величина деформации сильно зависит от консистенции и степени измельчения ВВ, поэтому проба Гесса используется в качестве испытательной приемочной пробы при изготовлении промышленных ВВ (табл. 4.2). Например, тетрил должен иметь бризантность $\Delta h = 20 \div 22$ мм, аммонит № 6ЖВ – $\Delta h = 14 \div 15$ мм. Если при испытаниях изготовленного ВВ его бризантность не укладывается в эти интервалы, делается вывод о несоответствии взрывчатого вещества стандарту.

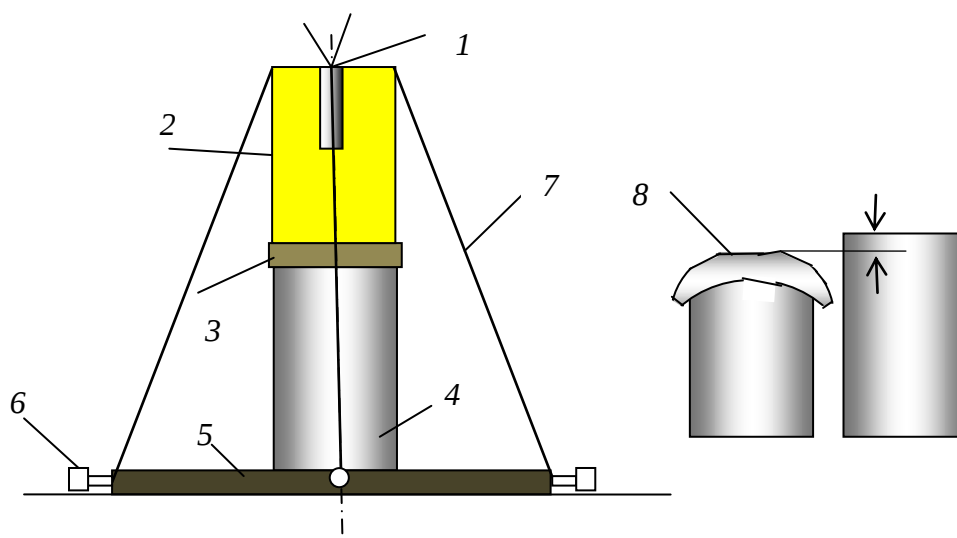


Рис. 4.8. Испытания ВВ на бризантность (метод Гесса):

- 1 – электродетонатор; 2 – заряд ВВ; 3 – стальной диск; 4 – свинцовый цилиндр до взрыва;
5 – стальная плита; 6 – винт; 7 – растяжка; 8 – свинцовый цилиндр после взрыва

Исключительная простота пробы Гесса обуславливает ее широкое применение.

Показатели бризантности некоторых промышленных ВВ

Взрывчатое вещество	Тротил	Аммонит 6ЖВ	Аммонал скальный №1	Детонит М	Аммонит ПЖВ 20
Бризантность, мм	16	14	18	17	13

Однако ей присущи известные недостатки. Так, процесс детонации, который определяет бризантность ВВ, существенно зависит от критического диаметра заряда ВВ, условий его работы в шпуре или скважине и т. п., что никак не учитывается в пробе Гесса.

Проба Гесса используется для испытаний промышленных ВВ. Высокобризантные, например иницирующие ВВ, разрушают стальную пластину в установке Гесса, что, в свою очередь, ведет к сильнейшему разрушению свинцового столбика, который превращается в изорванную бесформенную массу. В этом случае для испытаний применяют *пробу Каста* (рис. 4.9).

Здесь действие взрыва заряда ВВ передается через массивный стальной поршень медному столбику (крешеру), вызывая его деформацию. Величина этой деформации, так же как в пробе Гесса, принимается за меру бризантности ВВ. При испытаниях используют заряды диаметром 21 мм и высотой 80 мм. Величина обжатия медных крешеров для различных ВВ составляет $4,8 \div 1,6$ мм.

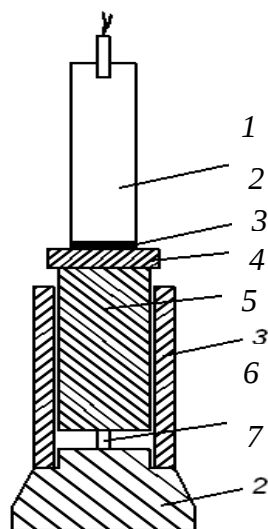


Рис. 4.9. Схема подготовки опыта для оценки бризантного действия по пробе Каста:

1 – заряд ВВ; 2 – свинцовая пластинка; 3 – стальная пластинка; 4 – цилиндрический поршень; 5 – направляющая муфта; 6 – медный крешер; 7 – подставка

Для оценки бризантности ВВ на практике применяют и некоторые другие способы. Например, оценку дробящего действия взрыва можно получить из данных о величине вмятин в свинцовых плитах, по пробиванию стальных

пластин и т. д. При этом результаты испытаний носят сугубо качественный характер.

4.3. Оценка чувствительности и опасности ВВ в обращении

Чувствительность ВВ – его восприимчивость к определенному виду внешнего воздействия. Она зависит от свойств ВВ, его структуры (порошкообразное, гранулированное, литое), температуры, влажности и др.

Для оценки чувствительности ВВ проводят определенные виды условных испытаний – пробы на чувствительность:

- к инициирующему импульсу и к капсюлю-детонатору;
- удару;
- трению;
- нагреванию;
- передаче детонации.

4.3.1. Проба на чувствительность к инициирующему импульсу и к капсюлю-детонатору

Все промышленные ВВ проходят испытания на чувствительность к инициирующему импульсу.

Для зарядов порошкообразных промышленных ВВ, заведомо чувствительных к капсюлю-детонатору № 8, **минимальный начальный импульс** определяют следующим способом. В мельхиоровые колпачки диаметром 6 мм под давлением 18 МПа запрессовывают различные навески (от 0,1 до 0,5 г) гремучей ртути. Колпачки помещают в гильзы из-под КД № 8 (без заряда вторичного инициирующего ВВ). Изготовленные таким образом инициаторы с отрезком ОШ помещают в заряды исследуемого ВВ диаметром 40 мм и массой 50 или 100 г. Заряды взрывают на свинцовых столбиках по методу определения бризантности. За величину импульса принимают наименьшую навеску гремучей ртути, при которой достигается обжатию свинца, близкое к обжатию при инициировании заряда ВВ от стандартного капсюля-детонатора.

Величины минимального инициирующего импульса для ряда порошкообразных промышленных ВВ приведены в табл. 4.3.

Оценку чувствительности к детонации взрывчатых веществ (гранулированных, водонаполненных и др.), нечувствительных к первичным средствам инициирования, дают по величине минимального начального импульса, необходимого для возбуждения в них устойчивого взрывчатого разложения.

Для этого сначала подрывают серию открытых цилиндрических патронов испытуемого ВВ в бумажной оболочке диаметром, заведомо большим его критического, и длиной в 5÷10 раз больше этого диаметра. В качестве инициатора используют тетриловые или тротиловые прессованные шашки массой от 5 до 100 г, чувствительные к капсюлю-детонатору КД № 8, которые полностью углубляют в патрон или подводят вплотную к его торцу. Диаметр шашек должен быть равным или больше их высоты, так чтобы он

был по возможности ближе к диаметру патрона испытуемого ВВ, если в него не представляется возможным их углублять.

Таблица 4.3

**Величины минимального инициирующего импульса для ряда ВВ
(гремучей ртути при насыпной плотности 1,0 г/см³)**

Взрывчатое вещество	Масса заряда минимального инициирующего импульса, г	Взрывчатое вещество	Масса заряда минимального инициирующего импульса, г
Тротил	0,25÷26	Предохранительные аммониты	0,18÷0,28
Тетрил	0,15	Детониты	0,12÷0,16
Гексоген	0,14	Предохранительные нитроглицериновые ВВ (победиты, углениты)	0,14÷0,20
ТЭН	0,15		
Аммонал скальный №1 Аммонит	0,19		
БЖВ	0,17		

Заряды взрывают в вертикальном положении на грунтовой площадке. Находят такую минимальную массу шашки-детонатора, при которой во всех трех параллельных опытах фиксируется полная детонация патронов испытуемого ВВ. Выраженная в граммах инициатора, она и служит характеристикой чувствительности ВВ к детонации.

4.3.2. Проба на чувствительность к удару

Испытание на чувствительность к удару основано на действии удара груза определенной массы, падающего с некоторой высоты на слой ВВ определенных размеров, заключенный между стальными поверхностями. Испытания выполняют на копрах различной конструкции. *Копер Каста* (рис. 4.10) состоит из массивной наковальни 1, укрепленной на фундаменте, на которую устанавливают роликовый приборчик 2 с навеской испытуемого ВВ. Падающий груз 3 копра специальным держателем 4 может быть закреплен на необходимой высоте между двумя направляющими рейками 5, измеренной с помощью градуированной планки 6. При дергании за рукоятку троса груз соскальзывает с держателя и, свободно падая по направляющим, производит удар по навеске ВВ, находящейся между роликами прибора. Роликовый приборчик (рис. 4.11) состоит из направляющей муфты 1 с гладкими внутренними стенками, поддона 2 и двух роликов 3 со снятыми фасками.

Ролики свободно скользят внутри муфты, они имеют диаметр 10 мм, высоту 9,5 мм, высота муфты 16 мм. Все детали приборчика изготовлены из высококачественной стали. Каждую партию роликов для допуска к испытаниям проверяют на эталонном ВВ – тетриле, который должен дать частоту взрывов $48 \pm 8 \%$ из 100 опытов при падении груза массой 10 кг с высоты 25 см. При подготовке к испытанию особое внимание уделяют чистоте торцевых поверхностей роликов, после каждого испытания их тщательно очищают от остатков ВВ и копоти.

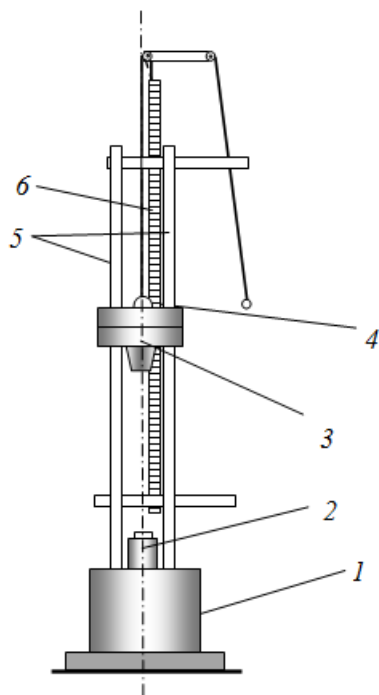


Рис. 4.10. Копер Каста

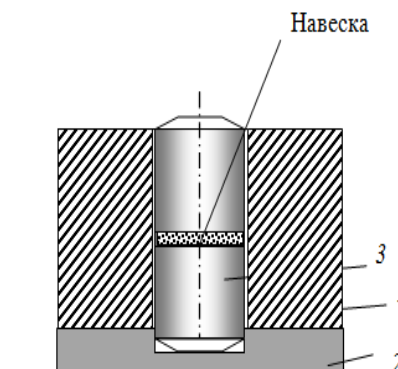


Рис. 4.11. Роликовый приборчик

В комплект прибора помимо роликовых приборчиков входят съемные грузы массой 2, 5 и 10 кг, высоту падения которых на копре можно изменять от 25 до 100 см при испытании ВВ различной чувствительности.

Существует несколько критериев оценки чувствительности ВВ к удару на копре. Наиболее распространен метод, по которому определяется частота взрывов в процентах из 25, 50 или 100 испытаний при падении груза массой 10 кг с высоты 25 см.

Испытания на копре Каста выполняют следующим образом. Навеску твердого ВВ массой 0,05 г, взятую с точностью до 0,005 г, равномерно распределяют между соприкасающимися торцевыми поверхностями роликов в направляющей муфте приборчика, который затем помещают на наковальню копра в центрирующую его обойму. Груз массой 10 кг устанавливают на высоте 25 см и производят удар им по верхнему ролику приборчика. Результаты взрыва определяют по звуковому эффекту, вспышке и дымообразованию или по обследованию остатков навески ВВ на обугливание, если таковые имеются. Если удар не сопровождался перечисленными признаками, то считают, что взрыва не было. Такой опыт повторяют 25 раз, меняя роликовые приборчики с навесками, и вычисляют процент взрывов из всего числа испытаний. Если частота взрывов окажется равной 100 %, то груз копра уменьшают до 5 кг, а если окажется равной 0 %, то высоту падения увеличивают до 50 см и опыты повторяют в той же последовательности. При испытании ВВ с грузом 10 кг за эталон берут тетрил, а при испытании с грузом 5 кг – гексоген. Последний в таких условиях должен давать частоту взрывов 48 ± 4 %.

Если при высоте падения 50 см груза массой 10 кг испытуемое ВВ не дает взрывов, то испытания прекращают и считают, что ВВ нечувствительно

к удару, дальнейшее повышение высоты приводит к разрушению приборчиков от сильного удара.

Характеристики чувствительности к удару некоторых ВВ приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Чувствительность ВВ к удару

Взрывчатое вещество	Показатели чувствительности	
	минимальная высота падения груза массой 2 кг, при которой происходит взрыв, см	число взрывов при падении груза массой 10 кг с высоты 25 см
Гремучая ртуть	2	100
Азид свинца	3÷4	100
Нитроглицерин	4	100
ТНРС	11	100
Динамиты	17	100
ТЭН	28	100
Гексоген	29	65÷70
Тетрил	30	50÷60
Аммониты	30÷75	10÷60
Тротил	60 ÷70	2÷8

По данным испытаний, приведенным в табл. 4.4, можно характеризовать относительную чувствительность разных групп ВВ к удару.

4.3.3. Проба на чувствительность к трению

Испытание взрывчатых веществ на чувствительность к трению можно проводить на *маятниковом копре К-44-III* (чувствительность к скользящему удару) (рис. 4.12).

Навеска испытуемого ВВ массой 0,05 г сжимается между стальными трущимися поверхностями до 1200 МПа с помощью гидравлического пресса. Рабочий узел копра схематически представлен на рис. 4.13. При боковом ударе падающего груза маятника по головке стержня верхний ролик сдвигается относительно нижнего, подвергая навеску ВВ действию трущегося сдвига.

Вероятность взрыва зависит от величины сжатия навески между роликами. Изменяя эту величину, находят нижний, средний и верхний пределы чувствительности испытуемого ВВ, т.е. такие значения давлений, при которых частота взрывов равна 0, 50 и 100 %. Упрощенно определяют процент взрывов из 25 опытов под определенной сдвливающей нагрузкой, который и служит характеристикой чувствительности по сравнению с чувствительностью эталонного ВВ в таких условиях испытаний.

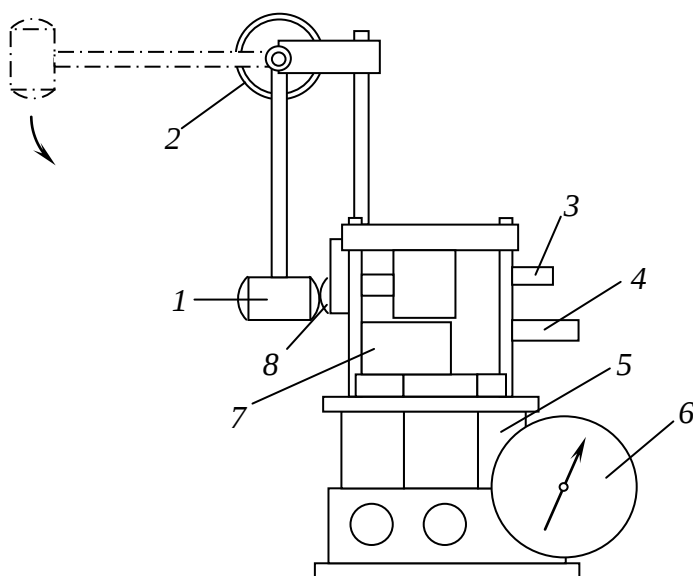


Рис. 4.12. Маятниковый копер К-44-III для определения чувствительности ВВ к скользящему удару:

- 1 – груз; 2 – диск с угловыми делениями;
3 – съемник штемпельных приборов;
4 – рукоятка; 5 – масляный пресс; 6 – манометр;
7 – обойма; 8 – ударник

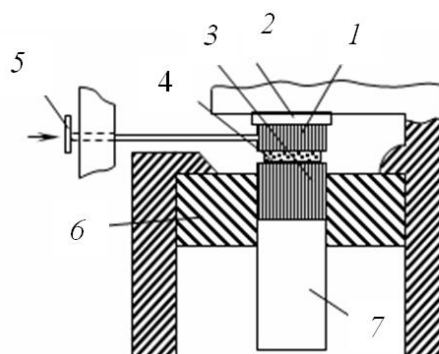


Рис. 4.13. Рабочий узел копра:

- 1 – выбивной ролик; 2 – упор;
3 – прижимной ролик;
4 – навеска ВВ;
5 – стержень с головкой, передающей удар; 6 – муфта;
7 – пуансон гидропресса

4.3.4. Проба на чувствительность к нагреванию

При поджигании в условиях свободного оттока продуктов горения большинство промышленных ВВ сгорает без взрыва. Исключение составляют пластичные динамиты, которые могут при поджигании взорваться. В замкнутом объеме (железнодорожных вагонах, трюмах судов, закрытых помещениях и др.), а также при горении больших масс ВВ горение промышленных ВВ может перейти во взрыв, чему способствует нарастание давления в зоне горения.

Мерой чувствительности ВВ к нагреву служит температура вспышки ВВ, определяемая в специальном приборе (рис. 4.14).

Навеску ВВ (0,05 г) в пробирке помещают в металлическую баню, заполненную легкоплавким металлом (сплавом Вуда) или маслом (парафином) с высокой точкой кипения, предварительно нагретым до 100 °С. Нагревая баню со скоростью 20 °С в минуту, фиксируют температуру, при которой произошла вспышка. Температура вспышки большинства промышленных ВВ (табл. 4.5) находится в пределах 280÷350 °С. Температура вспышки первичных инициирующих веществ 165÷230 °С.

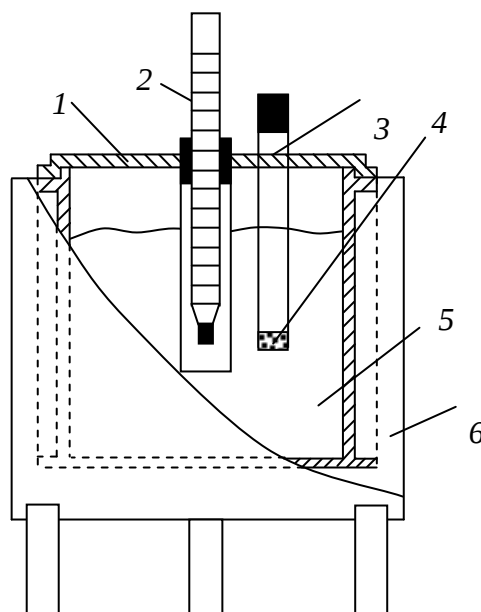


Рис. 4.14. Прибор для определения температуры вспышки:
1 – крышка; 2 – термометр; 3 – пробирка; 4 – навеска ВВ;
5 – корпус бани; 6 – футляр

Таблица 4.5

Температура вспышки некоторых ВВ

Взрывчатое вещество	Температура вспышки, °С	Взрывчатое вещество	Температура вспышки, °С
Тротил	290÷300	ТНРС	275
Гексоген	215÷230	Дымный порох	290
ТЭН	205÷215	Аммониты	280÷320
Нитроглицерин	200÷205	Предохранительные аммониты	250÷350
Гремучая ртуть	175÷180	Пироксилин	195
Азид свинца	230÷340		

Температура вспышки характеризует термостойкость различных групп ВВ.

4.3.5. Проба на чувствительность к передаче детонации

Метод предназначается для контрольно-приемочных испытаний выпускаемых партий патронированных ВВ, а также в исследовательской практике для изучения детонационной способности некоторых непатронированных ВВ. Испытание основано на возбуждении детонации одного патрона взрывом другого, уложенных на грунте соосно на некотором расстоянии друг от друга (рис. 4.15). Определяется максимальное расстояние передачи детонации между ними, величина которого является одной из важнейших характеристик детонационной способности ВВ, она характеризует качество их изготовления.



Рис. 4.15. Проба на чувствительность к передаче детонации

Испытание проводят следующим образом. От партии ВВ отбирают не менее шести пар патронов. В торец одного из каждой пары патронов помещают ЭД или КД с отрезком ОШ. Подготовленный таким образом патрон-боевик укладывают на твердом ровном грунте исследовательской площадки полигона. На некотором расстоянии от противоположного его торца укладывают соосно второй, пассивный заряд. Между зарядами помещают один шаблон из имеющегося набора (измеритель расстояния с длиной 1, 2, 3, 4, 5 см и т. д.), к которому плотно прижимают их торцы и, не сдвигая с места патроны, шаблон вынимают. После этого производят взрыв. Первоначальное расстояние по шаблону устанавливают на основании имеющихся данных или предположения о способности испытуемого ВВ к передаче детонации.

О передаче детонации судят по отсутствию остатков ВВ и оболочки пассивного заряда и по наличию углубления и следов взрыва в грунте на месте расположения патронов. В зависимости от результатов первого взрыва взрывают следующие пары патронов, расстояние между которыми постепенно (на $1 \div 2$ см) увеличивают или уменьшают до тех пор, пока не найдут то максимальное расстояние, при котором в трех параллельных опытах будет зафиксирована полная детонация пассивного заряда. Это расстояние, измеренное в сантиметрах, и считается расстоянием передачи детонации патронов испытуемого ВВ.

По изложенной методике на заводе испытывают каждую партию ВВ, выпускаемого в патронированном виде.

Партии ВВ, выпускаемого в непатронированном виде, на передачу детонации могут проверить потребители перед взрывными работами, если такие работы должны выполняться патронами собственного изготовления (масса патрона 200 г, плотность $0,95 \div 1,05$ г/см³) или шпуровыми насыпными зарядами малого диаметра.

Испытания на передачу детонации в некоторых случаях, например, при контрольных проверках на базисных складах, проводят по упрощенной методике. Вместо определения максимального расстояния три пары патронов поочередно взрывают с расстоянием между их торцами, соответствующим установленной норме для данного ВВ. Партия ВВ считается выдержавшей испытание, если в трех опытах установлена полная детонация пассивного заряда. При отказе детонации хотя бы в одном из опытов испытания повторяют в удвоенном количестве, результаты которых являются окончательными для решения вопроса годности ВВ.

5. ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА ЗАРЯДОВ ВВ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

5.1. Классификация зарядов ВВ

Зарядом ВВ называется определенное количество взрывчатого вещества, размещенное определенным образом в зарядной камере (шпур, скважина, камера, наружный заряд и др.) и подготовленное к взрыву (т. е. с введенным в ВВ средством инициирования).

По расположению относительно разрушаемого объекта заряды разделяют на **наружные** и **внутренние**. В горном деле преимущественно применяют внутренние заряды, размещаемые в шпурах, скважинах, камерах и др., обеспечивающие более полный переход энергии ВВ в полезные формы механической работы взрыва.

По своей форме заряды делятся на сосредоточенные, удлинненные, плоские.

Сосредоточенными называют заряды, имеющие относительно изометрическую форму (шар, куб и др.), для которых отношение максимального линейного размера L_3 к минимальному d_3 $L_3/d_3 \leq 3$.

Удлинненными называют заряды, для которых $L_3/d_3 > 3$.

Плоскими называют заряды, у которых один из линейных размеров – высота h_3 , существенно меньше (в десятки раз) меньше длины l_3 и ширины b_3 .

По конструкции заряды подразделяют на сплошные и рассредоточенные. **Сплошной заряд** не разделяется на отдельные части промежутками, тогда как в **рассредоточенном заряде** между отдельными его частями находится воздух или инертный материал.

К зарядам специальных конструкций относятся **кумулятивные заряды**, которые разделяются на заряды:

- с **торцевой** кумулятивной выемкой;
- с **кольцевой** кумулятивной выемкой;
- с **продольной** кумулятивной выемкой.

По характеру своего действия на твердую среду заряды ВВ подразделяют на заряды камуфлета, заряды рыхления и заряды выброса (рис. 5.1).

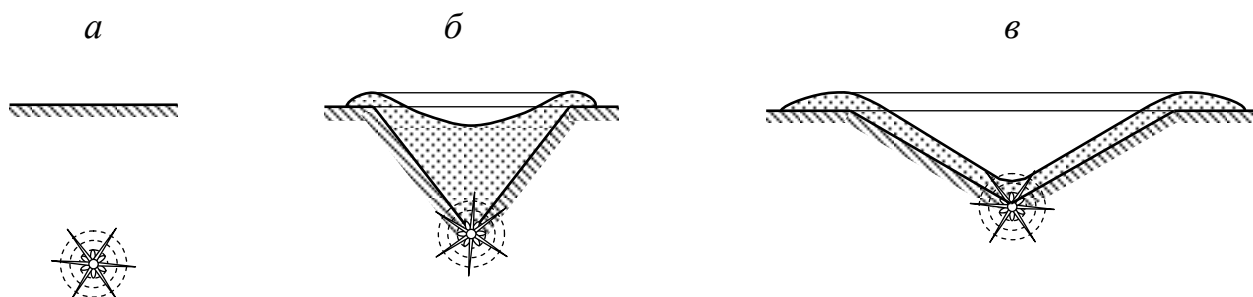


Рис. 5.1. Схема действия взрыва различных зарядов:
а – заряд камуфлета; б – заряд рыхления; в – заряд выброса

Действие **заряда камуфлета** приводит только к разрушению массива породы вокруг заряда, но не проявляется на обнаженной поверхности (см. рис. 5.1, а).

Действие **заряда рыхления** проявляется в дроблении и вспучивании горной породы в пределах воронки взрыва (без образования видимой воронки) от центра заряда до обнаженной поверхности (см. рис. 5.1, б).

Заряд выброса вызывает дробление и выброс горной породы за пределы воронки взрыва (см. рис. 5.1, в).

Изменение характера действия заряда может быть достигнуто как уменьшением глубины заложения W заряда постоянной величины, так и увеличением массы заряда Q при постоянной глубине его заложения.

5.2. Действие взрыва сосредоточенного заряда в твердой однородной безграничной среде

При взрыве сосредоточенного заряда в твердой однородной безграничной среде на значительном удалении от обнаженной поверхности (заряд камуфлета) разрушение происходит в результате совместного действия ударной волны и газообразных продуктов взрыва (рис. 5.2).

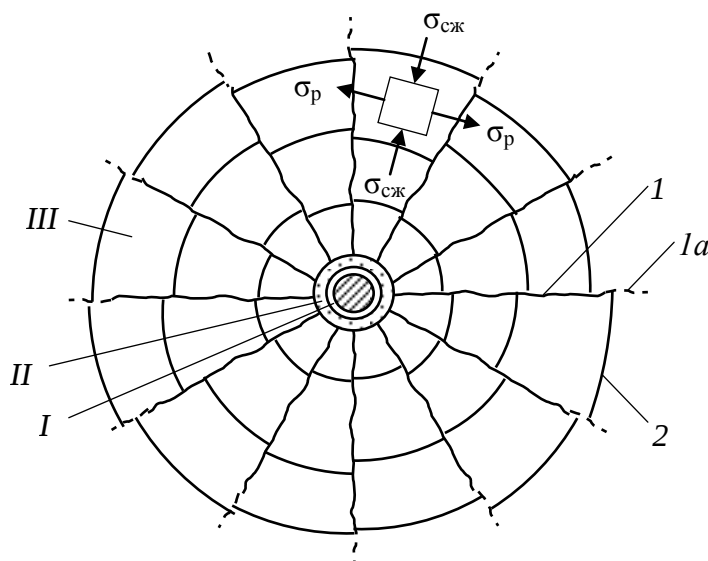


Рис. 5.2. Схема действия взрыва заряда в твердой однородной безграничной среде:

I – зона вытеснения; II – зона раздавливания; III – зона трещинообразования; IV – зона упругих деформаций; 1 – радиальные трещины, возникающие за счет действия растягивающих напряжений во фронте волны напряжений; $1а$ – развитие трещин в результате действия газообразных продуктов взрыва; 2 – кольцевые (сферические) трещины, возникающие при смещении пород в сторону зарядной камеры при падении в ней давления

На поверхности раздела «заряд – порода» детонационная волна переходит в ударную волну, которая вызывает сильное измельчение породы, находящейся в условиях всестороннего неравномерного сжатия (II – зона раздавливания). Под действием высокого давления продуктов детонации на прилегающие к заряду участки горной породы происходит вытеснение из-

мельченной породы с некоторым увеличением зарядной камеры (I – зона вытеснения). Зоны вытеснения и раздавливания распространяются в скальной горной породе на величину, не превышающую радиуса заряда r_0 .

По мере удаления от заряда амплитуда и скорость распространения ударной волны резко снижаются, и на расстоянии $5\div 6$ радиусов заряда ударная волна превращается в волну напряжения, скорость которой равна скорости звука в породе.

Под действием прямой волны напряжений в ее фронте в радиальном направлении возникают сжимающие напряжения, действие которых уже не может произвести разрушение в условиях всестороннего сжатия. В тангенциальном направлении возникают растягивающие напряжения, которые и вызывают появление радиальных трещин в породе, поскольку предел прочности породы на растяжение, как правило, в $5\div 10$ раз меньше, чем на сжатие.

Дальнейшее распространение волны напряжений, не приводящее к разрушению породы, определяет зону упругих деформаций (зону сотрясения) IV.

Газообразные продукты взрыва, распространяющиеся по радиальным трещинам, возникшим за счет действия волн напряжения, производят развитие данных трещин на определенное расстояние, зависящее от величины давления газообразных продуктов взрыва и прочностных характеристик горной породы. Зона, характеризующаяся развитием радиальных трещин, называется зоной трещинообразования III. Ее размер обычно составляет $40\div 50$ радиусов заряда r_0 .

При взрывании заряда на значительном расстоянии от обнаженной поверхности продукты взрыва, обладая достаточно высокими энергетическими характеристиками, уже не могут совершить дальнейшей механической работы по разрушению породы. За счет теплообмена с горными породами продукты взрыва охлаждаются, происходит разгрузка и смещение пород в сторону зарядной камеры, в результате чего образуются кольцевые (сферические) трещины. Данные трещины могут располагаться только в промежутке между ранее образованными радиальными трещинами.

5.3. Действие взрыва сосредоточенного заряда в твердой однородной среде при наличии обнаженной поверхности

Если расстояние от обнаженной поверхности до заряда ВВ соизмеримо с размером зоны трещинообразования, то общая картина разрушения существенно меняется (рис. 5.3).

Волна напряжений, достигшая обнаженной поверхности, отражается от границы раздела двух сред с разными плотностями. Наложение прямой и обратной волны приводит к увеличению амплитуды, а следовательно, и величины растягивающих напряжений, за счет которых происходит развитие трещин от поверхности, аналогичных радиальным трещинам, идущим от заряда.

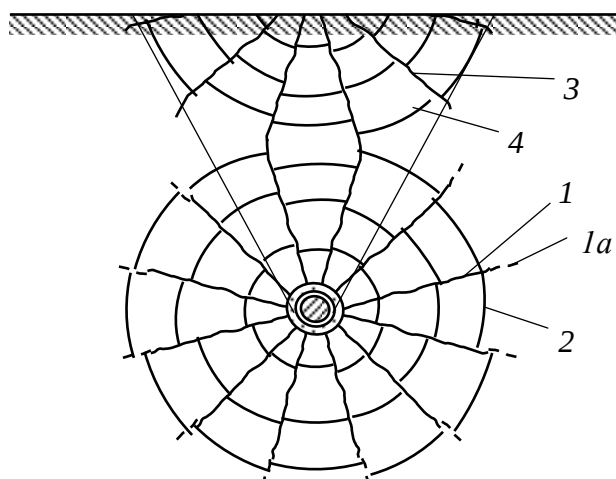


Рис.5.3. Схема действия взрыва заряда в твердой однородной среде при наличии обнаженной поверхности:

1 – радиальные трещины, возникающие за счет действия растягивающих напряжений во фронте волны напряжений; 1a – развитие трещин в результате действия газообразных продуктов взрыва; 2 – кольцевые (сферические) трещины, возникающие при смещении пород в сторону зарядной камеры при падении в ней давления; 3 – трещины, возникающие в результате совместного действия прямой и отраженной волн напряжений; 4 – откольные трещины

Кроме того, при отражении волны от обнаженной поверхности возникает волна растяжения, в результате чего вблизи поверхности возникают откольные трещины. Зоны разрушения, распространяющиеся навстречу друг другу от заряда и от обнаженной поверхности, соединяются, образуя общую зону разрушения в форме конусообразной воронки. Образующие отдельные куски породы под динамическим воздействием расширяющихся газообразных продуктов взрыва смещаются относительно друг друга, происходит разрыхление (увеличение в объеме) разрушенной породы и ее частичный выброс из воронки взрыва.

Таким образом, при взрывании **скальных монолитных массивов** разрушение породы обусловлено двумя факторами.

На первой стадии под воздействием начального импульса ударной волны от заряда распространяется волна напряжений, образуя объемную сетку трещин, в контуре воронки взрыва. На второй стадии процесс разрушения определяется запасом кинетической энергии газообразных продуктов взрыва. В таких средах роль начального ударно-волнового воздействия является определяющей, поэтому целесообразно применение мощных ВВ, обладающих высокой скоростью детонации.

При взрыве заряда в **скальных трещиноватых массивах** волна напряжений, проходя через трещины (поверхности раздела сред), значительно быстрее теряет свою амплитуду по мере удаления от заряда. Поэтому зона образования первичных трещин, вызванных воздействием ударной волны, существенно уменьшается. Основной вклад в результат взрыва в таких массивах вносит энергия газообразных продуктов.

При взрывании *грунтовых массивов*, представляющих собой дисперсные среды с отсутствующими или незначительными силами сцепления между частицами, разрушение происходит только за счет газообразных продуктов взрыва.

5.4. Воронка взрыва и ее элементы.

Классификация зарядов по показателю действия взрыва

Форма воронки взрыва зависит от свойств взрывающей среды. При расчетах одиночных сосредоточенных зарядов для упрощения расчетов форму воронки взрыва принимают в виде опрокинутого конуса вращения с вершиной в центре заряда.

Различают следующие элементы воронки взрыва (рис.5.4):

линия наименьшего сопротивления (л. н. с.) W – кратчайшее расстояние от центра заряда до ближайшей обнаженной поверхности;

r – радиус воронки взрыва;

α – угол раствора воронки взрыва;

R – радиус действия взрыва заряда.

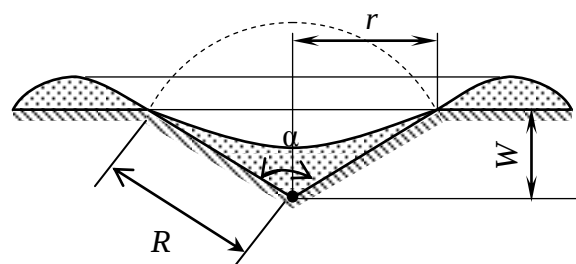


Рис. 5.4. Элементы воронки взрыва заряда

Характер действия взрыва заряда в среде, кроме того, определяется показателем действия взрыва

$$n = \frac{r}{W}. \quad (5.1)$$

В зависимости от величины показателя действия взрыва различают:

заряды нормального выброса ($n = 1$);

заряды усиленного выброса ($n > 1$);

заряды уменьшенного действия ($n < 1$).

При $n \approx 0,7$ видимой воронки от взрыва заряда не образуется, и по действию он является зарядом рыхления. При $n \approx 0,5$ (заряд камуфлета) данный показатель теряет физический смысл, поскольку воронки взрыва не образуется.

5.5. Принципы расчета сосредоточенных зарядов

Расчет массы заряда $ВВ$, необходимого для получения воронки выброса, основан на принципе пропорциональности, согласно которому масса заряда Q прямо пропорциональна объему взрывающей горной массы V :

$$Q \sim V. \quad (5.2)$$

Для зарядов нормального выброса ($n = 1$) при взрыве образуется конусообразная воронка, угол при вершине которой составляет 90° . Объем такой воронки равен объему конуса:

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 W. \quad (5.3)$$

Учитывая, что при $n = 1$ $r = W$, и приняв $\pi \approx 3$, получим:

$$V \approx W^3. \quad (5.4)$$

Коэффициентом пропорциональности q между массой заряда Q и объемом взрывающейся горной массы является **удельный расход ВВ**. Удельный расход ВВ характеризует массу ВВ, необходимую для разрушения 1 м^3 горной породы. Таким образом, масса сосредоточенного заряда определится по формуле

$$Q \approx qW^3. \quad (5.5)$$

При показателе взрыва n , отличном от единицы, расчет величины сосредоточенных зарядов производится по формуле М. М. Борескова:

$$Q \approx (0,4 + 0,6n^3)qW^3. \quad (5.6)$$

При значении л.н.с. более 25 м формула М. М. Борескова дает заниженные результаты. В этом случае расчет ведется по формуле Союзвзрывпрома:

$$Q \approx \left(\frac{W}{25} \right)^{0,5} (0,4 + 0,6n^3)qW^3. \quad (5.7)$$

Введение дополнительного коэффициента объясняется необходимостью придать центру тяжести массы выбрасываемого грунта скорость, достаточную для выброса его из пределов контура воронки взрыва.

5.6. Кумулятивное действие взрыва

Кумулятивным эффектом от латинского слова cumulatio – увеличивать, стимулировать, накапливать – называется явление, при котором разлет продуктов взрыва во время детонации при помощи схождения потоков продуктов детонации концентрируется в определенном направлении.

На рис. 5.5 показана схема разлета продуктов детонации с косой торцевой поверхности цилиндрического заряда ВВ.

Если в заряде бризантного ВВ сделать выемку конусной, параболической или полусферической формы, то продукты взрыва, разлетаясь с поверхности выемки по нормали, сталкиваются в месте схождения противоположных потоков продуктов взрыва, изменяют направление своего движения; при этом они дополнительно сжимаются и начинают двигаться с повышенной скоростью, обладая, соответственно, увеличенным пробивным эффектом.

Наибольшее сжатие продуктов взрыва происходит на некотором расстоянии от основания заряда (фокусном расстоянии F). Это расстояние тем больше, чем больше угол при вершине выемки, при этом сжатие продуктов взрыва и их скорость уменьшаются тем больше, чем больше угол при вершине выемки (рис. 5.6).

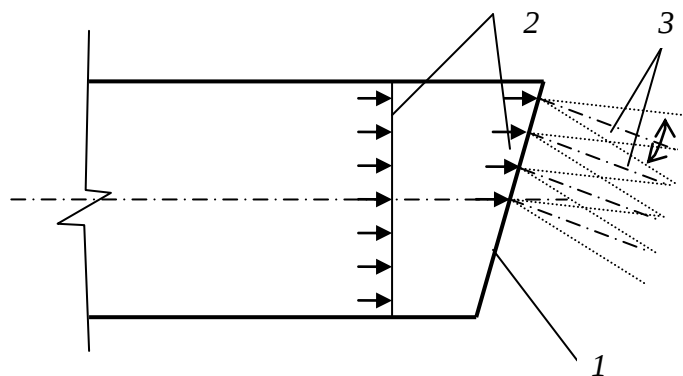


Рис. 5.5. Схема разлета продуктов детонации с косой поверхности цилиндрического заряда:

1 — косая торцовая поверхность цилиндрического заряда; 2 — фронт детонации;
3 — область разлета продуктов детонации с поверхности для каждой элементарной струи (в точке поверхности); $2\gamma = 10-12^\circ$

Если поверхность кумулятивной выемки покрыть тонкой металлической облицовкой, то пробивное действие такого заряда многократно увеличивается.

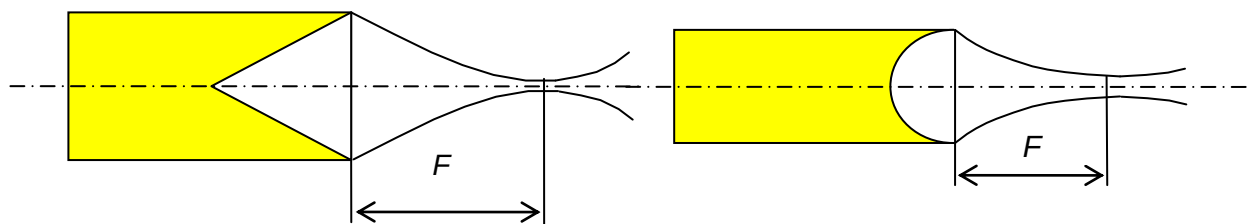


Рис. 5.6. Изменение фокусного расстояния в зависимости от формы кумулятивной выемки

Таблица 5.1

Изменение действия взрыва кумулятивного заряда

Конструкция заряда	Преграда	Результат взрыва
Заряд тротила диаметром 60 мм и высотой 180 мм	Бронеплита толщиной 200 мм	Незначительная вмятина
То же с торцевой конической кумулятивной выемкой	То же	Кратеры глубиной $1\div 3$ мм
То же с торцевой конической кумулятивной выемкой и облицовкой из стали толщиной 2 мм	— " —	Сквозная пробоина диаметром $8\div 10$ мм

Влияние конструкции заряда и расстояния до преграды из мягкой стали на пробивное действие показано на рис. 5.7 и в табл. 5.1.

Усиление действия взрыва при наличии металлической облицовки кумулятивной выемки объясняется тем, что основная часть энергии активной части КЗ «перекачивается» в металл облицовки так, что она концентрируется в тонком слое, образуя кумулятивную струю с более высокой плотностью, чем в заряде без облицовки.

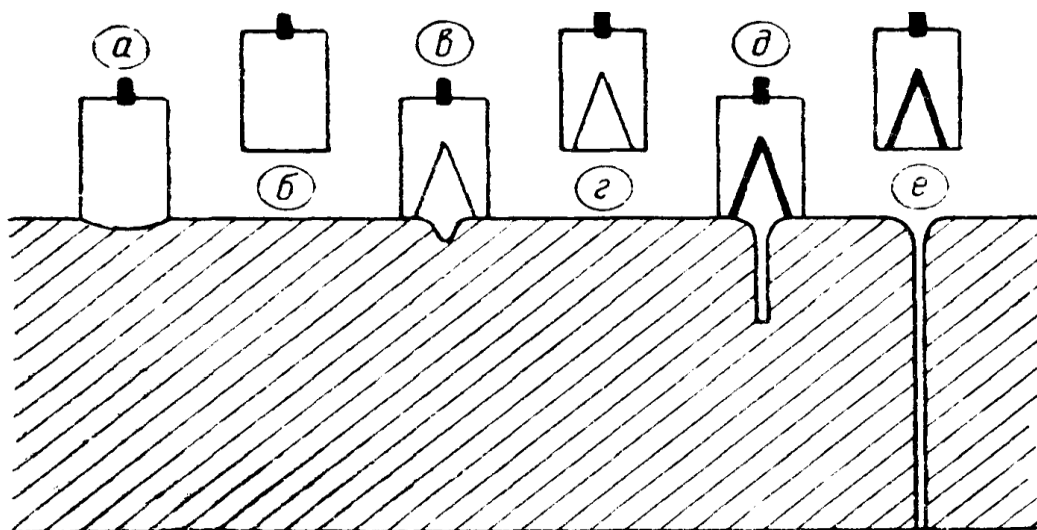


Рис. 5.7. Результат пробивного действия заряда в зависимости конструкции заряда и расстояния до преграды:
а, б – заряды без кумулятивной выемки; *в, г* – заряды с кумулятивной выемкой;
д, е – заряды с кумулятивной выемкой и облицовкой из стали

В результате концентрации энергии взрыва и создания уплотнённой газовой-металлической струи в области кумулятивной выемки, частицы наружного слоя металла воронки под действием упругого удара получают движение, отрываются от воронки и летят с большей скоростью (до 12÷15 км/с), образуя иглу кумулятивной струи (рис. 5.8).

Кумулятивная энергия струи переходит в энергию давления, равного $1\div 2 \cdot 10^5$ МПа, в результате чего металл брони течёт, не нагреваясь, до температуры плавления (температура кумулятивной струи составляет 200÷600 °С).

Из наружных слоёв облицовки формируется пест (хвостовая часть кумулятивной струи). Внутренние слои облицовки образуют головную часть струи, скорость которой достигает 10÷12 км/с. При этом скорость движения частей кумулятивной струи вдоль оси симметрии неодинакова и составляет до 2 км/с в хвостовой части (т. н. градиент скорости). Под действием градиента скорости струя в свободном полете растягивается в осевом направлении с одновременным уменьшением поперечного сечения. На удалении более 10÷12 диаметров воронки кумулятивного заряда струя начинает распадаться на фрагменты и её пробивное действие резко снижается.

Как показано на рис. 5.7, максимальным пробивным действием обладает кумулятивный заряд с металлической облицовкой, расположенный на некотором

расстоянии от преграды. Процесс формирования кумулятивной струи и этапы разрушения преграды из стали представлены на рис. 5.8 и 5.9.

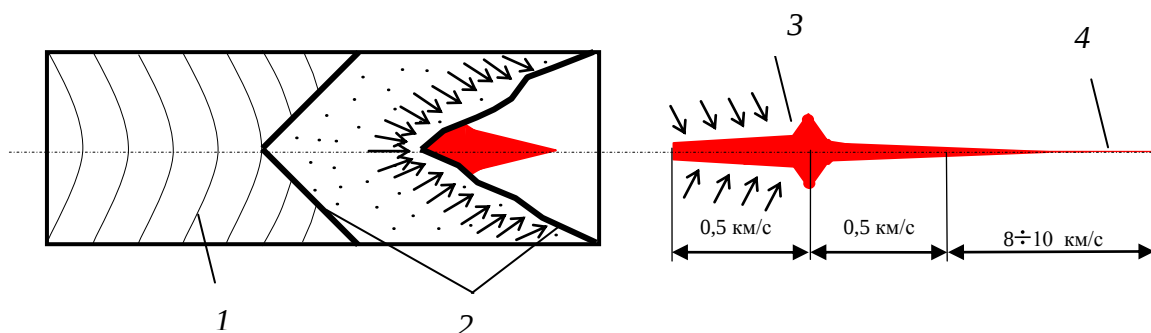


Рис. 5.8. Формирование кумулятивной струи цилиндрического заряда с металлической облицовкой торцевой кумулятивной выемки:

1 — фронт детонации в заряде ВВ; 2 — металлическая облицовка; 3 — пест; 4 — игла

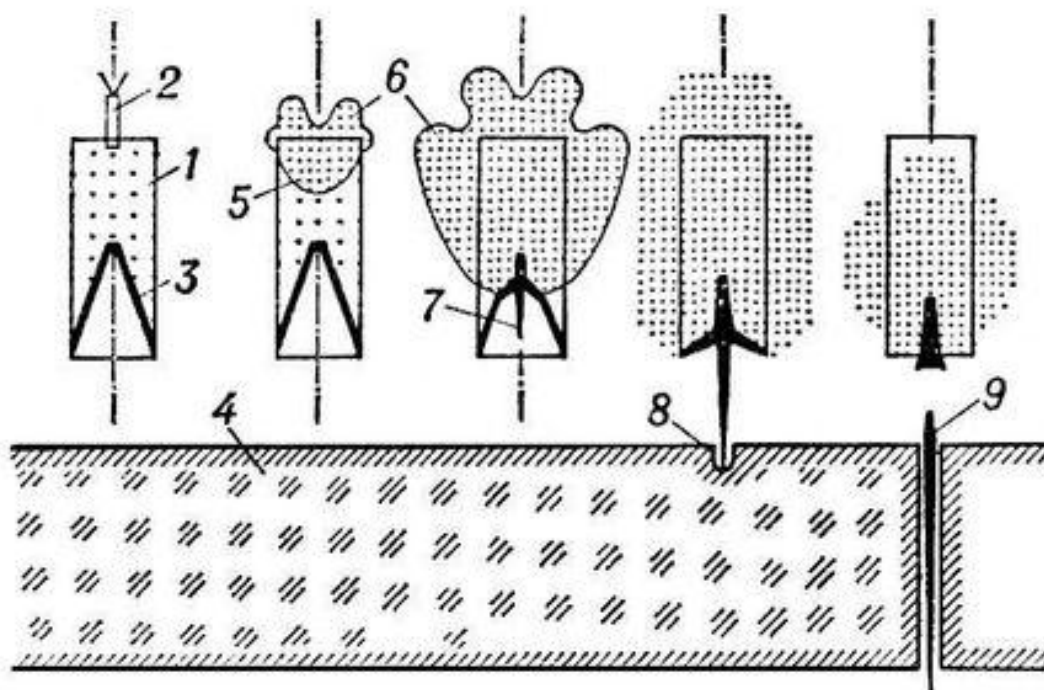


Рис. 5.9. Этапы взрыва кумулятивного заряда:

1 — заряд; 2 — детонатор; 3 — облицовка; 4 — пробиваемая преграда;
5 — фронт детонационной волны; 6 — продукты детонации; 7 — начало формирования кумулятивной струи; 8 — струя пробивает преграду; 9 — струя оторвалась и пробила преграду

Результаты пробивного действия кумулятивного заряда: длина и диаметр отверстия существенно зависят, прежде всего, от формы кумулятивной выемки (см. рис. 5.9 и 5.10).

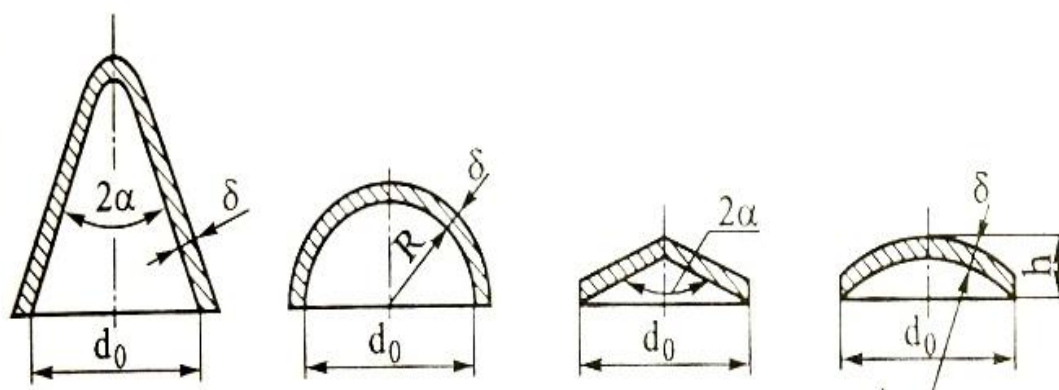


Рис. 5.10. Характерные формы кумулятивных зарядов

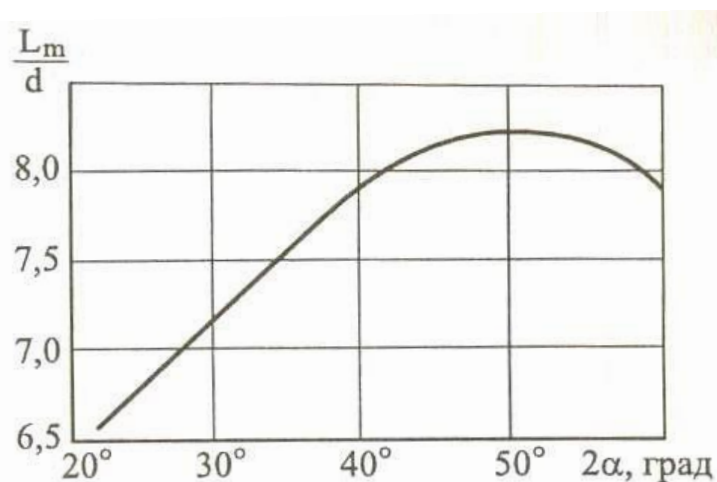


Рис. 5.11. Зависимость отношения максимальной глубины преграды к диаметру заряда от угла раствора кумулятивной облицовки

Для конической облицовки оптимальный угол раствора, при котором обеспечивается максимальная глубина пробития преграды: $2\alpha = 50^\circ$.

При увеличении угла раствора конуса и переходе к полусферическим облицовкам уменьшается скорость головной части кумулятивной струи и ее градиент при одновременном увеличении выхода массы кумулятивной облицовки в струю.

При этом снижается глубина пробития, но обеспечивается больший диаметр отверстия.

Механизм проникновения кумулятивной струи в преграду применительно к условиям перфорации рассмотрен проф. Н. Г. Григоряном исходя из гидродинамической теории академика М. А. Лаврентьева.

Скорость углубления канала в преграде без учета механической прочности материала преграды можно определить по формуле

$$v_{\pi} = v_c [1 + (\rho_{\pi} / \rho_c)^{0,5}], \quad (5.8)$$

где v_c – скорость струи, км/с; ρ_{π} и ρ_c – плотность соответственно преграды и струи, г/см³.

Следовательно, с увеличением плотности преграды скорость ее пробивания увеличивается.

Длина канала l_k связана с длиной струи l_c соотношением

$$l_k = l_c (\rho_c / \rho_{\pi})^{0,5}. \quad (5.9)$$

Таким образом, при отсутствии растяжения струи и без учета механической прочности преграды длина канала увеличивается с уменьшением плотности преграды. С учетом динамической прочности материала преграды σ_d (МПа) длина пробиваемого канала

$$l_k = (l_c / \rho_{\pi})^{0,5} (\rho_c - 0,2\sigma_d / v_b^2)^{0,5}. \quad (5.10)$$

Длина пробиваемого канала уменьшается с ростом прочности материала преграды, но увеличивается с повышением скорости встречи струи с преградой v_s и увеличением длины струи.

Зависимость диаметра канала d_k (см) от диаметра струи d_c (см), скорости проникания струи в преграду v_{π} (км/с), динамической твердости преграды H_n и плотностей струи и преграды ρ_c и ρ_{π} (г/см³) может быть приближенно определена по формуле

$$d_k \approx 2,5d_c (1 + 500\rho_{\pi}v_{\pi}^2 H_n^{-1})^{0,37}, \quad (5.11)$$

Следовательно, диаметр канала d_k , пробиваемого кумулятивной струей, прямо пропорционален диаметру струи d_c и в различной степени растет с увеличением ее скорости v_c и соотношения плотностей ρ_c и ρ_{π} , уменьшается с увеличением динамической твердости преграды H_{π} .

6. АССОРТИМЕНТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВВ

6.1. Требования к промышленным ВВ

Современные промышленные ВВ должны иметь:

- безопасность при обращении;
- достаточную чувствительность при инициировании;
- высокую химическую и физическую стабильность;
- низкую стоимость.

Кроме того, промышленные взрывчатые вещества должны обладать качествами, соответствующими условиям их применения, например:

- положительный кислородный баланс – подземные работы;
- водостойчивость – взрывные работы в обводненных условиях;
- предохранительность – взрывные работы во взрывоопасных средах;
- высокие термо- и баростойкость – взрывные работы в глубоких скважинах.

6.2. Классификации промышленных ВВ

Промышленные ВВ классифицируются по ряду признаков: по характеру воздействия на окружающую среду, по чувствительности к начальному импульсу, по химическому составу, по агрегатному состоянию, по условиям применения и т. д.

Классификации промышленных взрывчатых веществ представлены на диаграмме (рис. 6.1).

По условиям применения все промышленные взрывчатые материалы в соответствии с требованиями Единых правил безопасности при взрывных работах подразделяют на классы (табл. 6.1).

Условия применения взрывчатых веществ могут уточняться разрешениями Ростехнадзора. Ящики, мешки, пакеты и патроны с ВВ должны иметь отличительные по цвету признаки в виде оболочек и специальных полос (см. табл. 6.1).

6.3. Ассортимент неперехранительных ВВ

Неперехранительные ВВ получили наиболее широкое распространение в практике ведения взрывных работ (табл. 6.2).

6.3.1. Нитросоединения

Гранулотол – гранулированный тротил с размером гранул 3÷5 мм предназначен для производства взрывных работ при ручном и механизированном зааряжении скважин любой степени обводненности.

Гранулотол абсолютно водостойчив, хорошо тонет в воде, имеет хорошую сыпучесть и в сухом, и во влажном состоянии.

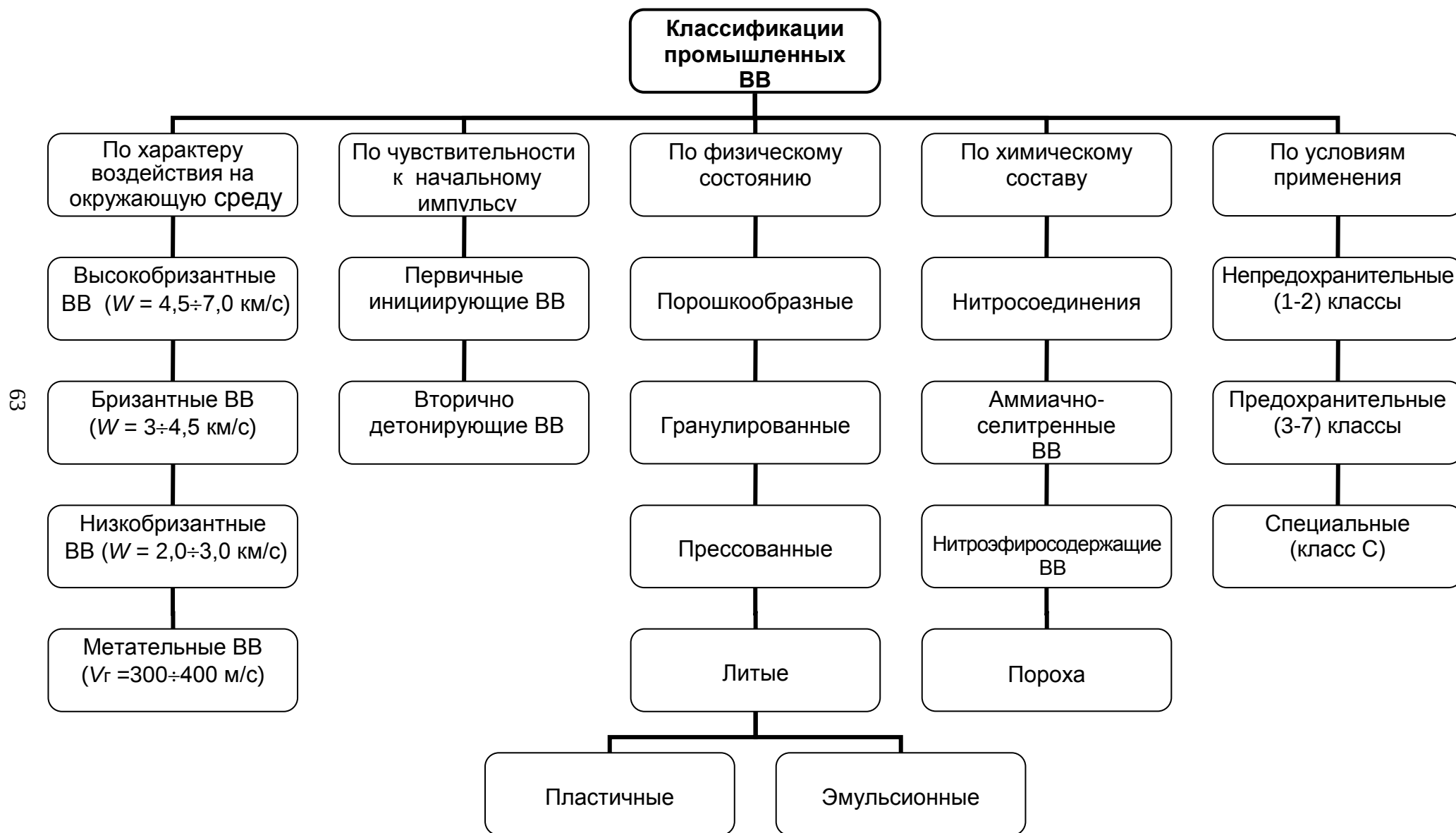


Рис. 6.1. Классификации промышленных ВВ

Таблица 6.1

Классификация взрывчатых веществ по условиям применения

Класс взрывчатых веществ	Группа взрывчатых веществ	Вид взрывчатых веществ, условия применения	Цвет отличительной полосы или оболочек патронов
I	—	Непредохранительные взрывчатые вещества для взрывания только на земной поверхности	Белый
II	—	Непредохранительные взрывчатые вещества для взрывания на земной поверхности и в забоях подземных выработок, в которых отсутствуют горючие газы или взрывчатая угольная (сланцевая) пыль	Красный
III	—	Предохранительные взрывчатые вещества для взрывания в забоях подземных выработок угольных и сланцевых шахт, в которых имеется выделение горючих газов или взрывчатой угольной (сланцевой) пыли	Синий
IV	—		Желтый
V	—		Желтый
VI	—		Желтый
VII	—		Желтый
Специальный (С)	—	Непредохранительные и предохранительные взрывчатые вещества и изделия из них, предназначенные для специальных взрывных работ	—
	1	Взрывные работы на земной поверхности: импульсная обработка металлов; инициирование скважинных и сосредоточенных зарядов, контурное взрывание для заоткоски уступов; разрушение мерзлых грунтов; дробление негабаритных кусков горной массы; сейсморазведочные работы в скважинах; создание заградительных полос при локализации лесных пожаров, другие специальные работы	Белый
	2	Взрывные работы в забоях подземных выработок, не опасных по газу и (или) угольной (сланцевой) пыли; взрывание сульфидных руд; дробление негабаритных кусков горной массы; контурное взрывание, другие специальные работы	Красный
Специальный (С)	3	Прострелочно-взрывные работы в разведочных, нефтяных, газовых скважинах	Черный
	4	Взрывные работы в серных, нефтяных и других шахтах, опасных по взрыву серной пыли, водорода и паров тяжелых углеводородов	Зеленый

Таблица 6.2

Непредохранительные промышленные ВВ

Характеристика ВВ	I класс по условиям применения		II класс по условиям применения	
	заводского изготовления	изготавливаемые на местах производства работ	заводского изготовления	изготавливаемые на местах работ
1. Нитросоединения (гранулированные)	Гранулотол Алюмотол	Нет	Нет	Нет
2. Смесь аммиачной селитры с нитросоединениями (гранулированные)	Граммониты (30/70, 50/50, 82/18 и др.)	Нет	Граммонит 79/21 Граммонит М Граммонит ТМ Граммотол марок 10, 15, 20	Нет
3. Смесь аммиачной селитры с нитросоединениями (патронированные, порошкообразные)	Нет	Нет	Аммонит № 6 ЖВ Аммонал. Аммонал М-10 Аммонал скальный № 1 Аммонал скальный № 3	Нет
4. Смесь аммиачной селитры с жидкими нитроэфирами	Нет	Нет	Детонит М	Нет
5. Смесь аммиачной селитры с невзрывчатыми компонентами	Гранулиты (АП, АС-6М, АС-8ПР, С-6М,)	Гранулиты (АК, АС-Д, ВК)	Гранулиты (М, АС-4, АС-4В, АС-8, АС-8В, АФ-7, МГ-10 и)	Гранулиты (А6, Д5, игданит, игданит П, ПС)
6. Водосодержащие	Селипор (патронированный)	Акватолы Карбатолы	Нет	Акванит АРЗ-8 Акванал АРЗ-8Н
7. Эмульсионные	Порэммит П Эмульсолит П	Порэммиты (1, 1А, В, Гранэммит-И50 Сибириты (1000, 1200)	Нет	Нет
8. Конверсионные	Гранипоры (БП-1, БП-2, ФМ). Дибазит Нитропор. Тротил У (УД, УГ)	Нет	Нет	Нет

При хранении гранулотол не слеживается, обладает высокой стабильностью взрывчатых свойств. Его заряды могут длительное время находиться в воде, в том числе в проточной без потери взрывчатых свойств. Для инициирования скважинных зарядов гранулотола необходим мощный промежуточный детонатор, так как ВВ недостаточно чувствительно к обычным средствам инициирования.

Алюмотол – взрывчатое вещество, предназначенное для производства взрывных работ при ручном и механизированном зарядании скважин любой степени обводненности, представляющее собой гранулированный сплав, состоящий из 85 % тротила и 15 % алюминиевой пудры с гранулами серого цвета размером до 5 мм.

Алюмотол, как и гранулотол, абсолютно водостойчив, хорошо сыпуч в сухом и влажном состоянии, не слеживается, обладает стабильностью взрывчатых свойств и высокими энергетическими характеристиками.

Остальные нитросоединения самостоятельно как промышленные ВВ не применяются.

Нитроглицерин используется в качестве добавки в составе патронированных ВВ.

Гексоген широко применяется в смеси с тротилом для изготовления промежуточных детонаторов (шашек) и специальных зарядов, снаряжения термостойких ДШ, изготовления зарядов для ПВА, добавки в составе патронированных ВВ.

ТЭН – снаряжение ДШ, изготовление в смеси с тротилом шашек.

6.3.2. Гранулированные аммиачно-селитренные ВВ

Граммониты представляют собой механическую смесь гранулированной аммиачной селитры с нитросоединениями (тротилом).

Граммониты 30/70 и 50/50 – двухкомпонентные взрывчатые вещества, предназначенные для производства взрывных работ *только на поверхности* при ручном и механизированном зарядании сухих и ограниченно обводненных (с непроточной водой) скважин, состоят из смеси гранул аммиачной селитры и тротила. Числитель дроби в марке ВВ обозначает процентное содержание аммиачной селитры, а знаменатель – процентное содержание тротила. Граммониты представляют собой смесь гранул размером 2÷3 мм.

Скважинный заряд граммонита взрывается от промежуточного детонатора массой 200-400 г (аммонит № 6ЖВ, тротиловые шашки).

Граммонит 79/21 – имеет нулевой кислородный баланс и относится по условиям применения к II классу; предназначен для применения в породах средней крепости и крепких при ручном и механизированном зарядании сухих и ограниченно обводненных (с непроточной водой) скважин.

Граммонит М – взрывчатое вещество, состоящее из гранулотола (гранулированного тротила), гранулированной аммиачной селитры и угольного порошка.

Граммонит ТМ – взрывчатое вещество, состоящее из гранулотола (15,0 %), нефтепродукта (1,7 %), гранулированной (79,3 %) и водостойчивой (4,0 %) аммиачной селитры.

Граммотол – взрывчатое вещество, состоящее из гранулотола, нефтепродукта и гранулированной аммиачной селитры.

6.3.3. Порошкообразные ВВ аммиачно-селитренные ВВ

Аммонит 6ЖВ (состав: аммиачная селитра водоустойчивая – 79,0 %, тротил – 21,0 %) выпускается в россыпном виде (затаривается в мешки весом 40 кг) и в патронах диаметром 32, 36, 45, 90 мм. Является наиболее распространенным порошкообразным ВВ.

Аммонал (состав: аммиачная селитра водоустойчивая – 80,5 %, тротил – 15,0 %, алюминиевая пудра – 4,5 %, выпускается в патронах диаметром 32 мм).

Аммонал М-10 (состав: аммиачная селитра водоустойчивая – 76,0 %, тротил – 14,0 %, алюминиевая пудра – 10,0 %, выпускается в патронах диаметром 32, 36 мм).

Аммонал скальный № 1 (состав: аммиачная селитра водоустойчивая – 66,0 %, тротил – 5,0 %, гексоген – 24,0 %, алюминиевая пудра – 5,0 %, выпускается в патронах диаметром 36, 45 мм).

Аммонал скальный № 3 (состав: аммиачная селитра водоустойчивая – 72,0 %, тротил – 6,0 %, гексоген – 14,0 %, алюминиевая пудра – 8,0 %) выпускается в патронах диаметром 45, 60, 90 мм и предназначен для применения на земной поверхности.

Детонит М (состав: аммиачная селитра водоустойчивая – 78,0 %, нитроэфиры – 10,0 %, алюминиевая пудра – 10,7 %, стеарат кальция или цинка – 1,0 %, коллоидный хлопок – 0,3 %, выпускается в патронах диаметром 28, 32, 36 мм). Относится, наряду с аммоналом скальным № 1, к наиболее мощным патронированным ВВ II класса.

6.3.4. Простейшие (бестротиловые) аммиачно-селитренные ВВ

Гранулиты – простейшие бестротиловые ВВ, состоящие из гранулированной аммиачной селитры, омасленной минеральным маслом и опудренной твердой тонкодисперсной горючей добавкой. Гранулиты могут быть заводского изготовления или приготавливаться на местах производства взрывных работ.

Гранулит-игданит (игданит) представляет собой простейшую сбалансированную по кислороду бинарную смесь гранулированной аммиачной селитры ($94,5 \pm 0,5$ %) и дизельного топлива ($5,5 \pm 0,5$ %), получил наибольшее распространение среди гранулитов II класса, изготавливаемых на местах производства работ. Игданит отличается от гранулитов заводского производства простотой изготовления и невысокой стоимостью.

К гранулитам II класса, изготавливаемым на местах производства работ, также относятся:

гранулит А-6 (состав: аммиачная селитра – 90,0 %, алюминий или силикоалюминий дисперсный – 6,0 %, нефтепродукт – 4,0 %);

гранулит Д-5 (состав: аммиачная селитра – 94,0 %, дизельное топливо – 2,0 %, угольный порошок, изготавливаемый из каменных углей, – 4,0 %);

гранулит ПС-1 (состав: аммиачная селитра – 93,4 %, карбонат кальция – 0,6 %, нефтепродукт – 6,0 %).

К гранулитам II класса по условиям применения заводского изготовления относятся следующие взрывчатые вещества:

гранулит М (состав: аммиачная селитра – 94,5 %, масло приборное или соляровое – 5,5 %);

гранулит АС-4В (аммиачная селитра – 91,8 %, алюминиевая пудра – 4,0 %, гидрофобный восковый состав – 4,2 %);

гранулит АС-8В (аммиачная селитра – 89,0 %, алюминиевая пудра – 8,0 %, гидрофобный восковый состав – 3,0 %).

6.3.5. Водосодержащие ВВ

Акватолы – группа водосодержащих ВВ, представляющих собой плотные нерасслаивающиеся суспензии, твердой фазой которых служит смесь гранулированной аммиачной селитры с гранулотолом или алюмотолом. Жидкая фаза суспензии представлена насыщенным раствором аммиачной селитры, целиком заполняющим межгранульное пространство.

Для придания водоустойчивости раствор аммиачной селитры загущают солью карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) или полиакриламидом, а также дополнительно структурируют сшивающими добавками с образованием геля.

Наиболее распространенным ВВ данного типа является **акватол Т-20**, содержащий 20 % гранулотола или алюмотола и имеющий ряд модификаций.

Карбатолы – водосодержащие горячельющиеся ВВ, изготавливаемые из низкотемпературного эвтектического расплава аммиачной селитры и карбамида с добавками гранулотола и 3÷5 % воды. Плотности расплава и гранулотола примерно равны, что исключает расслоение смеси. Отсутствует необходимость в применении загустителя, так как смесь при охлаждении быстро твердеет.

В настоящее время акватолы и карбатолы применяются достаточно редко. На смену им пришли бестротиловые эмульсионные ВВ.

Акваналы представляют собой насыщенный раствор аммиачной селитры, обогащенный алюминиевым порошком или его менее дорогостоящими производными.

Акваниты состоят из смеси аммиачной селитры, алюминиевого порошка и водорастворимого загустителя. В качестве сенсibilизатора может использоваться тротил в виде порошка или гранул; допущены к применению в подземных условиях.

6.3.6. Эмульсионные ВВ

Эмульсионные ВВ изготавливаются путем обработки горячего раствора селитры (смеси аммиачной, кальциевой и натриевой селитр) и индустриального масла при температуре 80 °С с добавкой эмульгатора в аппарате эмульгирования, за счет чего образуется обратная эмульсия. При этом раствор селитры диспергируется до капель микронного размера, которые обво-

лакиваются пленкой масла. В результате получается абсолютно водоустойчивая обратная эмульсия сметанообразной консистенции.

Для повышения детонационной способности эмульсии в нее вводят газовые пузырьки, например, в виде микросфер или стекла или, используя газогенерирующую добавку (ГГД), – нитрит натрия.

В таком состоянии эмульсия становится взрывчатым веществом – **порэммитом** – с достаточно высокой чувствительностью к взрывному начальному импульсу и имеет сравнительно малую величину критического диаметра.

Эмульсия **порэмита**, или **сибирита**, изготавливается в стационарных установках, загружается в бункер зарядно-смесительной машины и доставляется к месту заряжания.

При зарядании скважины совмещают операцию транспортирования эмульсии с введением в нее ГГД, обеспечивающей образование в эмульсии газовых пузырьков, т. е. собственно превращение эмульсии во взрывчатое вещество.

Гранэммит – эмульсионное ВВ, представляющее собой смесь порэмита и игданита. В соответствии с его маркой И-30, И-50, И-70, содержание игданита составляет 30, 50 и 70 %.

6.3.7. Конверсионные ВВ

Конверсионные ВВ получают из боеприпасов, у которых закончился установленный срок хранения, порохов и других ВВ. После определенной переработки они используются как промышленные ВВ.

Гранипоры – промышленные ВВ I класса, изготавливаемые из пироксилиновых порохов с размером частиц от 5 до 20 мм с добавкой жидкого нефтепродукта. Предназначены для производства взрывных работ при ручном зарядании сухих и обводненных скважин.

Дибазит – водоустойчивое промышленное ВВ I класса, изготавливаемое на основе баллистических порохов. Предназначен для взрывных работ при ручном зарядании скважин любой степени обводненности, в том числе с проточной водой. Внешний вид дибазита – таблетки или гранулы произвольной формы и цвета размером до 40 мм.

Тротил У – промышленное ВВ I класса, изготавливаемое из тротила, извлеченного из боеприпасов при расснаряжении. Предназначен для взрывных работ при ручном зарядании скважин любой степени обводненности, в том числе с проточной водой.

7. СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ИНИЦИИРОВАНИЯ ЗАРЯДОВ ВВ

7.1. Классификация способов инициирования зарядов ВВ

Специальные технические устройства, используемые для создания начального импульса с целью возбуждения взрыва зарядов ВВ, называются *средствами инициирования*.

В зависимости от применяемых средств инициирования разделяют следующие способы инициирования (способы взрывания) зарядов промышленных ВВ (рис. 7.1).

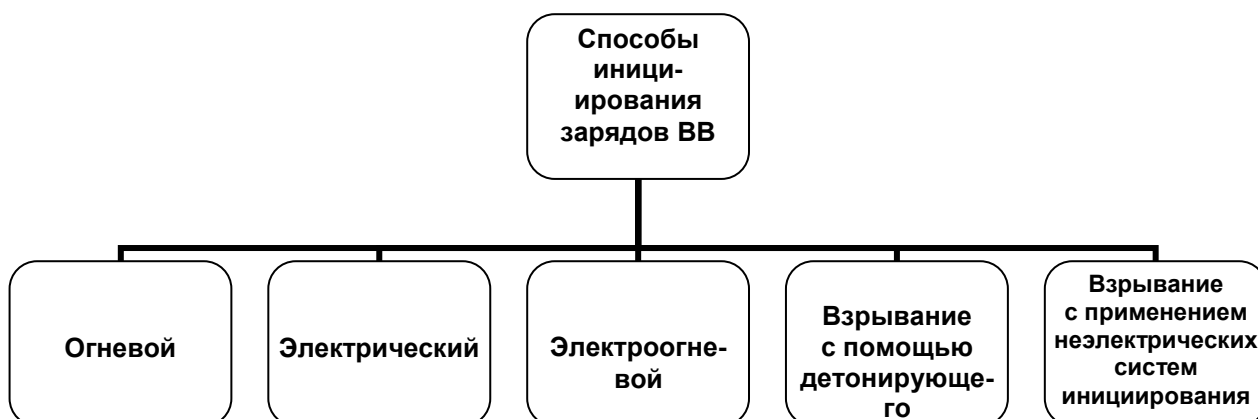


Рис. 7.1. Способы инициирования зарядов ВВ

По средствам инициирования различают следующие способы:

1. Огневой способ взрывания. Взрыв заряда осуществляется от капсюля-детонатора, который получает начальный импульс от искры горячей пороховой сердцевинки огнепроводного шнура (ОШ). Воспламенение ОШ производится с помощью специальных средств зажигания или спичкой. Огневой способ имеет ограниченное применение, в основном при небольших объемах взрывных работ и в тех случаях, когда его нельзя заменить более эффективными и безопасными способами инициирования.

2. Электроогневой способ взрывания. Взрыв заряда ВВ осуществляется от капсюля-детонатора, а огнепроводный шнур воспламеняется вспышкой порохового заряда от электрического тока. Иницирование зарядов ВВ производится дистанционно из укрытия. Этот способ также имеет ограниченное распространение и применяется, когда отход взрывника в безопасное место затруднен.

3. Электрический способ взрывания. Взрыв заряда осуществляется с помощью электродетонатора, инициируемого от мостика накаливания электровоспламенителем. Данный способ является основным при взрывных работах в шахтах, опасных по газу и пыли. Широко применяется при проходке подзем-

ных горных выработок, может использоваться при взрывании скважинных зарядов на карьерах.

4. Взрывание с помощью детонирующего шнура. Взрыв заряда осуществляется от детонирующего шнура, который получает начальный импульс от капсюля-детонатора или электродетонатора. Наибольшее распространение данный способ получил при взрывных работах на карьерах. Может использоваться также на рудных и соляных шахтах, является основным при выполнении прострелочно-взрывных работ в скважинах.

5. Взрывание с помощью низкоэнергетических волноводов (неэлектрических систем инициирования).

Взрыв заряда производится от капсюля-детонатора, который получает начальный импульс от ударно-волновой трубки (УВТ). В свою очередь, для возбуждения низкоскоростной детонации ВВ в УВТ применяют стартовые устройства, электродетонаторы и детонирующие шнуры.

7.2. Огневое взрывание

Этот способ взрывания является наиболее простым и дешевым, в настоящее время имеет крайне ограниченное применение из-за высокой опасности.

Принципиальная схема огневого инициирования заряда ВВ представлена на рис. 7.2.

К средствам огневого взрывания относятся:

- капсюль-детонатор;
- огнепроводный шнур;
- средства зажигания огнепроводного

шнура.

Капсюль-детонатор (КД) представляет собой устройство для возбуждения детонации промышленных ВВ (рис. 7.3) и выполнен в виде открытой с одного конца гильзы длиной $45 \div 51$ мм и диаметром $6,3 \div 7,65$ мм. Толщина стенок гильзы $0,4 \div 0,5$ мм. Примерно на $2/3$ своей длины гильза заполнена первичными и вторичными ВВ.

Свободный конец (дульце) предназначен для размещения отрезка огнепроводного шнура на месте производства взрывных работ.

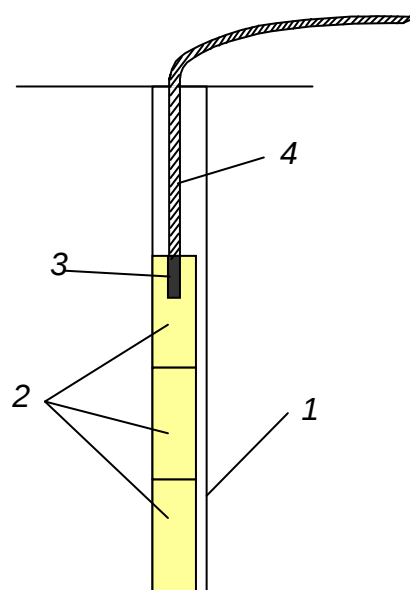


Рис. 7.2. Принципиальная схема огневого инициирования заряда ВВ:
1 – шнур; 2 – патроны ВВ;
3 – капсюль-детонатор;
4 – огнепроводный шнур

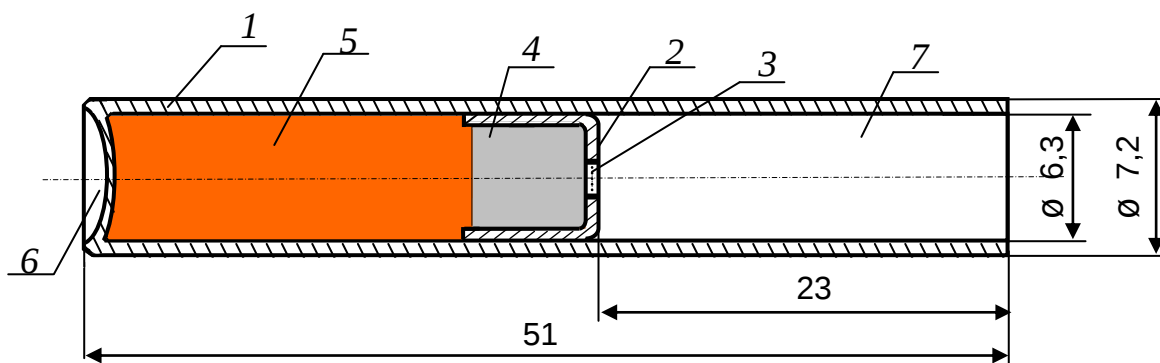


Рис. 7.3. Капсюль-детонатор КД-8М:

- 1 – металлическая гильза; 2 – металлическая чашечка; 3 – отверстие;
 4 – первичное инициирующее ВВ (механическая смесь азида свинца
 с ТНРС в соотношении 0,75/0,25 – 0,38 г);
 5 – вторичное ВВ (гексоген – 1 г); 6 – кумулятивная выемка; 7 – дульце

В России выпускают детонаторы марок: **КД-8С, КД-8МА, КД-8Б**, где буква означает материал гильзы соответственно: сталь (биметалл), алюминий, бумага.

Капсюли-детонаторы обладают высокой чувствительностью к трению, удару и огню, поэтому при обращении с ними необходимо соблюдать особую осторожность.

Огнепроводный шнур (ОШ) предназначен для луча огня передачи на определенное расстояние с целью возбуждения взрыва капсюля-детонатора или воспламенения порохового заряда. Огнепроводный шнур состоит из слабоспрессованной пороховой сердцевины, сформированной вокруг направляющей нити и покрытой рядом оплеток (рис. 7.4).

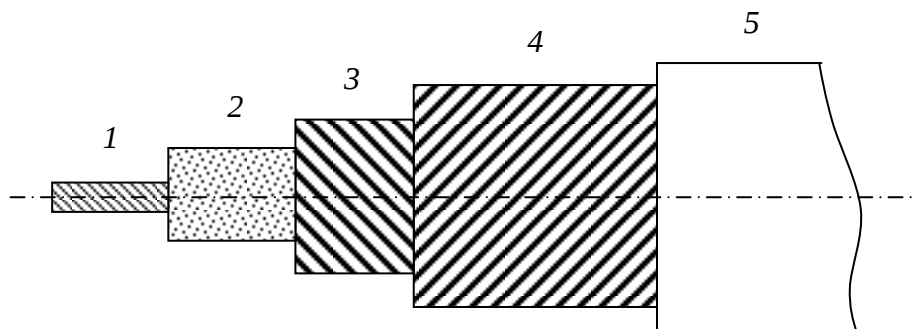


Рис. 7.4. Огнепроводный шнур:

- 1 – направляющая нить; 2 – пороховая сердцевина;
 3, 4 – льняные и хлопчатобумажные оплетки; 5 – наружная оболочка

Хлопчатобумажная направляющая нить служит для предотвращения высыпания пороховой сердцевины из оплеток. Оплетки между собой разделены изолирующими прослойками. Дымный порох огнепроводного шнура содержит 78 % калиевой селитры, 12 % древесного угля и 10 % серы. Вес порохового заряда составляет 5÷8 г на метр шнура. Наружный диаметр ОШ 5÷6 мм. Скорость горения ОШ составляет примерно 1 см/с.

В зависимости от материала и характера водоизолирующего покрытия ОШ изготавливают двух марок: **ОША** – асфальтированный; **ОШП** – пластикатный.

К средствам зажигания огнепроводного шнура относятся: спички, зажигательный фитиль, «затравка», зажигательный патрончик (рис. 7.5, 7.6).

Спичками разрешается поджигать только один отрезок ОШ.

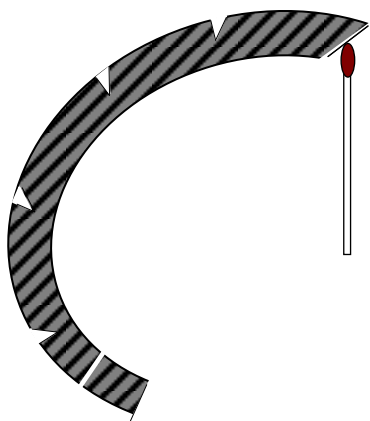


Рис. 7.5. Огнепроводный шнур – «затравка»

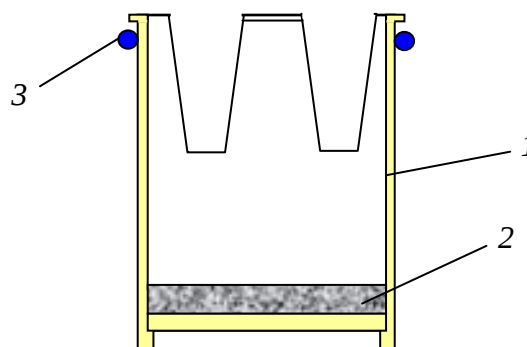


Рис. 7.6. Зажигательный патрон ЗП-Б:
1 – бумажный патрон; 2 – резиновое кольцо;
3 – зажигательный состав

Технология производства взрывных работ **при огневом взрывании** заключается в последовательном выполнении взрывником следующих операций:

- получение взрывчатых материалов;
- изготовление зажигательных и контрольных трубок;
- доставка ВМ к месту взрыва;
- изготовление патронов-боевиков;
- зарядание и забойка шпуров;
- монтаж взрывной сети;
- зажигание трубок и отход взрывника в безопасное место;
- осмотр забоя и отчет за израсходованные ВМ.

7.3. Электрическое взрывание

Электрический способ взрывания широко применяется при различных видах взрывных работ.

К средствам электрического взрывания относятся:

- электродетонаторы;
- провода взрывной сети;

- контрольно-измерительные приборы;
- источники тока.

Электродетонатор (ЭД) представляет собой **капсюль-детонатор** с закрепленным в нем **электровоспламенителем**.

Выпускаемые отечественной промышленностью электродетонаторы различают по соответствующим признакам (рис. 7.7).

Наиболее распространенными электродетонаторами при взрывных работах в горной промышленности являются ЭД общего назначения с металлическими мостиками накаливания. Принципиальное устройство таких электродетонаторов непродохранительного типа показано на рис. 7.8. Кумулятивная выемка на донышке гильзы ЭД служит тем же целям, что и у капсюля-детонатора. В качестве вторичного инициирующего ВВ применяется, как правило, гексоген или тетрил, в качестве первичного – азид свинца и тенерес (ТНРС).

Электродетонаторы мгновенного действия (см. рис. 7.8, а) предназначены для производства взрывных работ на земной поверхности и в подземных условиях в шахтах, неопасных по газу и пыли при одновременном (мгновенном) взрывании группы зарядов ВВ. При короткозамедленном взрывании они могут использоваться в качестве нулевой ступени замедления. В таких детонаторах воспламенительная головка непосредственно воздействует на инициирующее ВВ.

Наиболее распространенными и допущенными к применению являются электродетонаторы мгновенного действия марок ЭД-8Э и ЭД-8Ж. Буквы Э и Ж означают соответственно эластичное и жесткое крепление мостика накаливания. Время срабатывания ЭД 2 – 6 мс, электросопротивление $1,8 \div 4,2$ Ом, гарантийный безопасный ток 0,02 А, импульс воспламенения $0,6 \div 2,5$ А²мс.

Электродетонатор ЭД-1-8Т обладает повышенным импульсом воспламенения – 88 А²мс и пониженной чувствительностью к сторонним токам. Для взрывания зарядов ВВ при сейсморазведке в условиях повышенного давления среды (в воде) выпускаются электродетонаторы марок ЭДС-1 и ЭДС-2 (сейсмические), которые дают задержку взрыва не более 1 мс.

Электродетонаторы замедленного и короткозамедленного действия (см. рис. 7.8, б) предназначены для поочередного взрывания зарядов ВВ при открытых и подземных горных работах. Для создания замедления между электровоспламенителем и первичным инициирующим ВВ впрессован замедляющий пиротехнический состав.

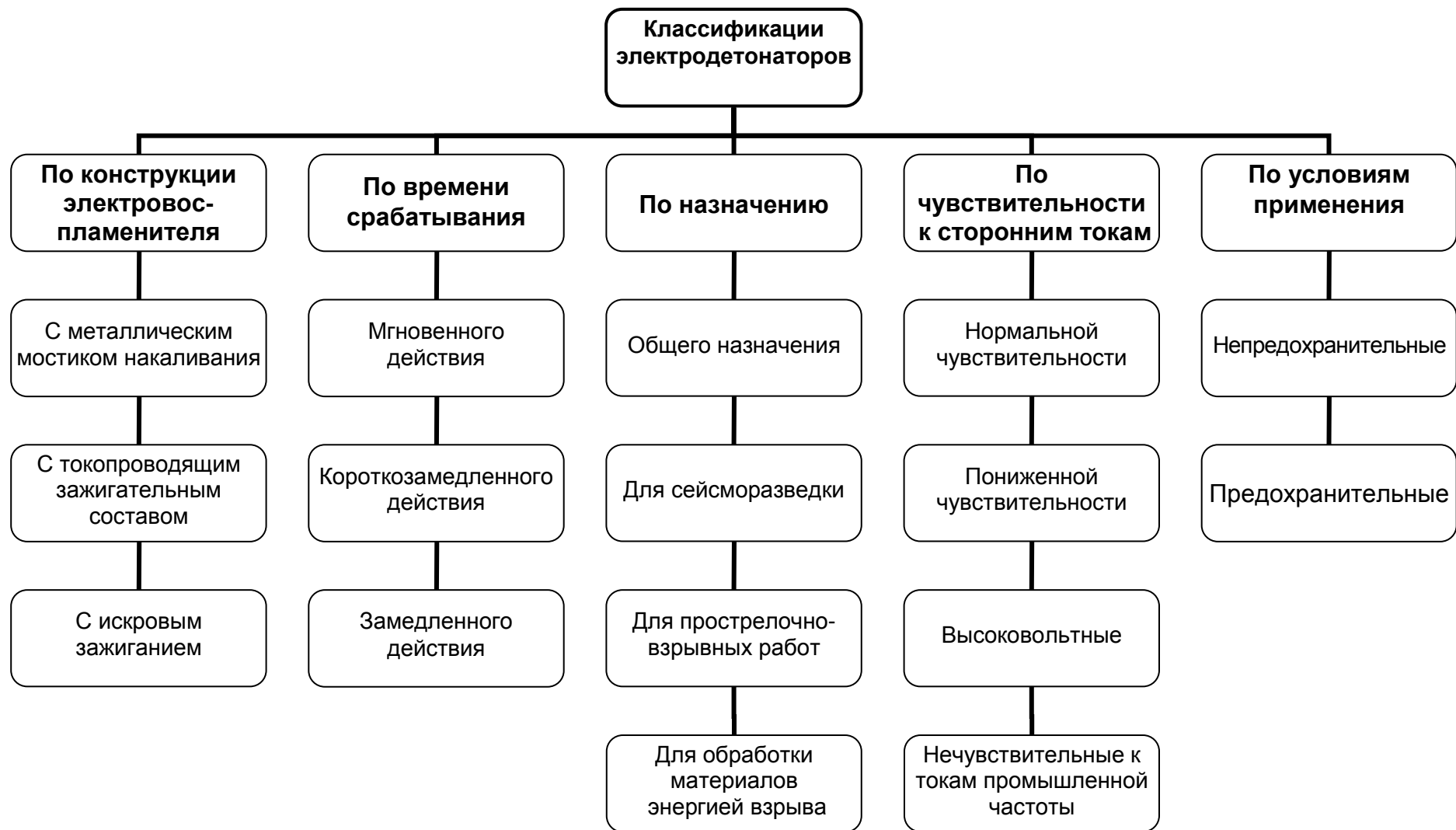


Рис. 7.7. Классификации электродетонаторов

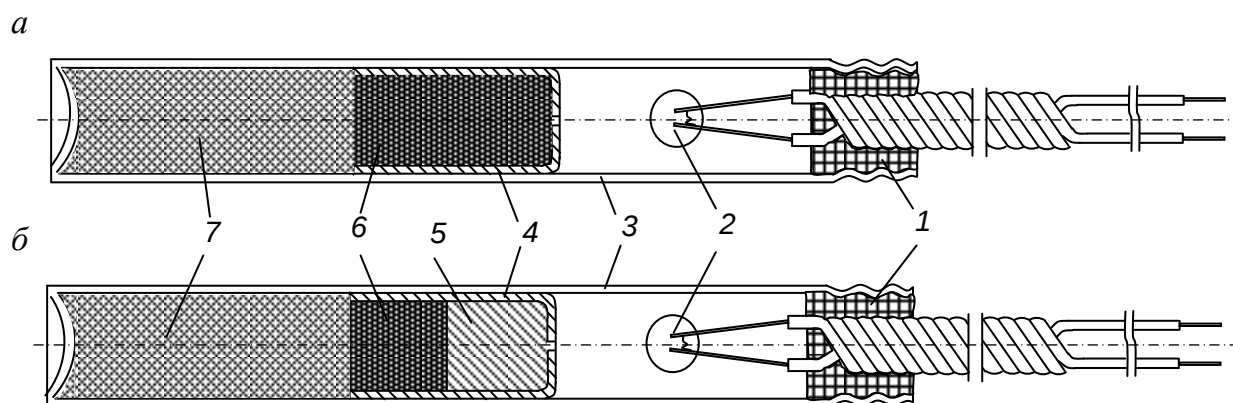


Рис. 7.8. Электродетонаторы непредохранительного типа мгновенного (*а*) и короткозамедленного и замедленного (*б*) действия:
 1 – пластиковая пробка; 2 – электровоспламенитель; 3 – гильза детонатора;
 4 – чашечка; 5 – замедляющий состав; 6 – первичное инициирующее ВВ;
 7 – вторичное инициирующее ВВ

Сравнительные характеристики электродетонаторов различных типов приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Классификация взрывчатых веществ по условиям применения

Электродетонаторы	Электрическое сопротивление, Ом	Безопасный ток, А	Гарантийный ток, А	Область применения
ЭД-8 Ж, ЭДЗН (обычной чувствительности)	1,8÷3,6	0,2	1,0	Горные работы, строительство
ЭД-1-8Т, ЭД-1-3Т (пониженной чувствительности)	0,5÷0,75	1,0	5,0	Горные работы, строительство
ЭДС-1 (сейсмический)	1,5÷3,0	0,2	1,0	Взрывные работы при сейсморазведке
ЭДВ-1 (высоковольтный)	0,2÷0,6 3,2÷4,2	–	Импульс 15 кВ	Импульсная обработка металлов
ЭДЭ (электронный)	–	–	–	Горные работы, строительство

Источники тока представляют собой специальные устройства – взрывные приборы (ВП) для подачи во взрывную сеть необходимой величины импульса электрического тока, обеспечивающего взрыв нужного числа ЭД, размещенных в зарядах ВВ.

Сетевые взрывные приборы подключаются непосредственно к осветительной или силовой сети.

Переносные ВП имеют собственный автономный низковольтный источник электроэнергии (*индуктор, аккумулятор, батарея*).

Современные взрывные приборы и машинки относятся к конденсаторному типу (рис. 7.9–7.11, табл. 7.2).

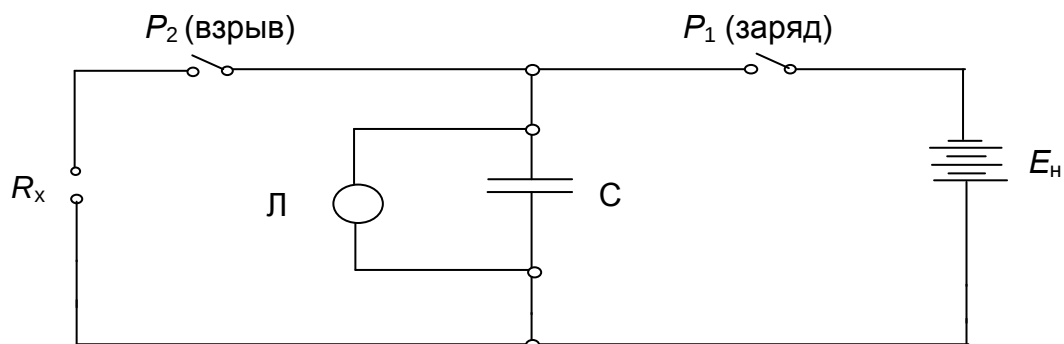


Рис. 7.9. Принципиальная схема конденсаторного взрывного прибора:
 P_1 и P_2 – контакты; замыкаемые и размыкаемые ключом от ВП; E_n – элемент питания для зарядки конденсатора ВП; C – конденсатор; L – неоновая лампочка;
 R_x – клеммы для подключения взрывной магистрали

Таблица 7.2

Характеристики источников тока

Характеристика	КВП-1/100М	ПИВ-100М	КПМ-3 У1	ВМК-500	СВМ-2	КВП-2/200
Исполнение	РВ	РВ	РН	РН	РН	РН
Число взрываемых ЭД нормальной чувствительности при последовательном соединении	100	100	200	800	50	570
Общее сопротивление взрывной сети, Ом	320	320	600	2100	500	1700
Емкость конденсатора, мкФ	10	10	4	33	10	–
Напряжение на конденсаторе, В	660	640	1600	3000	650	1700
Масса прибора, кг	2,5	2,7	1,7	6,5	5,0	2,5
Область применения: шахты, неопасные по газу и пыли;	Да	Да	Да	Да	Сейс-моработы	Да
шахты, опасные по газу и пыли	да	да	нет	нет	нет	нет

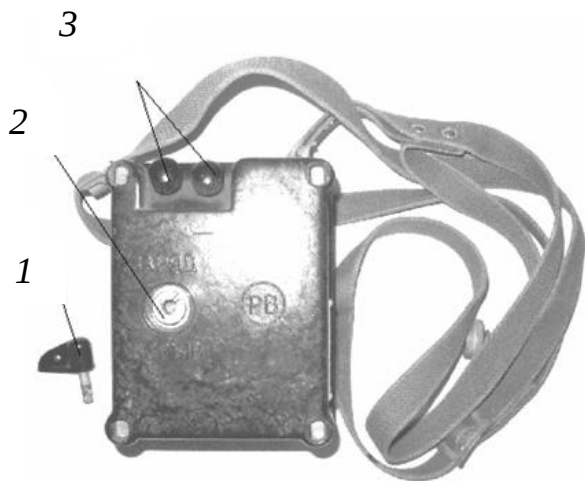


Рис. 7.10. Взрывной прибор КПМ-1/100М:
1 – съемный взрывной ключ;
2 – гнездо взрывного ключа; 3 – линейные зажимы

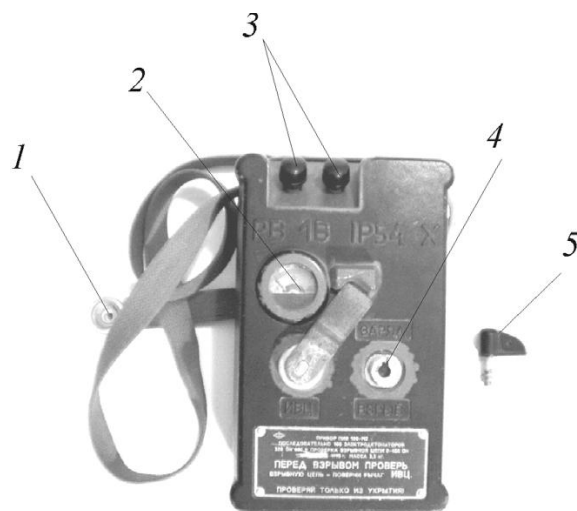


Рис. 7.11 Взрывной прибор
ПИВ-100М:
1 – заглушка; 2 – шкала омметра;
3 – линейные зажимы; 4 – гнездо взрывного
ключа; 5 – съемный взрывной ключ

Контрольно-измерительные приборы предназначены для проверки целостности и измерения сопротивления отдельных ЭД и электровзрывных сетей, контроля параметров взрывных приборов.

Испытатель взрывной светодиодный ВИС-1 предназначен для проверки целостности взрывной сети и допустимого сопротивления взрывных сетей в шахтах, опасных по газу и пыли (рис. 7.12). Исполнение прибора взрыво-безопасное. Индикатор – светодиод прибора – светится красным светом, если взрывная сеть замкнута и ее сопротивление не превышает 320 Ом. Масса прибора 0,3 кг.

Измерительный мост Р-3043 предназначен для измерения сопротивлений ЭД и взрывных сетей в шахтах, неопасных и опасных по газу и пыли, а также на земной поверхности (рис. 7.13). Имеет два диапазона измерений – 0,3÷30 и 30÷3000 Ом с погрешностью $\pm 5\%$. В качестве индикатора служат два светодиода, что позволяет быстро проводить замеры в условиях плохой освещенности. Исполнение прибора искробезопасное. Масса 1,6 кг.



Рис. 7.12. Испытатель взрывной
светодиодный ВИС-1



Рис. 7.13. Измерительный мост Р-3043

Электровзрывная сеть представляет совокупность электродетонаторов с проводниками, соединяющими их между собой, и источником тока.

Применяются следующие схемы соединения электродетонаторов во взрывной сети: последовательная (рис. 7.14), параллельная (рис. 7.15), параллельно-последовательная и последовательно-параллельная.

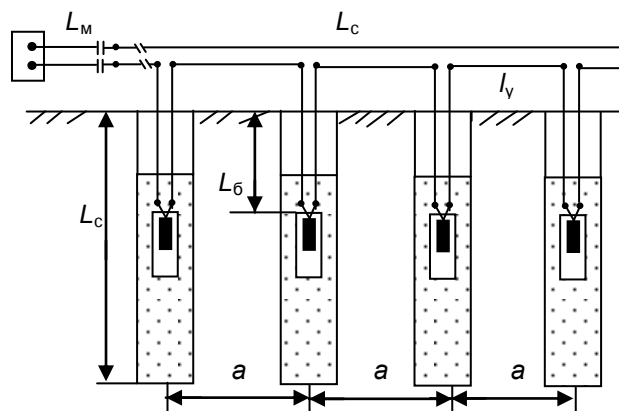


Рис. 7.14. Последовательная схема:
 a – расстояние между зарядами; L_c – глубина скважины; L_6 – глубина расположения боевиков электровзрывной сети при последовательном соединении

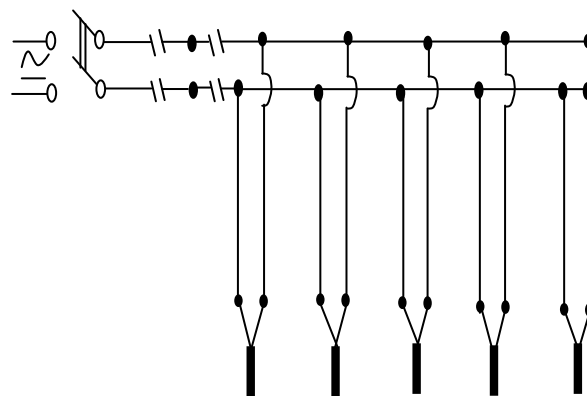


Рис. 7.15. Параллельно-ступенчатая электровзрывная сеть

Расчет любой электровзрывной сети заключается в подборе источника тока, который при принятой схеме соединения электродетонаторов обеспечит поступление в каждый детонатор тока величиной не менее гарантийного.

Расчет электровзрывной сети при последовательной схеме соединения электродетонаторов выполняется в следующем порядке.

1. Общее сопротивление взрывной сети

$$R_{\text{общ}} = \sum R_i + nR_{\text{д}}, \quad (7.1)$$

где R_i – электросопротивление каждого проводника, составляющего сеть;

n – число последовательно соединенных электродетонаторов сопротивлением $R_{\text{д}}$.

2. Величина тока во взрывной магистрали

$$I = \frac{U}{R_{\text{общ}}}, \quad (7.2)$$

где U – напряжение источника тока.

3. Величина тока, поступающего в каждый электродетонатор

$$i_{\text{эд}} = I > i_{\text{гар}}, \quad (7.3)$$

где $i_{\text{гар}}$ – гарантийный ток.

Технология производства взрывных работ при электрическом взрывании включает последовательное выполнение следующих операций:

- получение взрывчатых материалов;
- проверку средств взрывания;
- доставку ВМ к месту взрыва;
- изготовление патронов-боевиков;

- зарядание и забойку шпуров или скважин;
- монтаж и проверку электровзрывной сети;
- взрывание;
- осмотр места взрыва и отчёт за израсходованные взрывчатые материалы.

7.4. Электроогневое взрывание

При инициировании зарядов огнепроводным шнуром для зажигания ОШ используются электрозажигательная трубка (рис. 7.16) или электрозажигатель (рис. 7.17), который крепится на конце огнепроводных шнуров. Это позволяет взрывнику инициировать заряды ВВ из безопасного места с помощью электрического тока.

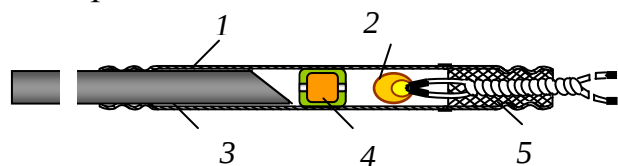


Рис. 7.16. Электрозажигательная трубка ЭЗТ-2:

- 1 – биметаллическая гильза;
- 2 – электровоспламенитель;
- 3 – отрезок огнепроводного шнура;
- 4 – зажигательный состав в чашечке;
- 5 – пластиковая пробка

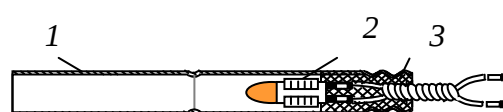


Рис. 7.17. Электрозажигатель ЭЗ-ОШ:

- 1 – металлическая гильза;
- 2 – электровоспламенитель;
- 3 – пластиковая пробка

7.5. Взрывание с помощью детонирующего шнура

Способ инициирования зарядов ВВ с помощью детонирующего шнура (ДШ) широко применяется при взрывных работах на карьерах и в подземных условиях, при сейсморазведке, прострелочно-взрывных работах и др. видах специальных взрывных работ (рис. 7.18).

Достоинства:

- простота технологии взрывных работ;
- безопасность при ликвидации отказавших зарядов;
- возможность короткозамедленного взрывания;
- обеспечение полноты детонации зарядов большой протяженности;
- возможность многоточечного и равномерного инициирования зарядов.

К средствам взрывания с помощью детонирующего шнура относятся:

- детонирующие шнуры;
- пиротехнические реле;
- промежуточные детонаторы.

Детонирующий шнур (ДШ) предназначен для возбуждения и передачи детонации ВВ со скоростью около 6,5 км/с.

Устройство наиболее распространенного детонирующего шнура марки ДША приведено на рис. 7.19. Сердцевина детонирующего шнура состоит из высокобризантного ВВ – ТЭНа, безотказно детонирующего в удлиненном за-

ряде малого диаметра. Сердцевину оплетают три спиральные нитяные (льняные или синтетические) оболочки.

Средняя и наружная оплетки покрыты изолирующим составом и лаком, предохраняющим взрывчатую сердцевину от увлажнения и механических повреждений. Наружная оболочка ДШ окрашивается в красный цвет различных оттенков для его надежного визуального отличия от огнепроводного шнура. Торцы детонирующего шнура покрывают мастикой, клеем или закрывают специальными колпачками.

Шнуры выпускаются отрезками в 50 или 100 м, свернутыми в бухты и обернутыми плотной бумагой.

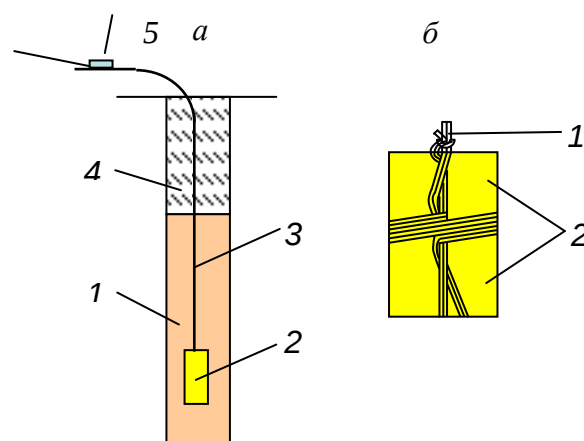


Рис. 7.18. Конструкция заряда ВВ:
а – конструкция заряда: 1 – заряд ВВ, 2 – промежуточный детонатор, 3 – детонирующий шнур, 4 – забойка;
б – промежуточный детонатор:
1 – двойная нить ДШ, 2 – две тротилловые шашки

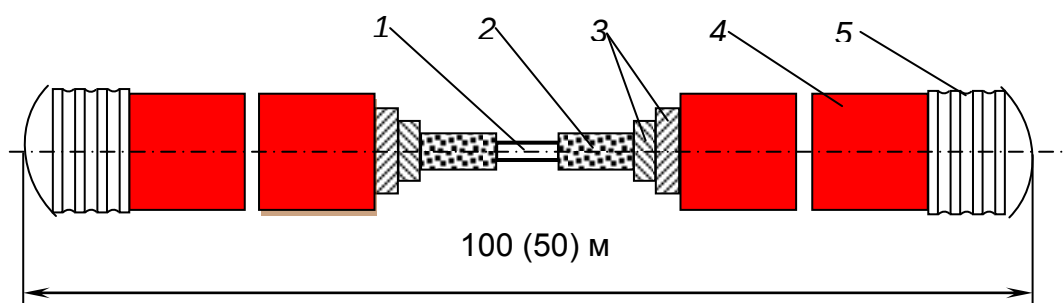


Рис. 7.19. Устройство детонирующего шнура ДША:
1 – направляющие нити; 2 – детонирующий заряд (ТЭН); 3 – внутренняя двойная льняная оплетка;
4 – наружная оплетка с гидроизоляцией; 5 – колпачок

Шнур ДШВ (табл. 7.3) отличается от ДША тем, что имеет дополнительную наружную полихлорвиниловую оболочку, которая обеспечивает лучшую водостойкость.

Таблица 7.3

Характеристика детонирующих шнуров

Марка	ВВ	Диаметр, мм	Масса ВВ, г/м	Скорость детонации, м/с	Водостойкость
ДША	ТЭН	5,8	12,5	6500	12 ч (0,5 м)
ДШВ	ТЭН	6,1	14	6500	24 ч (1 м)
ДШЭ-12	ТЭН	5,0	12	6200	30 сут. (30 м)

Буква Э в обозначении марки ДШЭ указывает на наличие полихлорвиниловой оболочки (пластиката), полученной методом экструзии.

Пиротехнические реле предназначены для передачи инициирующего импульса взрываемым зарядом через заданные промежутки времени. Они служат для создания замедлений (рис. 7.20) на магистральных линиях ДШ между соседними скважинами (или сериями скважин).

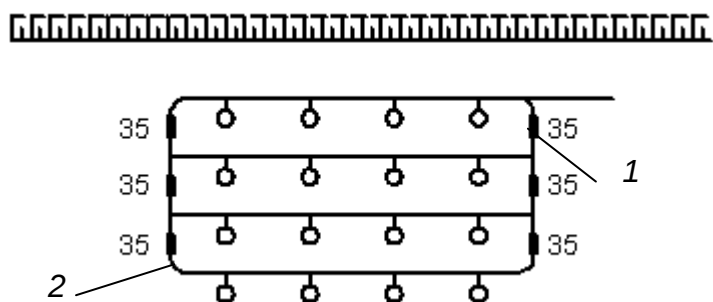


Рис. 7.20. Схема монтажа взрывной сети с применением ДШ:
1 – пиротехническое реле; 2 – сеть детонирующего шнура

Пиротехническое реле двустороннего действия типа РП-8М или РПН (рис. 7.21) состоит из двух соединенных капсулей-детонаторов короткозамедленного действия, в дульцах которых с противоположных сторон обжаты отрезки ДШ длиной 250 мм с загерметизированными концами.

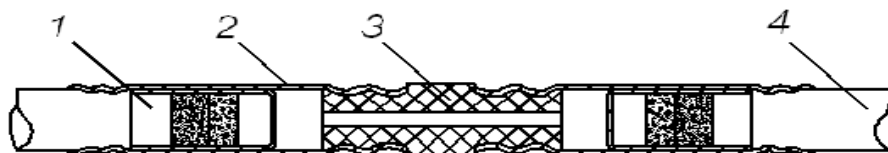


Рис. 7.21. Устройство реле РП-8М:
1 – замедлитель; 2 – гильза; 3 – пробка; 4 – шнур ДШ-В

РП-8М, РП-Н имеют три интервала замедления – 20, 35 и 50 мс. При замедлениях, отличных от номинальных, допускается включение двух реле между зарядами ВВ последовательно.

7.6. Взрывание с применением систем неэлектрического взрывания

Такие системы, условно названные неэлектрическими, основаны на передаче импульса посредством ударной воздушной волны (УВВ), распространяющейся в полом шнуре-волноводе. Для возбуждения УВВ используются стартовые устройства, электродетонаторы или детонирующие шнуры.

В настоящее время допущены к применению в России различные типы систем неэлектрического инициирования: Нонель (NONEL) шведской фирмы

«Дина Нобель», отечественные аналоги: «ИСКРА» (ОАО «Новосибирский механический завод «ИСКРА»»), «ЭДИЛИН» (ОАО «Муромец») и др.

Любая система неэлектрического взрывания включает в себя следующие элементы:

- ударно-волновая трубка;
- капсюль-детонатор;
- поверхностный соединительный блок;
- стартовое устройство (стартер).

Ударно-волновая трубка (УВТ) представляет собой гибкую пластиковую трехслойную трубку диаметром 3 мм (рис. 7.22), на внутреннюю поверхность которой нанесен порошкообразный взрывчатый материал (20 мг на 1 метре).

При инициировании УВТ во внутреннем канале возникает и распространяется ударная волна со скоростью около 2 км/с.

Интенсивность ударной волны достаточна для возбуждения капсюля-детонатора системы, при этом боковое выделение энергии отсутствует и ее целостность при срабатывании полностью сохраняется.

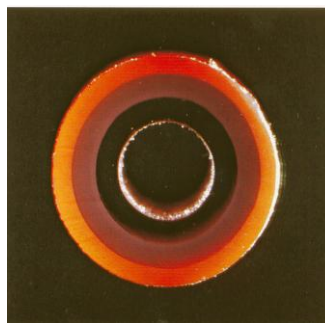


Рис. 7.22. Устройство УВТ

Капсюль-детонатор состоит из гильзы, внутри которой размещены замедляющий и инициирующий элементы, а также основной заряд (рис. 7.23). В КД мгновенного действия замедляющий элемент отсутствует.

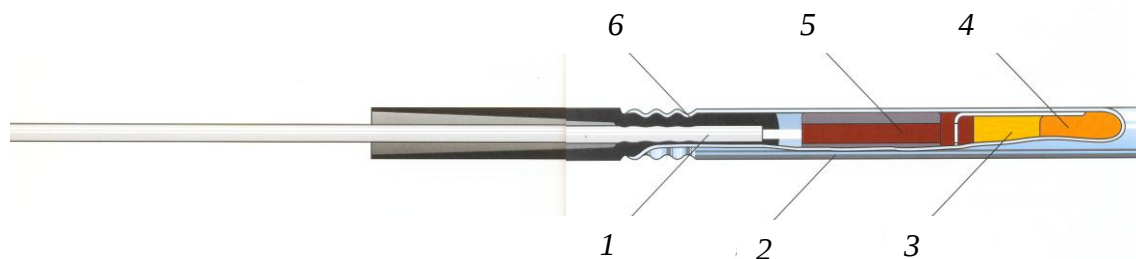


Рис. 7.23. Устройство капсюля-детонатора:

1 – трубка Нонель; 2 – гильза детонатора; 3 – инициирующий элемент; 4 – основной заряд;
5 – замедляющий элемент; 6 – уплотнительная заглушка

В капсюле-детонаторе неэлектрических систем инициирования отсутствуют первичные инициирующие ВВ, что значительно уменьшает опасность при обращении с ними.

Соединительный блок (рис. 7.24 и 7.25) предназначен для передачи ударной волны по поверхностной взрывной сети через точки подсоединения.

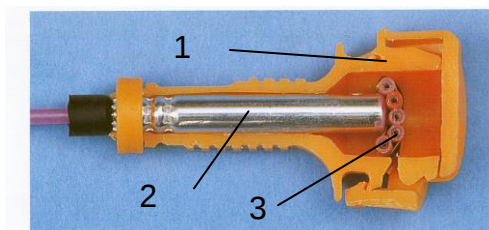


Рис. 7.24. Устройство соединительного блока:
1 – пластмассовый корпус;
2 – капсюль-детонатор; 3 – УВТ капсюлей-детонаторов и соединительных блоков

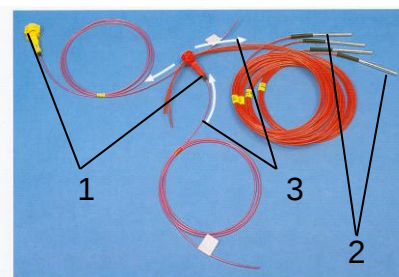


Рис. 7.25. Схема передачи инициирующего импульса:
1 – соединительный блок;
2 – капсюли-детонаторы;
3 – направление передачи ударной волны

Капсюль-детонатор соединительного блока с замедлением или без него имеет уменьшенный заряд (0,5 г гексогена).

Стартовое устройство – взрывная машинка (рис. 7.26), предназначенная для инициирования магистрали УВТ. Возбуждение детонации происходит за счет передачи в трубку высокоэнергетической искры.

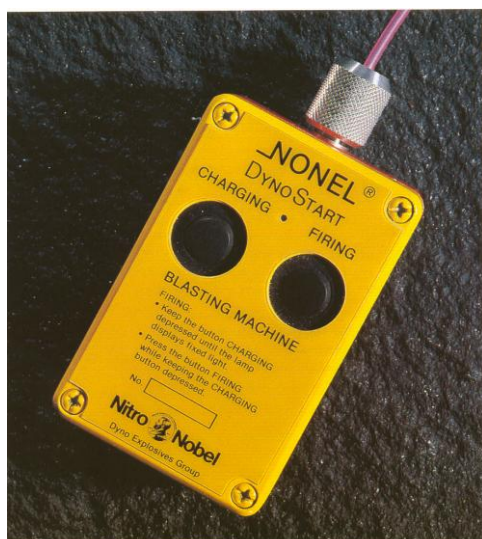


Рис. 7.26. Взрывная машинка «ДИНОСТАРТ»

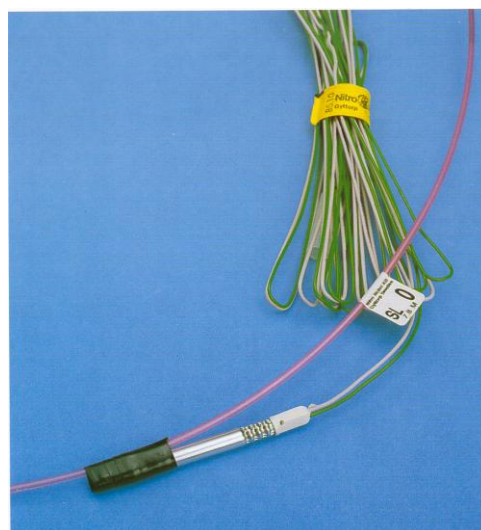


Рис. 7.27. Инициирование при помощи электродетонатора

Инициирование сети УВТ можно также производить с помощью электродетонатора (рис. 7.27).

8. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОСТРЕЛОЧНЫХ И ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В СКВАЖИНАХ

Прострелочные и взрывные работы (ПВР) широко применяются при бурении, испытании и эксплуатации глубоких геологоразведочных и промышленных скважин, используемых для разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений полезных ископаемых. Для выполнения прострелочных и взрывных работ в скважинах применяется большая номенклатура прострелочно-взрывных аппаратов (ПВА) и зарядов (зарядных комплектов) из бризантных взрывчатых веществ и порохов.

Прострелочно-взрывные аппараты подразделяют на две группы:

1. Незаряженные аппараты поступают с заводов-изготовителей в виде комплектов или частично собранными и не содержат ВВ. Зарядные комплекты и СИ к ним поступают отдельно.

2. Снаряженные аппараты поступают с установленными в них зарядами ВВ в заводских условиях.

Средства инициирования ЭД, КД или взрывные патроны устанавливаются в ПВА у скважины, перед их спуском.

Спуск ПВА в скважину осуществляют на геофизическом кабеле, насосно-компрессорных или бурильных трубах.

Прострелочно-взрывные работы в скважинах выполняют в «закрытом» либо «открытом» забоях.

К основным направлениям применения ПВР относятся:

1. Ликвидация аварий при бурении скважин:

- освобождение «встряхиванием» прихваченных трубных колонн (бурильных, насосно-компрессорных, обсадных) труб;
- ослабление резьбы соединений труб при развинчивании;
- обрыв или перерезание труб;
- профилактика прихватов бурильных труб посредством разрушения желобов;
- разрушение металлических предметов, оставленных или упавших в скважину (долот, приборов и т.п.), которые мешают выполнению работ в скважине.

2. Отбор образцов горных пород со стенок стволов скважин с помощью стреляющих грунтоносов.

3. Установка разоблащающих мостов в скважинах с помощью взрывных пакеров:

- изоляция нижележащего объекта при испытании верхних объектов;
- изоляция водоносных горизонтов;
- создание искусственного забоя в скважине при забурировании второго ствола и т.д.

4. Перфорация скважин:

- вскрытие продуктивных пластов;
- интенсификация добычи.

5. Торпедирование скважин:

- очистка фильтров в нефтяных и водозаборных скважинах;
- увеличение проницаемости прискважинной зоны продуктивного пласта;
- удаление остатков цемента со стенок обсадных труб и т.д.

6. Разрыв пласта порохowymi генераторами:

- раскрытие трещин и каналов в породе при превышении давления газов гидростатического в пласте;
- термогазохимическая обработка пристволенной зоны.

Прострелочные и взрывные работы, особенно в глубоких нефтяных и газовых скважинах, выполняются в специфических условиях, которые характеризуются стесненными условиями для размещения зарядов ВВ и аппаратов в скважинах, большой глубиной выполнения работ, высокими температурой среды, давлением жидкости и пластовым давлением.

Стесненные условия при размещении ПВА в скважинах определяются конечным диаметром ствола скважин в ее продуктивной части, который обычно составляет 161÷190 мм. После установки обсадных колонн внутренний диаметр скважин уменьшается до 98÷124 мм.

При испытании и эксплуатации большинство скважин дополнительно оборудуется колонной насосно-компрессорных труб с внутренним диаметром 40÷100 мм. Поэтому аппараты, спускаемые на кабеле через насосно-компрессорные трубы, должны иметь соответствующие поперечные габариты.

Средняя глубина большинства нефтяных и газовых скважин составляет 1,5÷2,5 км. Максимальная глубина выполнения прострелочно-взрывных работ 5 ÷ 7 км.

Стволы скважин при применении многозабойного (кустового) бурения имеют значительное отклонение от вертикали, а на участках продуктивных зон угол наклона скважин доводят до горизонтального направления.

С увеличением глубины скважин повышается температура горных пород, которая характеризуется геотермическим градиентом:

$$\Gamma = \frac{1000 \cdot (T - T_{\text{ср}})}{H - h}, \quad (8.1)$$

где Γ – величина приращения температуры на 100 м глубины, начиная с пояса постоянной температуры, °С/100 м;

T – температура горных пород на глубине H , м (°С);

$T_{\text{ср}}$ – средняя температура на уровне пояса постоянной годовой температуры в данном районе, °С;

h – глубина пояса постоянной температуры, м (на нефтегазовых месторождениях $h = 25 \div 30$ м).

Для различных районов геотермический градиент составляет 1÷10 °С / 100 м, в среднем для осадочных пород $\Gamma = 3$ °С / 100 м. Температура в нефтяных и газовых скважинах на месторождениях Западной и Восточной Сибири, как правило, не превышает 100 °С.

В поровом пространстве нефтеносных, газоносных и водоносных пластов действует пластовое давление, величина которого обусловлена комплексом природных факторов: геостатическим, геотектоническим и гидростатическими давлениями, степенью сообщаемости между пластами, химическими взаимодействиями жидкости и породы и т.д. Пластовое давление обычно принимается равным гидростатическому давлению (давлению водяного столба в скважине). Действительное гидростатическое давление в скважине определяется высотой и плотностью столба наполняющей его жидкости. Плотность скважинных жидкостей в зависимости от выполняемых задач может изменяться в довольно широких пределах: от $0,5 \div 1,0$ до $2,2 \text{ г/см}^3$. Плотность нормальных глинистых растворов составляет $1,15 \div 1,3 \text{ г/см}^3$.

Таким образом, условия выполнения прострелочно-взрывных работ в глубоких нефтяных и газовых скважинах предъявляют к прострелочно-взрывным аппаратам следующие требования:

- Высокая мощность аппаратов при малом поперечном размере ($20 \div 105 \text{ мм}$).
- Хорошая проходимость в скважинах при малых зазорах (5 мм и более), плотных жидкостях, искривленных стволах, малых углах наклона к горизонтали.
- Устойчивость к действию высоких температур ($t \leq 250 \text{ }^\circ\text{C}$) и давлений ($p \leq 160 \text{ МПа}$). При спуске ПВА на кабели они должны сохранять работоспособность в течение $2 \div 6$ часов и не срабатывать ранее 24 часов; при спуске аппаратов на трубах – соответственно в течение $24 \div 48$ часов и 6 суток.
- Безопасность при хранении, зарядании, перевозке ПВА и зарядов, извлечении отказавших аппаратов и их разрядании.
- Высокая точность установки аппаратов в заданном интервале.
- Высокая надежность, безотказность и эффективность, сохранение конструкции скважины.
- Высокая производительность.
- Безаварийность (отсутствие потерь, прихватов, преждевременных и самопроизвольных срабатываний).

9. ВЗРЫВЧАТЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

9.1. Взрывчатые вещества

Применяемые для прострелочно-взрывных работ взрывчатые вещества обладают соответствующими специфическими свойствами и разделяются на три группы.

Иницирующие взрывчатые вещества (ИВВ) предназначены для иницирования взрывных процессов – возбуждения детонации от простейших

импульсов: искры или удара. ИВВ применяют в качестве первичных инициирующих ВВ в электродетонаторах или капсюлях-детонаторах.

Наибольшее распространение получили азиды свинца и кадмия, ТНРС (тринитрорезерцинат свинца).

Бризантные взрывчатые вещества (БВВ) – мощные вторично детонирующие взрывчатые вещества, обладающие высокой скоростью детонации и термостойкостью. БВВ применяют для снаряжения основных зарядов электродетонаторов, капсюлей-детонаторов, взрывных патронов, промежуточных детонаторов, детонирующих шнуров, для изготовления зарядов кумулятивных перфораторов, торпед, труборезов и др.

К основным взрывчатым веществам, применяемым при прострелочно-взрывных работах, относятся гексоген, октоген, тротил и ТЭН, также наиболее термостойкие ВВ: гексанитродифенилсульфат (ГНДС) и нонанитротрифениламин (НТФА). Основные характеристики взрывчатых веществ приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Взрывчатые вещества для прострелочно-взрывных работ

Взрывчатое вещество	Удельная теплота взрыва, КДж/кг	Максимальная скорость детонации, км/с	Температура плавления, °С	Температура вспышки, °С	Чувствительность к удару – частота взрывов*, %
ТЭН	5870	7,9	142	225	100
Тротил	4190	7,0	80	375	4-8
Гексоген	5870	8,4	203	230	70-80/32-36
Октоген	5780	8,8	278	335	80-90/36-40
ГНДС	4270	7,5	239	260	60
НТФА	4230	7,2	362	400-420	30-40

*Чистый/пластифицированный.

Наиболее широкое распространение получил **гексоген** – циклотриметилентринитрамин $C_3H_6(NO)_6$, который представляет собой белый кристаллический порошок с плотностью кристаллов $1,8 \text{ г/см}^3$. В насыпном состоянии плотность $1,1 \text{ г/см}^3$, в большинстве изделий – $1,6 \div 1,7 \text{ г/см}^3$. В воде не растворяется, ядовит. Обладает высокой химической стойкостью. Теплота взрыва 5450 кДж/кг . Скорость детонации $8,4 \text{ км/с}$ при плотности $1,7 \text{ г/см}^3$. Температура плавления $203 \text{ }^\circ\text{C}$. Критический диаметр открытого заряда $1 \div 1,5 \text{ мм}$. В небольших количествах сгорает без взрыва. Обладает высокой чувствительностью к механическим воздействиям. Чистый гексоген используется в детонаторах и детонирующих шнурах. Для снижения чувствительности гексоген флегматизируют введением парафина и воскоподобных веществ.

Флегматизированный гексоген используется для изготовления зарядов кумулятивных перфораторов и кумулятивных осевых торпед (ТКО), кольцевых труборезов и шашек торпед (ТШТ).

Октоген – циклотетраметилентетранитрамин ($C_4H_8(NO)_8$) является аналогом гексогена и обладает несколько большими мощностью и термостойкостью. Октоген применяется преимущественно в изделиях, используемых в высокотемпературных скважинах: детонирующих шнурах, термостойких КД, дополнительных детонаторах, зарядах перфораторов и торпед. Термостойкость гексогена при температуре 200 °С составляет 8,5 часов, при температуре 220 °С – 2 часа.

Тротил – тринитротолуол $C_7H_5(NO_2)_3$ используется совместно с гексогеном в виде сплавов, из которых наиболее употребительным является сплав ТГ-50/50, в зарядах торпед ТКО и в торпедах большой мощности ТШБ. Гексоген вводят в состав сплавов для увеличения мощности зарядов ВВ.

ТЭН – пентаэритриттетранитрат $C(CH_2ONO_2)_4$ применяют для изготовления детонирующих шнуров и промежуточных детонаторов.

ГНДС – гексанитродифенилсульфат $C_{12}H_4N_6SO_{12}$ по своим взрывчатым характеристикам является более мощным, чем тротил, но существенно уступает гексогену. Заряды из ГНДС применяются при температуре до 200 °С в торпедах ТШТ и ТКО, а также для снаряжения таблеточного детонирующего шнура.

НТФА – нонанитротрифениламин $C_{18}H_6N_{10}O_{18}$ является наиболее термостойким взрывчатым веществом и по своим взрывным характеристикам близок к тротилу. Заряды из пластифицированного НТФА применяют при температурах до 250 °С для изготовления зарядов перфораторов и торпед, а также для снаряжения таблеточных детонирующих шнуров.

В зарубежных системах, допущенных к применению в России, для изготовления зарядов, снаряжения детонаторов и детонирующих шнуров применяются аналогичные взрывчатые вещества: ТНТ (тротил), РЕТН (ТЭН), RDX (гексоген), HMX (октоген), HNS (гексанитростильбен) и РУХ.

Как общую тенденцию следует отметить снижение мощности ВВ с ростом их термостойкости.

Пороха и топливно-окислительные системы характеризуются тем, что химическое превращение протекает в режиме взрывного горения и оказывает метательное воздействие, которое используется для метания пуль и снарядов перфораторов, бойков грунтоносов, а также для термогазохимического воздействия на пласт, гидроразрыва пласта, приведения в действие взрывных пакеров и других целей.

Дымный ружейный порох (ДПР) имеет термостойкость до 150 °С и применяется для снаряжения взрывных пакеров ВП и ВПМ, изготовления воспламенительных зарядов. Бездымные пороха обладают меньшей термостойкостью (110 °С), применяются в зарядах грунтоносов и пулевых перфораторах, при определенных условиях они способны детонировать. При температурах в скважинах более 150 °С применяются термостойкие пороха.

В последние годы для разрыва и термогазохимической обработки пласта используются твердые и жидкие топливно-окислительные системы, в том числе и из конверсионных взрывчатых веществ, ранее применявшихся в военных целях.

9.2. Способы и средства инициирования зарядов ВВ

При выполнении прострелочно-взрывных работ применяют два способа инициирования зарядов ВВ.

При спуске аппаратов на геофизическом кабеле используют электрический способ инициирования: первичный инициирующий импульс осуществляется подачей электрического импульса во взрывную сеть.

При спуске аппаратов на трубах инициирование выполняется вбрасыванием в став труб резинового шара или металлического ломика, для приведения в действие ударного механизма, который производит накол капсюля-детонатора в узле инициирования.

Средства инициирования подразделяют на средства воспламенения и средства возбуждения и передачи детонации.

Средства воспламенения дают луч огня для возбуждения пороховых зарядов и капсюлей-детонаторов лучевого действия, а также являются элементами электродетонаторов и взрывных патронов (табл. 9.2).

Таблица 9.2

Средства воспламенения

Наименование и применение	Условия применения	Размеры, мм		Термостойкость, °С
		длина	диаметр	
Термостойкий электрозапал ТЭЗ-3П	Для воспламенения пороховых зарядов и горюче-кислительных составов (ГОС) в ПВА	10	9,1	165
Электровоспламенитель повышенной термостойкости ЭВ-ПТ-Гр	Для воспламенения пороховых составов и воспламенительных составов в средствах взрывания в ПВА	5,2	5,35	270
Пиропатрон ПП 9	Для воспламенения пороховых зарядов	19,3	15,1	100
Пиропатрон термостойкий ППТ-230	Для воспламенения ГОС	19,0	15,1	220
Капсюль-воспламенитель наконечного действия КВН-11	Для воспламенения составов в капсюлях детонаторах в аппаратах, спускаемых на трубах	9,4	6,0	150 ± 5
Воспламенитель топливных зарядов ВТЗ 200/100	Для воспламенения топливных зарядов	71	7,2	200 при 100 МПа

В качестве средств воспламенения применяют электровоспламенители, электрозапалы и пиропатроны, состоящие из гильзы (корпуса), где размещается мостик накаливания и небольшое количество легковоспламеняющегося состава, дающего луч огня, обеспечивающего поджигание пороха или инициирующего ВВ.

Электровоспламенитель повышенной термостойкости ЭВ-ПТ является элементом взрывного патрона ПВ-4 и взрывателя В-473. Электровоспламенители с металлическим мостиком накаливания являются возбуждающими элементами термостойких электродетонаторов типа ТЭД. Термостойкие электрозапалы ТЭЗ-ЗП применяют для поджигания зарядов пороховых генераторов давления.

Капсюль-воспламенитель накольного действия КВН-11 применяется для воспламенения термостойкого капсюля-детонатора лучевого действия типа ТКД при инициировании ПВА, спускаемых в скважину на трубах (рис. 9.1, а).

Термостойкий капсюль-детонатор накольного действия типа КДН представляет собой металлическую гильзу, снаряженную навеской зажигательного состава, воспламеняющегося от накола, и комбинированным зарядом ВВ.

Термостойкие электродетонаторы типа ТЭД (рис. 9.2) конструктивно отличаются от обычных электродетонаторов тем, что мостик накаливания и зажигательный состав контактируют без зазора с инициирующим ВВ.

В зависимости от условий применения ($t = 160 \div 250$ °С) отдельные конструкции электродетонаторов типа ТЭД отличаются применяемыми в них инициирующими и бризантными ВВ, а также рядом конструктивных особенностей. Величина электрического сопротивления электродетонаторов типа ТЭД составляет $0,8 \div 3,0$ Ом, безопасный ток – 0,2 А, гарантийный ток – 1,0 А.

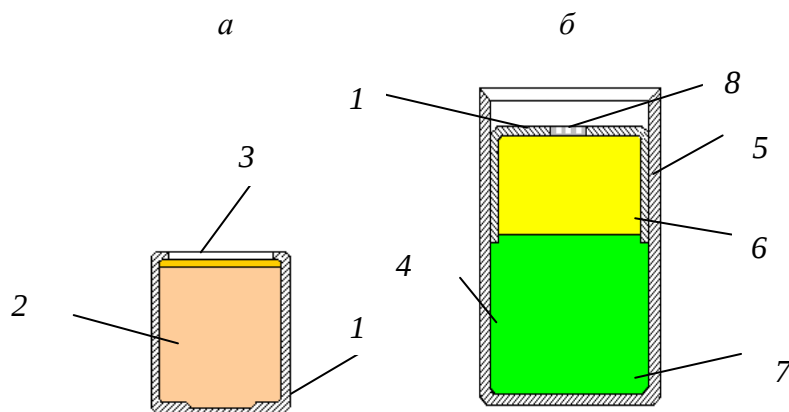


Рис. 9.1. Средства инициирования накольного действия:
 а – капсюль-воспламенитель КВН-11: 1 – колпачок-гильза, 2 – зажигательный состав, 3 – кружок;
 б – термостойкий капсюль-детонатор ТКД: 4 – гильза, 5 – чашечка,
 6 – заряд первичного инициирующего ВВ, 7 – заряд бризантного ВВ, 8 – отверстие

Существенным недостатком электродетонаторов типа ТЭД является возможность преждевременных взрывов от сторонних электрических токов, что требует обязательного отключения электрооборудования на скважине во время выполнения прострелочно-взрывных работ. В последние годы широкое применение нашли защищенные электродетонаторы ЭД-ПН, не чувствительные к токам промышленной частоты (рис. 9.3). Для инициирования таких

электродетонаторов необходимо использование специальных высокочастотных взрывных приборов.

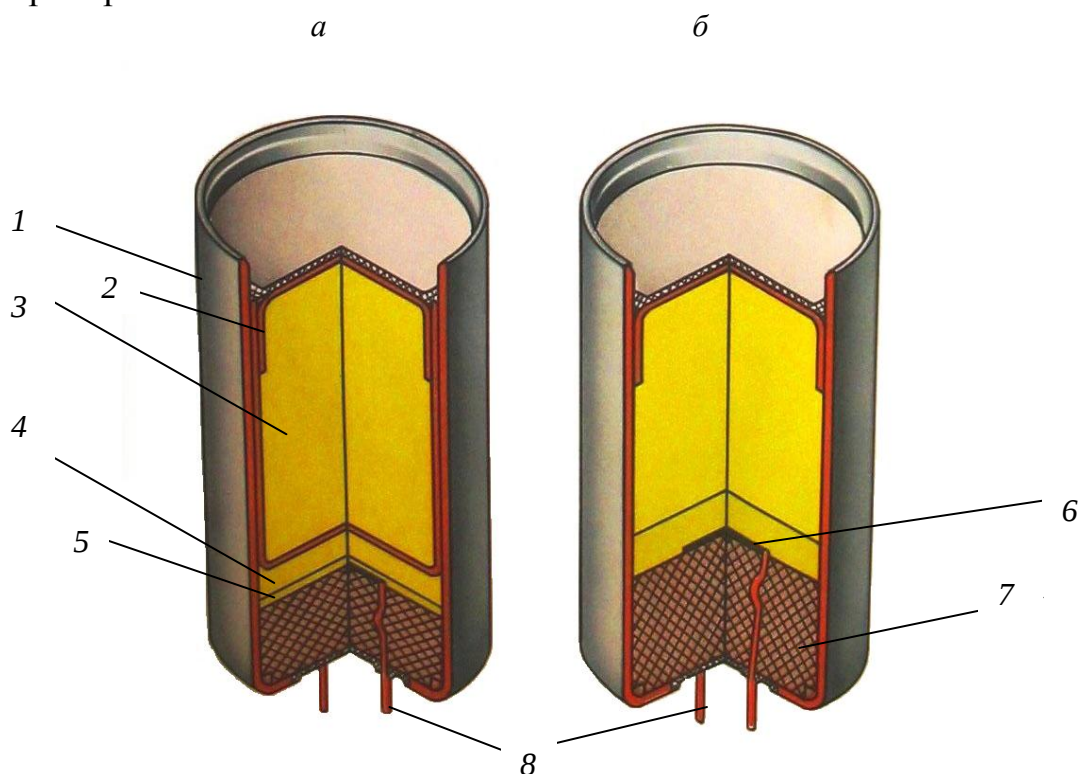


Рис. 9.2. Электродетонаторы ТЭД-165, ТЭД-200 (а), ТЭД-250 (б):
1 – гильза; 2 – чашечка; 3 – бризантное ВВ; 4 – инициирующее ВВ; 5 – воспламенительный состав;
6 – мостик накаливания; 7 – прессованный материал; 8 – провода

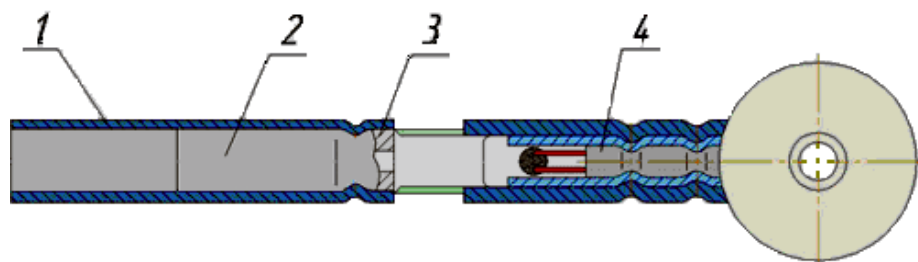


Рис. 9.3. Электродетонатор ЭД-ПН предохранительного действия, нечувствительный:
1 – гильза; 2 – заряд передаточный; 3 – втулка предохранительная; 4 – электровоспламенитель

Взрывные патроны обычно состоят из электродетонатора и дополнительной шашки (заряда) ВВ, размещенных в металлическом корпусе.

В зависимости от условий работы взрывные патроны подразделяют на две группы:

Негерметичные взрывные патроны используются для возбуждения детонации детонирующего шнура в корпусных перфораторах.

Взрывной патрон ПВ-4 (рис. 9.4, а) имеет неметаллический корпус, в котором установлен электровоспламенитель, капсуль-детонатор и шашка флегматизированного гексогена с осевым отверстием под отрезок детонирующего шнура, идущего к зарядам. Патрон имеет вилку для установки в гнездо

контактного диска, расположенного в нижней части перфоратора. Между электровоспламенителем и капсюлем-детонатором выполнен разрыв для того, чтобы патрон не сработал при случайном попадании в перфоратор скважинной жидкости.

Взрывной патрон предохранительного действия типа ПВ-ПД (рис. 9.4, б) благодаря своим конструктивным особенностям (наличию отверстий в корпусе) имеет более ярко выраженный предохранительный характер. В качестве возбуждающего элемента в конструкции патрона используется электродетонатор ТЭД.

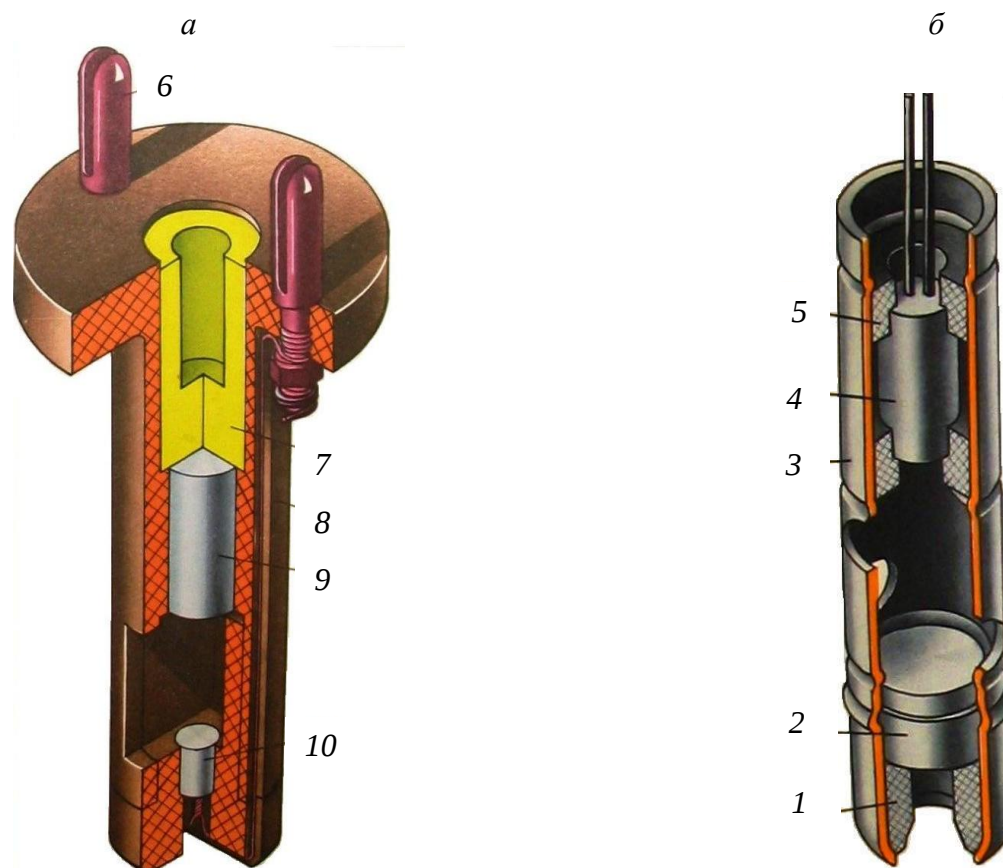


Рис. 9.4. Негерметичные взрывные патроны ПВ-4 (а), ПВ-ПД (б):

1 – пробка; 2 – промежуточный детонатор; 3 – корпус ВВ; 4 – электродетонатор; 5 – втулка; 6 – штырь; 7 – дополнительная шашка ВВ; 8 – корпус; 9 – капсюль-детонатор; 10 – электровоспламенитель

В практике прострелочно-взрывных работ применяется патрон ПВ-ПД-М (малогабаритный), а также взрывной патрон ПВ-ПД-Н (рис. 9.5, табл. 9.3), выполненный на базе электродетонатора ЭД-ПН и нечувствительный к сторонним токам.

Безотказное срабатывание от импульса тока частотой (15 ± 2) кГц, длительностью не менее 10 мс, силой тока $(1,0 \pm 0,1)$ А, в цепи ЭД с геофизическим кабелем длиной до 6000 м и иницированием шнура ДШТ-200.

Герметичные взрывные патроны предназначены для применения в бескорпусных кумулятивных перфораторах, торпедах и ряде других аппаратов.

Выпускается несколько типов герметичных взрывных патронов, отличающихся конструктивными особенностями и условиями применения.

Патрон ПГ-170 (рис. 9.6) применяется при температуре до 170 °С и давлении скважинной жидкости до 150 МПа, но не защищен от воздействия блуждающих токов и зарядов статического электричества.

Патроны ПГН-150 и ПГН-165 применяются при температуре до 150 °С, 165 °С соответственно, являются защищенным от воздействия блуждающих токов и зарядов статического электричества, но могут применяться при давлении скважинной жидкости лишь до 50 МПа (табл. 9.3).



Рис. 9.5. Негерметичный взрывной патрон ПВ-ПД-Н

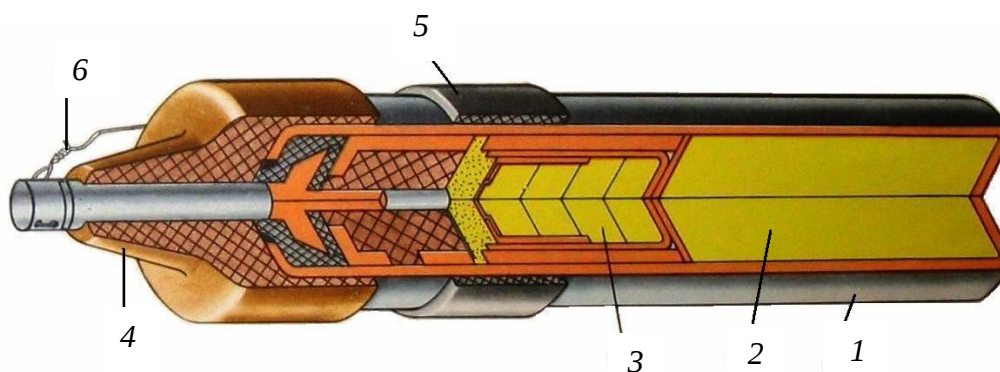


Рис. 9.6. Герметичный взрывной патрон ПГ-170:

1 – корпус; 2 – бризантное ВВ; 3 – узел инициирования (ЭД); 4 – резиновое уплотнение;
5 – изоляционная лента; 6 – проводник

Таблица 9.3

Взрывные патроны

Наименование и обозначение	Условия применения		Размеры, мм		Вес изделия, масса ВВ, г
	максимальная температура, °С	максимальное давление, МПа	длина	диаметр	
ПВПД-М	150	—	65	7,1	3,0 / 0,47
ПВПД-Н-150	150	—	82 ± 2,2	7,2	7,8 / 1,13
ПВПД-Н-165	165	—	93,0	7,45	5,0 / 0,96
ПГН-150	150	50	78	18	30,0 / 2,8
ПГН-165	165	60	78	18	28,0 / 2,6
ПГ-170	170	150	78,5 ± 2,5	14	34,0 / 6,0

Детонирующие шнуры (табл. 9.4) предназначены для передачи детонации кумулятивным зарядам перфораторов и используются в качестве заряда торпед из детонирующего шнура (ТДШ).

Таблица 9.4

Характеристика детонирующих шнуров

Тип ДШ	Тип ВВ	Навеска, г/м	Диаметр, мм	Границы применения		Условия применения
				$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{МПа}$	
ДШВ	ТЭН	12,5	5,8	100	50	Жидкость
ДШУ-33	Гексоген	33	8,5	100	50	—"
ДШТ 165	Гексоген	20	6,0	165	—	—
ДШТ 200	Октоген	20	6,0	200	—	—
ДШТТ 180	ГНДС	45-80	8,5-10,5	175	80	Жидкость
ДШТТ 250	НТФА	45-80	8,5-10,5	250	150	—"
ДУЗТВ 250/1500	НТФА	28	6,0	250	150	—"

Широко распространенный шнур типа ДШВ применяется для формирования зарядов торпед ТДШ в водяных скважинах, а при герметизации концов успешно используется и в нефтяных скважинах при температуре до 100 °С и давлении 50 МПа. Детонирующий шнур усиленный ДШУ-33 имеет более мощный линейный заряд и предназначен для применения в тех же условиях. Детонирующие шнуры ДШВ, ДШУ и ДШТ отличаются типом снаряжаемых ВВ и величиной линейного заряда (рис. 9.7).

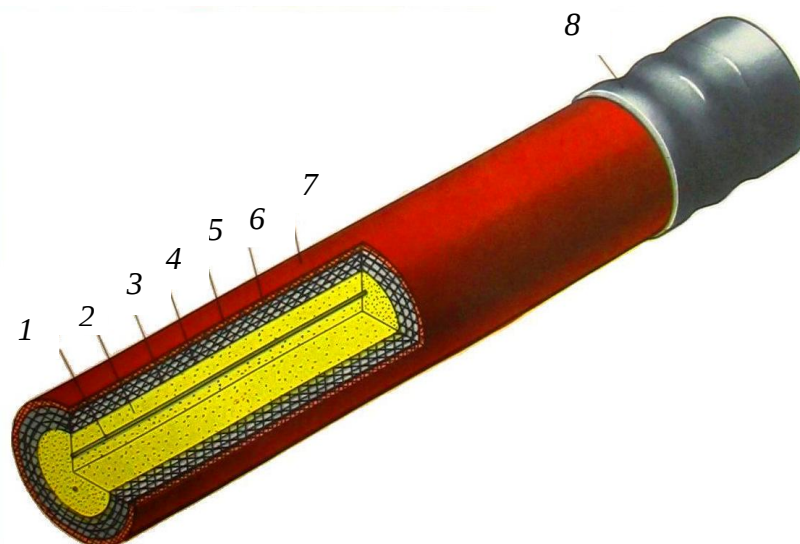


Рис. 9.7. Детонирующие шнуры ДШВ, ДШУ, ДШТ:

- 1 – две направляющие нити; 2 – взрывчатое вещество; 3 – оплетка первая из льняной пряжи;
 4 – оплетка вторая из хлопчатобумажной пряжи; 5 – оплетка третья из хлопчатобумажной пряжи
 таблетка ВВ; 6 – слой мастики, предохраняющий сердцевину от высыхания и высыпания;
 7 – оболочка пластиковая; 8 – алюминиевый колпачок

Термостойкие детонирующие шнуры ДШТ 165 и ДШТ 200 применяются для передачи инициирующего импульса в корпусных кумулятивных перфораторах.

Таблеточные детонирующие шнуры ДШТТ 180 и ДШТТ 250 (рис. 9.8, *а*) состоят из набора цилиндрических шашек, размещенных в оболочках из фторопластовой пленки, стекловолокон и внешней изолирующей оболочки.

Детонирующий шнур типа ДУЗТВ 200 (рис. 9.8, *б*) представляет собой цилиндрический заряд из термостойкого бризантного ВВ, находящийся в оболочке из алюминиевого сплава.

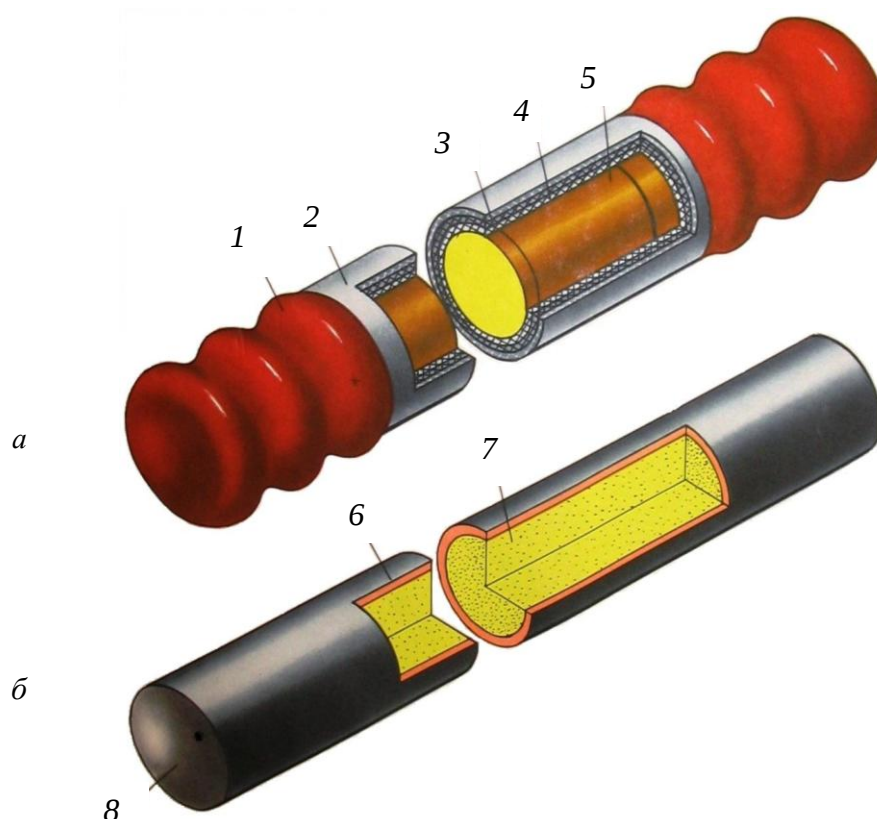


Рис. 9.8. Термостойкие детонирующие шнуры ДШТВ (*а*), ДУЗТВ (*б*):
1 – колпачок; 2 – оболочка полиэтиленовая (верхняя); 3 – оплетка из стеклянных нитей (средняя);
4 – пленка из фторопласта (внутренняя); 5 – таблетка ВВ; 6 – металлическая оболочка;
7 – сердцевина ВВ; 8 – герметизирующее покрытие

Шнуры типа ДШШТ и ДУЗТВ используются в бескорпусных кумулятивных перфораторах и торпедах ТДШ. Благодаря применению термостойких ВВ и конструкции оболочки могут работать при экстремально высоких температурах и давлениях.

При спуске аппаратов на геофизическом кабеле и электрическом способе инициирования зарядов ВМ применяют специальные источники тока и контрольно-измерительные приборы.

При работе с незащищенными системами – электродетонаторами ТЭД, взрывными патронами ПВ-ПД, ПВПД-М, ВП-4, ПГ-170 и др. в качестве источника тока применяют конденсаторные взрывные приборы и машинки, которые состоят из конденсатора-накопителя, зарядного устройства, взрывного переключателя и снабжены неоновой сигнальной лампочкой для подачи сигнала о готовности прибора к работе. Принцип действия взрывных приборов и машинок заключается в относительно медленном зарядании конденсатора до потенциала $600 \div 1000$ В от низковольтного источника тока: гальванических элементов (взрывной прибор) или ручного индуктора (взрывная машинка). После зарядки конденсатора до номинального напряжения на панели прибора загорается сигнальная лампочка, и взрывник, повернув ключ в гнезде в положение «Взрыв» с помощью переключателя, посылает во взрывную сеть мощный импульс электрического тока, обеспечивающий инициирование электродетонаторов или взрывных патронов.

При спуске аппаратов на геофизическом кабеле и электрическом способе инициирования зарядов ВМ, а также при использовании защищенных электрических систем применяют специальные источники тока и контрольно-измерительные приборы (см. раздел 15.4).

10. ПЕРФОРАЦИЯ СКВАЖИН

10.1. Общие сведения о перфорации скважин

Для вскрытия продуктивных пластов и интенсификации из них притока нефти и газа применяют стреляющие перфораторы, которые по принципу действия разделяются на кумулятивные и пулевые. Перфораторы спускают в скважину на геофизическом кабеле и приводят в действие подачей с поверхности земли по нему импульса электрического тока. Некоторые кумулятивные перфораторы опускают в скважину на колонне насосно-компрессорных труб и приводят их в действие гидравлическим или механическим способом. Перфорация скважин выполняется, как правило, на участке скважины с закрепленными обсадными трубами стенками.

Вскрытие пластов стреляющими перфораторами может осуществляться при репрессии (забойное давление в скважине выше пластового) и депрессии (забойное давление в скважине ниже пластового).

Вскрытие пластов при депрессии осуществляется перфораторами типа ПКТ, спускаемыми на насосно-компрессорных трубах, и его рекомендуется применять при вскрытии любой части пласта, в том числе и приконтактных зон независимо от величины искривления скважины, качества цементной оболочки, обсадной колонны, аномальности пластового давления. Для вскрытия пластов при репрессии исходят из условий безопасного проведения перфорации и предотвращения проникновения больших объемов жидкости из скважины в пласт.

В подавляющем большинстве случаев все виды перфорационных работ в скважинах производятся при репрессии (Dp_p) на продуктивный пласт. Величина репрессии не должна превышать $5 \div 10$ % от значения пластового давления (но не более $2,5 \div 3,5$ МПа) в зависимости от глубины скважины.

Гидростатическое давление столба жидкости, заполняющей скважину, должно превышать пластовое на величину:

$10 \div 15$ % – для скважин глубиной до 1200 м, но не более 15 МПа;

$5 \div 10$ % – для скважин глубиной до 2500 м (в интервале от 1200 до 2500 м), но не более 2,5 МПа;

$4 \div 7$ % – для скважин глубиной более 2500 м (в интервале от 2500 м до проектной глубины), но не более 3,5 МПа.

При репрессии на пласт в призабойной зоне продуктивного пласта образуется блокирующая зона, состоящая из пристенной кольматационной (толщиной до $5 \div 1,5$ мм) и инфильтрационной (радиусом до $300 \div 1000$ мм) зон. Чем больше репрессия на пласт (а также водоотдача бурового раствора и время контакта его с продуктивным пластом), тем более мощная блокирующая зона образуется при первичном вскрытии пласта.

В мировой и отечественной практике наиболее широкое распространение получили кумулятивные перфораторы, на которые приходится $90 \div 95$ % от общего объема выполняемых работ.

10.2. Кумулятивная перфорация

Кумулятивная перфорация основана на пробивном действии кумулятивных зарядов ВВ, размещенных в корпусе (каркасе) перфоратора. В результате работы кумулятивных зарядов в приствольной зоне скважины образуются каналы длиной обычно $150 \div 500$ мм и диаметром $8 \div 15$ мм. Взрывание кумулятивных зарядов в перфораторах производят с помощью детонирующего шнура, который инициируется взрывным патроном, электродетонатором от электрического импульса или капсюлем-детонатором от ударного импульса.

При вскрытии продуктивных пластов применяют кабельную и трубную перфорации (рис. 10.1, 10.2). Спуск ПВА на кабеле применяют для наклонно направленных и вертикальных скважин, спуск ПВА на насосно-компрессорных трубах применяют для горизонтальных скважин.

По способу герметизации зарядов ВВ и средств инициирования кумулятивные перфораторы разделяют на корпусные и бескорпусные (табл. 10.1).

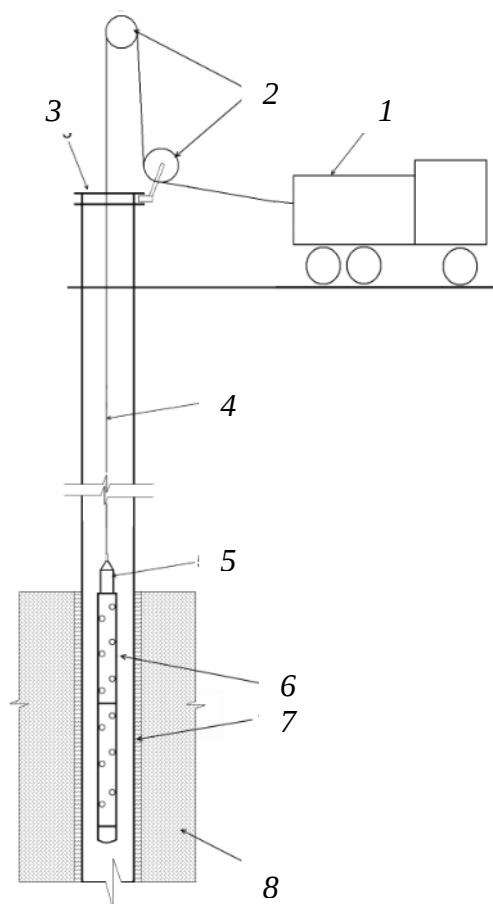


Рис. 10.1. Спуск ПВА
на геофизическом кабеле:
1 – каротажный подъемник;
2 – отклоняющий ролик
с блок-балансом; 3 – устье скважины;
4 – геофизический кабель; 5 – головка;
6 – перфоратор (ПК-105);
7 – эксплуатационная колонна;
8 – продуктивный пласт

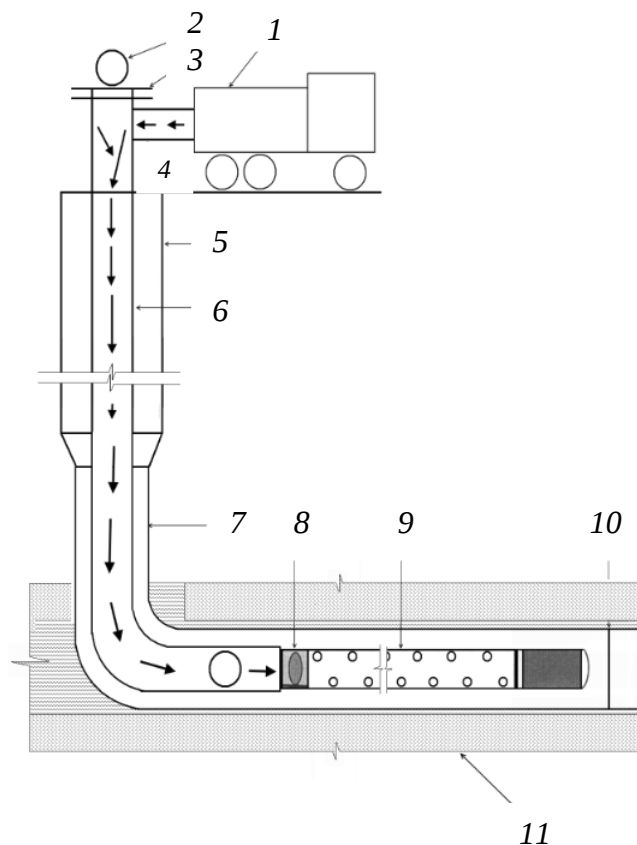


Рис. 10.2. Спуск ПВА
на насосно-компрессорных трубах:
1 – агрегат ЦА-320; 2 – резиновый шар;
3 – заглушка; 4 – линия прокачки;
5 – эксплуатационная колонна; 6 – насосно-
компрессорные трубы; 7 – эксплуатационная
колонна «хвостовик»; 8 – инициирующая головка;
9 – перфоратор (ПМ73СТ, ПМ73СТА);
10 – стопорное кольцо; 11 – продуктивный пласт

Таблица 10.1

Классификация кумулятивных перфораторов

Тип	Обозначение	Конструктивные особенности
Корпусные	ПК	Извлекаемый корпус многократного использования
	ПКО, ПКОТ, ПКТ, ПКОС (наружный диаметр 60 мм и более)	Извлекаемый корпус однократного использования
	ПКОС (наружный диаметр 38 мм и менее)	Разрушающийся корпус однократного использования
Бескорпусные	ПКС, ПРК	Частично разрушающийся с извлекаемым монтажным каркасом
	ПР, КПРУ	Полностью разрушающийся с извлекаемой головкой-грузом

10.2.1. Корпусные кумулятивные перфораторы

В корпусных перфораторах кумулятивные заряды и СИ размещены внутри прочного герметичного металлического корпуса, который защищает их от непосредственного контакта со скважинной жидкостью и воспринимает на себя действие продуктов детонации и осколков, защищая обсадную трубу и цементное кольцо от повреждений. Благодаря герметичному корпусу корпусные кумулятивные перфораторы обладают по сравнению с бескорпусными перфораторами повышенной баро- и термостойкостью.

Корпусные кумулятивные перфораторы бывают многократного и однократного использования.

Корпусные кумулятивные перфораторы многократного использования типа ПК имеют прочный толстостенный корпус из высокопрочной легированной стали, рассчитанный на 25÷30 выстрелов (залпов).

Наибольшее распространение получили перфораторы ПК105 с наружным диаметром корпуса 105 мм, которые выпускаются различными производителями и отличаются рядом конструктивных особенностей. Принципиальное устройство перфоратора типа ПК представлено на рис. 10.3, конструкция и внешний вид кумулятивных зарядов – на рис. 10.4 и 10.5.

Кумулятивный корпусный перфоратор **ПК105**, спускаемый на каротажном кабеле, предназначен для вторичного вскрытия пластов в обсаженных скважинах, заполненных жидкостью или газом, и включает головку с электроводом, корпус (секцию) длиной около 1 м и наконечник, соединяемые на резьбе. Перфоратор может состоять из одной или двух секций. Внутри герметичного корпуса размещаются кумулятивные заряды, установленные напротив ствольных отверстий. Хвостовики зарядов фиксируются в гнездах (углублениях), выполненных внутри корпуса напротив ствольных отверстий. Фазировка смежных зарядов составляет 60, 90 или 120°, плотность установки 10÷12 на 1 м. Заряды вставляют в корпус перфоратора со стороны торца установочными клещами, предварительно продевая через отверстие в хвостовике детонирующий шнур. Крепление и центрирование заряда со стороны гнездового отверстия производят с помощью установочной втулки, которая опирается на манжету, закрепленную в заряде со стороны кумулятивной выемки.

Инициирование кумулятивных зарядов осуществляется детонирующим шнуром, проложенным через хвостовики зарядов, и электродетонатором или взрывным патроном, который устанавливается в нижней части перфоратора и фиксируется в пластмассовом диске (крестовине) с помощью пружинного кольца. Наиболее широкое применение получили взрывные патроны ПВПД-Н и электродетонаторы ЭД-ПН, исключаящие срабатывание перфоратора при разгерметизации корпуса и защищенные от статического электричества и токов промышленной частоты.

Основные технические характеристики кумулятивных корпусных перфораторов многократного использования и зарядов к ним приведены в табл. 10.2.



Рис. 10.4. Конструкция заряда ЗПК:

1 – колпачок; 2 – манжета; 3 – кумулятивная
выемка; 4 – шашка ВВ; 5 – корпус заряда;
6 – детонатор промежуточный

а

б

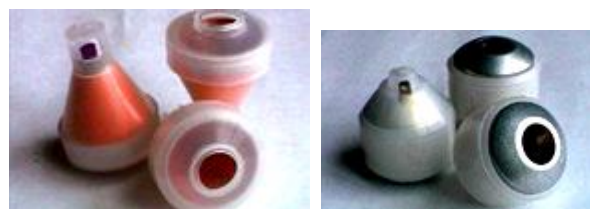


Рис. 10.5. Заряды ЗПК:

а – ЗПК-105-7; *б* – ЗПК 105 DN-01

Рис. 10.3. Корпусные кумулятивные
перфораторы многократного использования:

а – перфоратор ПК 105: 1 – головка с электровводом, 2 – корпус (секция), 3 – наконечник,
4 – заряд ЗПК, 5 – электродетонатор или взрывной патрон, 6 – детонирующий шнур,
7 – взрывной провод, 8 – узел герметизации;
б – перфоратор КПМ 105, заряд ЗПК105Н ГП

Технические характеристики перфораторов многократного использования

Тип перфоратора	ПК105СМ	ПК105СМ-02	ПК105-7			
Тип заряда	<u>ЗПК105СМ</u> ЗПК105СА	ЗПК105С	ЗПК105-7	ЗПК105С-7	ЗПК105Н ГП	ЗПК105Н БО
Масса заряда, г	22	22	22	22	20	22
Плотность перфорации, отв./м	12	12	10	12	12	12
Фазовая ориентация зарядов, град.	60, 120/60	60, 90, 120	60,90	60,90	60,90	60,90
Максимальная температура, °С	150	150	150	150	150	150
Максимальное давление, МПа	60	80	50	50	50	50
Диаметр отверстия, мм	681/210	681	320	650	700	237
Глубина отверстия, мм	11/21	11	9,5	10	10	22

В зависимости от условий применения, по выбору потребителя, в перфораторе применяются заряды: «ГП» и «БО», обеспечивающие образование глубоких входных отверстий либо отверстий большого диаметра, но меньшей длины. Возможно применение зарядов обоих типов в одном перфораторе.

Перфораторы ПК105СМ/(02) отличаются высокой пробивной способностью и имеют небольшое фугасное действие на стенки обсадной колонны и могут применяться при малых гидростатических давлениях, вплоть до атмосферного. Исполнения перфораторов различаются способом герметизации кумулятивных зарядов:

ПК105СМ – с помощью резьбовых заглушек с шестигранным основанием по ключ;

ПК105СМ-02 – с помощью вставных дюралюминиевых опорных дисков и резиновых пробок.

Перфоратор ПК105СМ может применяться при более высоком давлении в скважине вследствие большей прочности герметизирующих элементов.

Кроме того, ввинтные дюралюминиевые пробки при взрыве остаются в корпусе, и по отверстиям, пробиваемым в них, можно контролировать полноту и качество срабатывания всех зарядов.

Перфоратор ПК105СМ-02 обладает высокой технологичностью в части сборки (разборки) и находит более широкое применение. Недостаток – засорение скважин дисками и пробками, особенно при небольших гидростатических давлениях в скважине.

Максимальный поперечный габарит корпуса перфораторов, допустимый в эксплуатации, – 110 мм. Минимальный внутренний диаметр обсадной колонны при плотности раствора до 1,5 г/см³ – 125 мм; свыше 1,5 г/см³ – 128 мм.

Длина перфоратора в сборе 1655 мм, перфоратора из двух секций – 2712 мм, вес – соответственно 25 и 45 кг.

Корпусные кумулятивные перфораторы одноразового использования характеризуются тем, что кумулятивные заряды и системы инициирования размещаются внутри относительно тонкостенных труб, простреливаемых кумулятивными струями.

К корпусным перфораторам одноразового использования относятся: **ПКО102, ПКО89АТ, ПКО73, ПКО89С** и др.; цифровое обозначение в аббревиатуре перфоратора обозначает его наружный диаметр. Для крепления зарядов внутри корпуса перфоратора типа ПКО используются металлические ленточный (рис. 10.6) или облегченный трубный каркасы (рис. 10.7). Кумулятивный корпусный перфоратор ПКО102СКА с облегченным трубным каркасом (см. рис. 10.7), спускаемый на каротажном кабеле, предназначен для вторичного вскрытия пластов в обсаженных скважинах диаметром 125 мм и заполненных жидкостью.

Характеристики этого и других перфораторов типа ПКО представлены в табл. 10.3. Для повышения пробивной способности и улучшения извлекаемости из скважины после отстрела корпус перфоратора имеет выточки (скэлоры) напротив расположения зарядов.

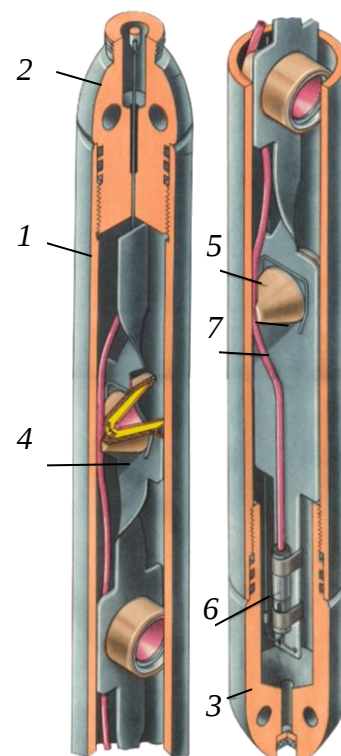


Рис. 10.6. Перфоратор ПКО с ленточным каркасом:

- 1 – корпус; 2 – головка;
- 3 – наконечник;
- 4 – ленточный каркас;
- 5 – заряд ВВ; 6 – ЭД (ВП);
- 7 – детонирующий шнур

Таблица 10.3

Технические характеристики перфораторов однократного использования

Наименование показателя	Тип перфоратора				
	ПКО102СКА	ПКО102СК	ПКО89СМ	ПКО89С	ПКО73С
2	3	4	5	6	7
1. Поперечный габарит перфоратора, мм	119	119	89	89	73
2. Минимальный проходной диаметр, мм	125	125	115	115	86
3. Диапазон гидростатического давления, МПа	0,1 – 100	0,1 – 100	0,1 – 80	0,1 – 80	0,1 – 80
4. Допустимая температура при выдержке 2 ч, °С	165	165	150	150	150
5. Плотность перфорации, отв/м	20	14; 17	18	14; 18	14
6. Фазировка зарядов, град	60	60	60	60; 90	60

1	2	3	4	5	6
7. Марка заряда	<u>ЗПКО89СМА</u> ЗПКО89СМ	<u>ЗПКО89С</u> ЗПКО89СА	ЗПКО89СМ	<u>ЗПКО89С-04</u> ЗПКО89СМ	<u>ЗПКО73С</u> ЗПКО73СА
8. Масса ВВ одного заряда, г	24/23	34/29	22	22; 31	18
9. Средняя глубина пробития по бетонной мишени, мм по аналогу API RP-43 по стандарту API RP 19B	217/693	953/150	693	693/890	520/160
10. Средний диаметр входного отверстия в стальной пластине мишени, мм по аналогу API RP-43 по стандарту API RP 19B	18,77/11,3	12,6/26	11,3	11,3/11	14
11. Длина перфоратора, м	1–3	1–3	1–10	1–6	1–3

В зависимости от условий применения, по выбору потребителя, в перфораторе применяются заряды, обеспечивающие глубокое пробитие (ЗПКО89СМ), и заряды, позволяющие получать большой диаметр входного отверстия (ЗПКО89СМА).

Зарядка перфоратора ПКО на ленточном каркасе производится в следующем порядке:

Заряды вставляются в отверстия ленты, затем в пазы зарядов со стороны хвостовика по винтовой линии укладывается отрезок ДШ и закрепляется с помощью фиксатора, параллельно ДШ прокладывается ЭВС. После этого в корпус осторожно вставляется снаряженная лента. Во избежание повреждения электропровода он должен быть слегка натянут.

Лента к зарядочному комплекту ПКО поставляется длиной 1 м, с плотностью 12 отв/м, крепление лент между собой производится с помощью «усиков». На одной стороне ленты просверлены два отверстия, с другой – выступают «усики», которые при соединении лент входят в отверстия и загибаются поперек ленты. Детонирующий шнур, со стороны наконечника должен выступать на 8÷10 см.

Перфораторы **ПКО89С**, **ПКО89СМ** (рис. 10.8) предназначены для работы в обсадной колонне с минимальным внутренним диаметром 117 мм, с максимальной плотностью зарядов до 18 отв/м, зависящей от конструкции каркаса (12, 14, 18 отв/м). Перфораторы собираются из секций длиной 1 м.

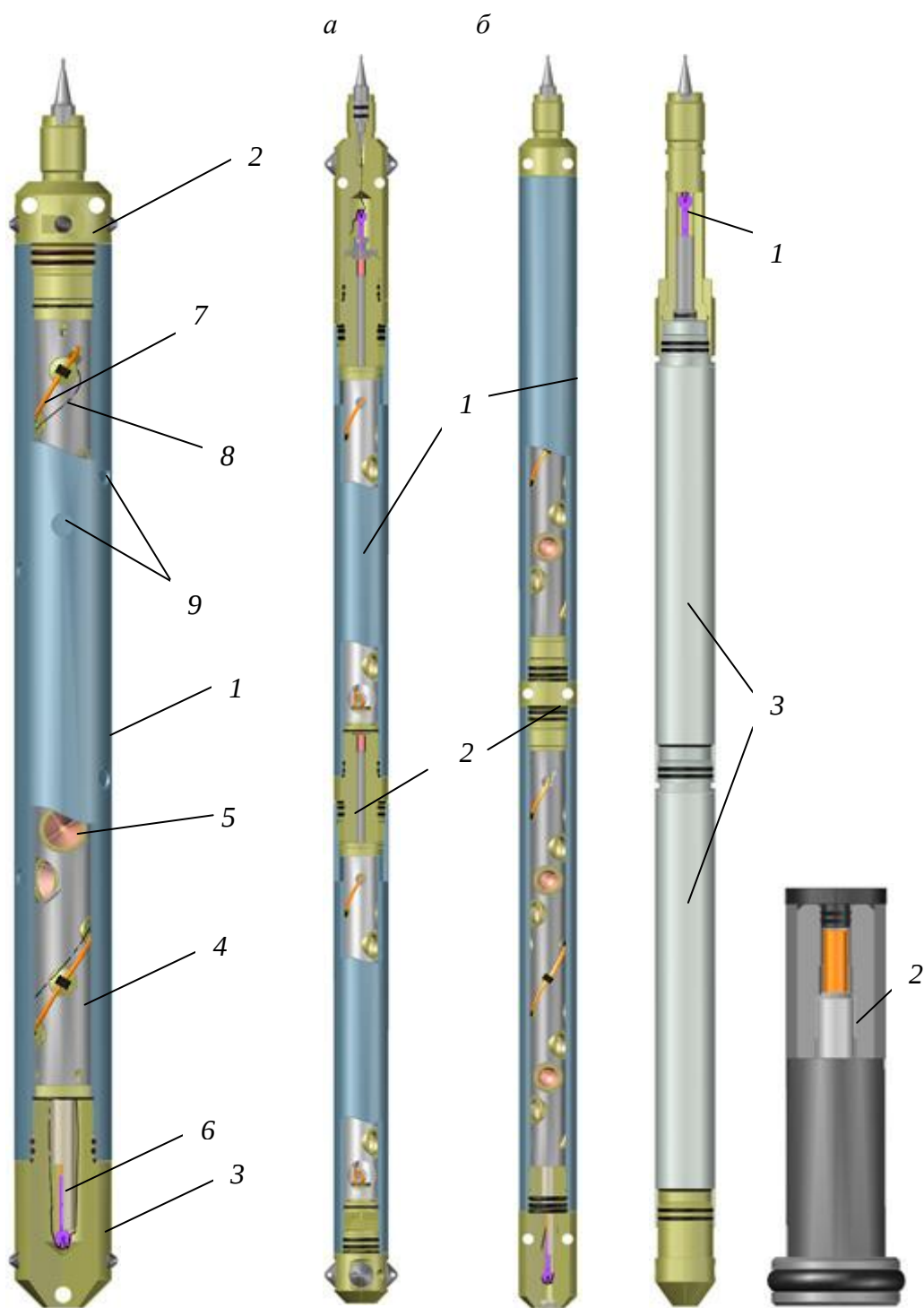


Рис. 10.7. Перфораторы
ПКО102СК, ПКО89СА, ПКО73С:

1 – корпус; 2 – головка;
3 – наконечник; 4 – трубный каркас;
5 – заряд ВВ; 6 – ЭД (ВП);
7 – детонирующий шнур;
8 – взрывной провод; 9 – скелопы

Рис. 10.8. Перфораторы:

а – ПКО89СМ;
б – ПКО89С:
1 – секция,
2 – узел передачи детонации

Рис. 10.9. Модульный
перфоратор ПМ73СК:

1 – взрывной патрон
ПВПД-Н;
2 – устройство передачи
детонации УПД;
3 – модуль

Перфоратор **ПКО73С** предназначен для вскрытия продуктивных пластов в скважинах, обсаженных одной или двумя зацементированными колоннами, с плотностью зарядов до 12 отв/м. Минимальный внутренний диаметр колонны 86 мм.

Кумулятивный модульный перфоратор ПМ73СК (рис. 10.9) состоит из герметичных, снаряженных в условиях завода изготовителя модулей длиной 1 м, соединяемых между собой свинчиванием. К верхнему модулю присоединяется головка перфоратора, для соединения с кабельным наконечником КГ160. Иницирование перфоратора производится от патрона взрывного ПВПД-Н и от устройства детонации перфоратора УДП, установленных в головке перфоратора.

Между отдельными секциями перфоратора также устанавливается устройство передачи детонации (УПД). Образующиеся в результате взрыва детонирующего шнура и зарядов в верхней секции перфоратора раскаленные газы устремляются через сужающийся канал переходника к капсюлям-детонаторам лучевого действия УПД, расположенного в начале следующей секции, и вызывают его детонацию. От УПД детонируют ДШ и группа кумулятивных зарядов второй секции и т. д. Устройство не содержит инициирующих веществ, что обеспечивает безопасность в обращении.

По выбору заказчика поставляются модули без скэлопов, снаряженные зарядами ГП (в ПМ73СК), или модули со скэлопами, снаряженные зарядами БО (в ПМ73СКА), а также модули «пропуск». Плотность перфорации составляет 10, 15 и 19 отверстий на метр. Фазировка зарядов 60° или 90°. Максимальная длина 10 м.

Зарядка перфоратора ПКО на трубном каркасе проводится в следующем порядке:

Заряды вставляются в отверстия каркаса, затем в пазы зарядов со стороны хвостовика по винтовой линии укладывается отрезок ДШ и закрепляется с помощью фиксатора.

Провод ЭВС прокладывается в полость каркаса. После этого в корпус осторожно вдвигается снаряженный каркас. Во избежание повреждения ДШ на концах каркаса устанавливаются центраторы, которые по диаметру больше каркаса.

Каркасы поставляются в зависимости от длины корпусов – 1 м, 2 м и 3 м, также предусмотрено соединение корпусов большей длины с помощью соединительных переходников.

К корпусу перфоратора ПКО, для соединения с кабельным наконечником, устанавливается перфораторная головка. В этой головке установлен электроввод для соединения провода ЭВС, предварительно пропущенного через этот корпус, с геофизическим кабелем.

При одновременном отстреле нескольких корпусов перфоратора ПКО в нижний конец снаряженного корпуса ввинчивается до упора переходник, в осевое отверстие которого устанавливается узел передачи детонации (УПД), к которому, в свою очередь, крепится ДШ. Затем на переходник навинчивается второй снаряженный корпус.

При соединении каркасов между собой их необходимо ориентировать так, чтобы соседние с втулкой гнездовые отверстия под заряды располагались по правой гнездовой линии, не нарушая угловую фразировку гнезд каркасов.

В корпусных перфораторах типа ПКО применяются защищенные взрывные патроны типа ПВПД-Н или других типов, допущенных к применению ГГТН РФ. Взрывной патрон устанавливается в наконечнике корпуса перфоратора.

Сращивание детонирующих шнуров типа ДШТ-165, ДШТ-200 запрещается.

Перфораторы ПКО по сравнению с перфораторами ПК имеют более мощные кумулятивные заряды при меньшем диаметре корпуса и поэтому применяются в глубоких высокотемпературных скважинах с затрудненной проходимостью вследствие повышенной вязкости и плотности скважинной жидкости. При взрыве скважина не засоряется остатками, после подъема перфоратора по наличию отверстий, пробиваемых в корпусе кумулятивными струями, можно контролировать полноту и качество работы зарядов.

Более высокая пробивная способность позволяет уменьшить плотность перфорации на 1 м скважины, в то же время за одну операцию в скважину можно спустить большое число зарядов (до 100 шт. одновременно) и прострелять интервал мощностью 10 м.

Недостатком перфораторов ПКО является невозможность их применения на небольших глубинах, так как при гидростатическом давлении менее 0,1 МПа при взрыве зарядов происходит разрушение корпуса перфоратора.

Кумулятивные заряды в перфораторах ПКО имеют такую же принципиальную конструкцию, что и заряды перфораторов ПК, отличаясь наружной конфигурацией оболочки и хвостовика (рис. 10.10, 10.11).

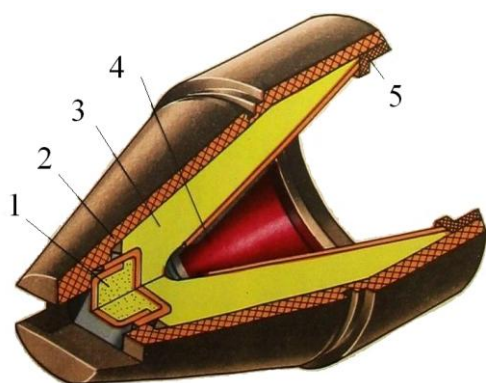


Рис. 10.10. Кумулятивный заряд ЗПКО:

- 1 – детонатор промежуточный;
- 2 – корпус-головка; 3 – шашка ВВ;
- 4 – кумулятивная воронка; 5 – манжета



Рис. 10.11. Заряд ЗПКО 89 DN (DN -01)

Заряд ЗПКО 89 DN имеет цельнотянутую кумулятивную воронку и по своим техническим характеристикам соответствует зарядам типа Big Hole

и имеет короткий канал большого диаметра. Заряды используются с целью создания отверстия большого диаметра. Заряд ЗПКО 89 DN-01 имеет беспесочную порошковую облицовку, повышающую качество прострелочно-взрывных работ и эффективно вскрывающую пласты с низкими коллекторными свойствами.

Взрывание зарядов производится так же, как у перфораторов типа ПК.

Для вскрытия пластов в глубоких скважинах в условиях высоких давлений и температур применяют перфораторы типа ПКОТ и ПКОС (рис. 10.12, 10.13).

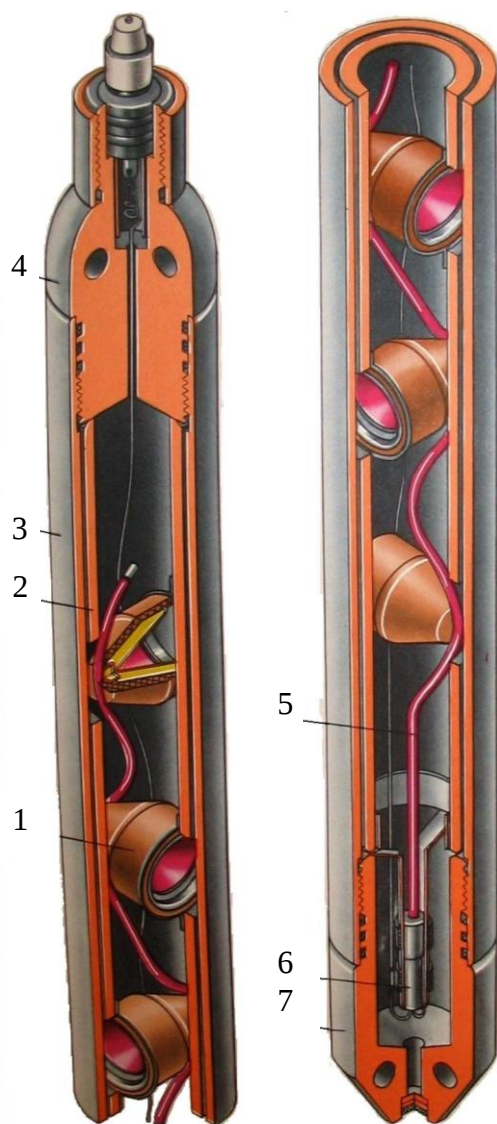


Рис. 10.12. Кумулятивный перфоратор типа ПКОТ:

1 – заряд кумулятивный; 2 – опорная труба; 3 – корпус; 4 – головка; 5 – детонирующий шнур; 6 – взрывной патрон; 7 – наконечник

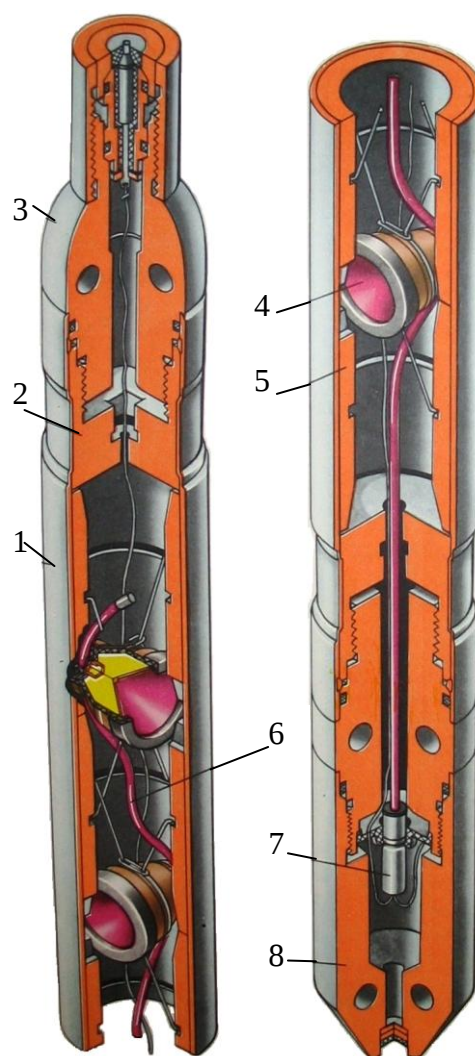


Рис. 10.13. Кумулятивный перфоратор типа ПКОС:

1 – корпус; 2 – муфта; 3 – головка; 4 – кумулятивный заряд; 5 – опорная втулка; 6 – детонирующий шнур; 7 – взрывной патрон; 8 – наконечник

Перфораторы **ПКОТ89** и **ПКОТ73** предназначены для применения в скважинах с максимальным давлением 120 МПа и температурой до 180 °С. В этих перфораторах опорная толстостенная труба с отверстиями под кумулятивные заряды размещена внутри тонкостенного корпуса с минимальным (монтажным) зазором. При спуске перфоратора под действием гидростатического давления в скважине наружный корпус обжимает опорную трубу, что позволяет эти перфораторы использовать при более высоких давлениях.

В перфораторах **ПКОС89**, **ПКОС73** и **ПКОС60**, рассчитанных на внешнее давление до 150 МПа и температуру до 250 °С, в качестве опоры для тонкостенного корпуса использованы прочные толстостенные опорные втулки (секции), в торцовых расточках которых установлены кумулятивные заряды: опорные втулки снабжены фигурными пазами для размещения хвостовика заряда и изогнутой части детонирующего шнура в алюминиевой оболочке, а также для свободного пропуска кумулятивной струи. Для герметизации корпуса применена двухступенчатая система уплотнения: первая ступень осуществляется резиновыми кольцами, вторая – кольцами-обтюраторами клиновидного сечения из мягкого алюминиевого сплава. Благодаря наличию опорных втулок при увеличении внешнего давления за пределы давления, сминающего корпус-трубу, последняя обжимается и ложится на опорные втулки не разрушаясь.

Недостатками перфораторов ПКОТ и ПКОС являются: невозможность разборки и разряжания в случае отказа и недопустимость предварительного испытания на сопротивляемость внешнему давлению в сосуде высокого давления или в скважине.

Инициирование зарядов ВВ в перфораторах ПКОС выполняется с применением высокотермостойких шнуров: ДУЗТ-250 в алюминиевой оболочке и ДШТТ-250, снаряженных НТФА, а также термостойких электродетонаторов ТЭД-250. В перфораторах ПКОС при использовании двух секций между ними устанавливается устройство для передачи детонации (УПД).

Малогабаритные перфораторы с разрушающимся корпусом **ПКОС38** (рис. 10.14) и **ПКОС32** предназначены для простреливания бурильного инструмента с целью оперативного восстановления циркуляции промывочной жидкости в бурящихся скважинах. Малогабаритный перфоратор ПКОС38 имеет тонкостенный алюминиевый кожух, опирающийся на прочные стальные секции с наклонно размещенными кумулятивными зарядами, поочередно направленными в противоположные стороны под углом 60° к продольной оси перфоратора. Передача детонации между зарядами осуществляется по детонационным каналам, проложенным между секциями вместо детонирующего шнура. Перфоратор состоит из восьми кумулятивных зарядов, снаряжается в заводских условиях и имеет неразборную конструкцию.

Перед спуском в скважину в головку перфоратора вставляется взрывной патрон, ниже которого размещается вышибной заряд, позволяющий отсоединить отстрелянный перфоратор от его головки, так что кабель извлекается из колонны труб без перфоратора.

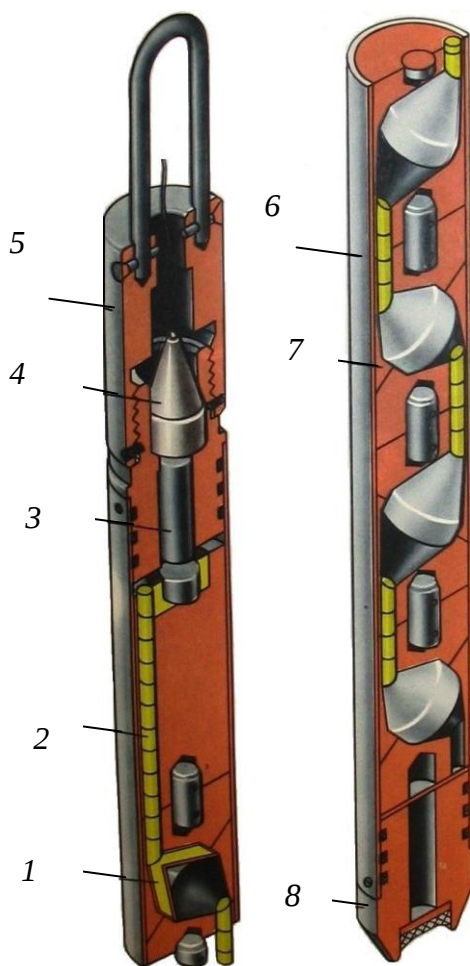


Рис. 10.14. Перфоратор ПКОС38:

- 1 – кумулятивный заряд;
- 2 – передаточные шашки;
- 3 – электродетонатор;
- 4 – уплотнение герметизирующее;
- 5 – головка; 6 – кожух перфоратора;
- 7 – фиксатор; 8 – наконечник

Корпусные кумулятивные перфораторы однократного использования, спускаемые в скважину на трубах – ПКТ, предназначены для перфорации скважин при депрессии на пласт или при равновесии давлений между пластом и скважиной, без применения кабеля, а также лубрикатора для герметизации ввода кабеля в устье скважины. Перфораторы, спускаемые на насосно-компрессорных трубах, состоят из перфораторов (секций) типа ПКО или ПКОТ. Основное отличие устройства перфораторов ПКТ от ПКО и ПКОТ заключается в применении в головной части взрывного устройства с механическим приводом (головки инициирующей), а также в инициировании зарядов сверху вниз. После спуска и установки перфоратора в заданном интервале скважины внутрь колонны насосно-компрессорных труб вводят резиновый шар, который под действием закачиваемой в трубы жидкости движется к перфоратору.

Другой вариант инициирования предусматривает вбрасывание внутрь заполненных жидкостью насосно-компрессорных труб специальной штанги («ломика»). Иницирующая головка, состоящая из ударного уст-

ройства и устройства детонации, срабатывает от ударного импульса резинового шара или штанги: жало бойка производит накол капсюля-детонатора в узле инициирования. Перфоратор применяется для вскрытия протяженных интервалов в вертикальных, наклонно направленных и горизонтальных скважинах.

Кумулятивный корпусный перфоратор **ПКТ102СТА** (рис. 10.15), спускаемый на насосно-компрессорных трубах, предназначен для вторичного вскрытия пластов в обсаженных скважинах, заполненных жидкостью.

Для повышения пробивной способности и улучшения извлекаемости из скважины после отстрела корпус перфоратора имеет выточки (скэлоры) напротив расположения зарядов. В перфораторе применяются заряды, обеспечивающие глубокое пробитие (ЗПКО89СМ), и заряды, позволяющие получить большой диаметр входного отверстия (ЗПКО89СМА).

Перфоратор состоит из инициирующей головки и зарядных секций – верхней и нижней. Зарядные секции могут различаться по длине и, соответственно, по количеству зарядов. Длина секции определяется условной длиной корпуса. Верхняя часть перфоратора заканчивается муфтой переходной, служащей для присоединения перфоратора с инициирующей головкой к трубам НКТ.

Между зарядными секциями могут находиться секции-пропуск, которые не содержат кумулятивных зарядов и служат для передачи детонации между зарядными секциями. Секции-пропуск также могут различаться по длине.

Типовая зарядная секция состоит из корпуса длиной 2 или 3 м, тонкостенного каркаса, который центрируется в корпусе при помощи центрирующих элементов, имеющих паз для прохода детонирующего шнура. На каркасах при помощи фиксаторов закрепляются заряды и детонирующий шнур.

В нижний конец гирлянды каркасов вставляется втулка нижняя. Детонирующий шнур пропускается сквозь отверстие в усилителе детонации и закрепляется от выпадения изоляционной лентой. На верхнем конце гирлянды каркасов закреплена верхняя втулка. ДШ устанавливается вплотную к шашке усилителя детонации и фиксируется от перемещения.

При срабатывании инициирующей головки детонационный импульс от устройства детонации головки передается на усилитель детонации и на детонирующий шнур, от которого инициируются кумулятивные заряды верхней секции. Образующаяся при срабатывании заряда кумулятивная струя пробивает стенку корпуса перфоратора, обсадную колонну, цементное кольцо и образует канал в породе пласта. Детонация от верхней секции передается на ДШ нижерасположенных секций при помощи усилителей детонации, установленных навстречу друг другу с воздушными зазорами между ними.

После отстрела перфоратор извлекается из скважины или остается в ней.

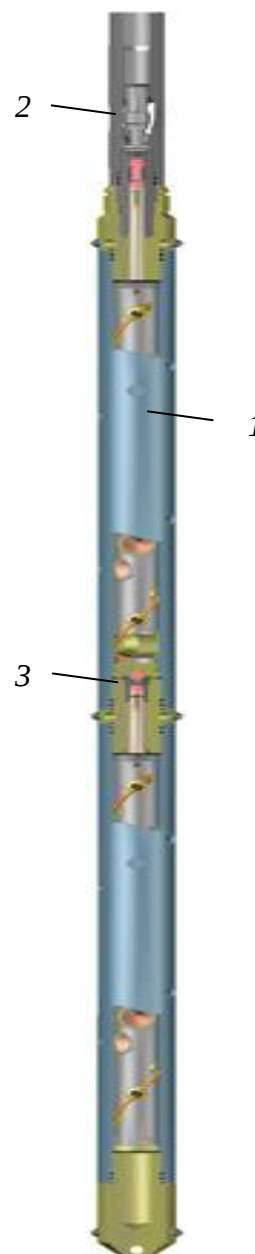


Рис. 10.15. Перфоратор ПКТ102СТА:

- 1 – модуль (секция) перфоратора;
- 2 – головка инициирующая ИГ1 (ИГ2) с устройством детонации УДГ;
- 3 – узел передачи детонации

Головка перфораторная, переходник, наконечник и переходник верхний могут использоваться многократно, остальные элементы из состава сборки перфоратора одноразового применения.

В зависимости от условий применения, инициирование взрывной цепи перфоратора производится от инициирующей головки ИГ1 или ИГ2.

Головка инициирующая ИГ1 с устройством детонации УДГ применяется в кумулятивных корпусных перфораторах, спускаемых на НКТ внутренним диаметром не менее 50 мм, при гидростатическом давлении в полости головки не менее 5 МПа. Головка ИГ1 (рис. 10.16) применяется в перфораторах типа ПКТ с поперечным габаритом 60÷102 мм. Инициирование головки осуществляется ударным импульсом, без применения средств инициирования.

Особенности применения головки ИГ1:

- повышенная безопасность в обращении, обеспечиваемая конструкцией самой головки и входящих в её состав ударного устройства и устройства детонации;

- надёжное срабатывание от резинового шара, прокачиваемого внутри НКТ;

- надёжное срабатывание от штанги, сбрасываемой в полость НКТ в вертикальных и наклонно направленных скважинах с наклоном до 45°;

- наличие циркуляционного окна обеспечивает промывку ствола скважины и поступление пластовой жидкости в НКТ после перфорации.

Инициирование головки осуществляется механическим путем при помощи штанги (ШИП-К или ШИП-А) с применением специального наконечника ИГ2.

В отличие от штанги-ломика, используемой при трубной перфорации, интеллектуальная штанга ШИП (рис. 10.17) оснащена манометром и термометром. Кроме основной функции (инициирование перфоратора) она позволяет контролировать и визуализировать весь процесс выполнения ПВР, начиная с момента сброса штанги и заканчивая регистрацией поведения объекта после вскрытия.

Особенности применения головки ИГ2:

- повышенная безопасность в обращении, обеспечиваемая конструкцией самой головки и входящих в её состав ударного устройства и устройства детонации;

- надёжное срабатывание от штанги, сбрасываемой в полость НКТ в вертикальных и наклонно направленных скважинах с наклоном до 42°;

- наличие циркуляционных окон обеспечивает промывку ствола скважины и поступление пластовой жидкости в НКТ после перфорации;

- конструкция головки исключает возможность ее срабатывания от удара постороннего предмета, сброшенного в полость НКТ.

Устройство детонации УДГ (рис. 10.18) предназначено для применения в качестве ударного детонатора инициирующих головок ИГ1 и ИГ2 в перфораторах, спускаемых на насосно-компрессорных трубах. Изделие приводится в действие санкционированным ударным импульсом и передаёт детонацию усилителю ПКТ89СМ.050. Масса заряда бризантного ВВ 1 г. Устройство не

содержит инициирующих веществ, что обеспечивает безопасность в обращении. Усилители детонации ПКТ89СМ.050 (рис. 10.19) предназначены для приема-передачи детонации между секциями в корпусных герметичных кумулятивных перфораторах.

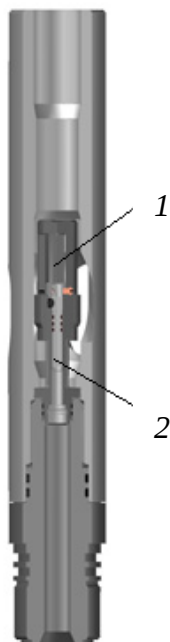


Рис. 10.16. Головка инициирующая:
1 – УДГ; 2 – УДП-01

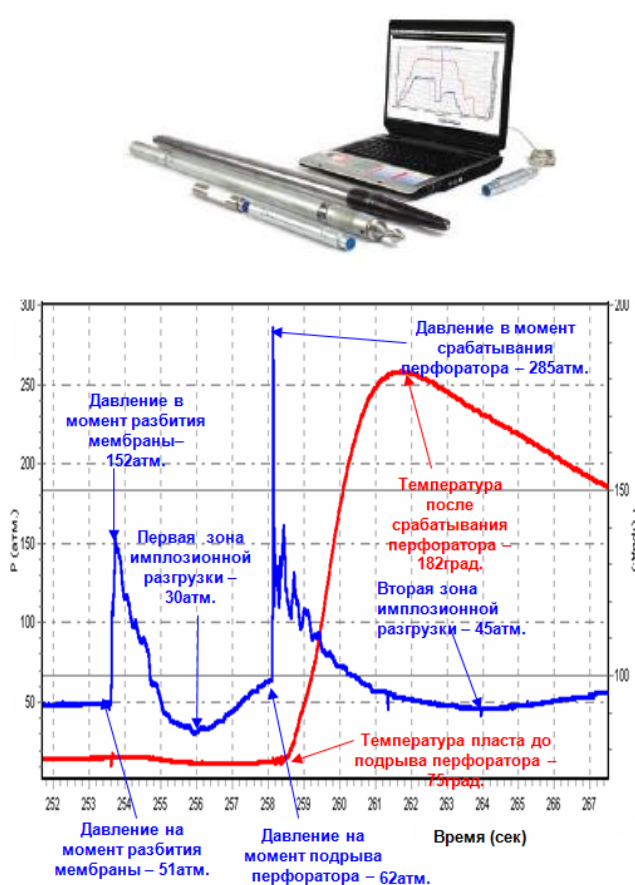


Рис. 10.17. Штанга ШИП-А:
регистрирует давление и температуру до,
во время и после процесса



Рис. 10.18. Устройство детонации УДГ



Рис. 10.19. Усилители детонации:
ПКТ89СМ.050-01(02, 03)

Усилитель детонации ПКТ89СМ.050-01 устанавливается в начале верхней секции перфоратора и предназначен для приёма детонации от устройства детонации инициирующей головки. ПКТ89СМ.050-02 и ПКТ89СМ.050-03 предназначены для передачи детонации между секциями перфоратора.

Устройства снаряжаются зарядом бризантного ВВ массой 1 г и не содержат инициирующих веществ, что обеспечивает безопасность в обращении.

Приёмник-передатчик детонационного импульса ППДИ (рис. 10.20) предназначен для приема – передачи детонации между секциями перфоратора ПКТ102С.

ППДИ-1 (активные) устанавливаются в нижней части секции перфоратора и обеспечивают прием-передачу детонации от детонирующего шнура (ДШТВ150/800, ДШТ200, РТ-165) к ППДИ-2 последующей секции перфоратора. ППДИ-2 (пассивные) устанавливаются в верхней части секции перфоратора и обеспечивают надежный прием детонации детонирующим шнуром от

устройства детонации УДГ или ППДИ-1. Особенностью ППДИ является их способность передачи детонации через стальную преграду. Устройства не содержат инициирующих веществ, что обеспечивает безопасность в обращении.

а



б



Рис. 10.20. Приёмник-передатчик детонационного импульса ППДИ:
а – ППДИ-1; *б* – ППДИ-2

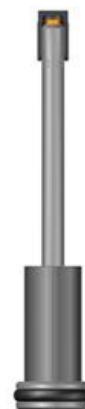


Рис. 10.21. Устройство детонации перфоратора УДП-01

Устройство УДП-01 (рис. 10.21) предназначено для приема-передачи детонации от устройства детонации УДГ модулю в перфораторе ПМ73СТ, спускаемом на насосно-компрессорных трубах.

Характеристики устройств передачи детонации представлены в табл. 10.4.

Таблица 10.4

Технические характеристики УДГ и УДП

№ п/п	Наименование показателя	УДГ	УДП	УДП-01
1	Габаритные размеры, мм	21	109×33	179×33
2	Масса, г	61	120	90
3	Масса бризантного ВВ, г, не более	86	3,0	5,7
4	Допустимая температура при выдержке 2 ч, °С	1,0	180	180
5	Максимально допустимое гидростатическое давление при применении, МПа	180	50	50

10.2.2. Бескорпусные кумулятивные перфораторы

Бескорпусные кумулятивные перфораторы характеризуются большой гибкостью и хорошей проходимостью особенно в искривленных деформированных колоннах и малых поперечных габаритах, обладают высокой производительностью (до 200 отверстий за один спуск) и позволяют сразу простреливать большие интервалы (до 30 м). Благодаря повышенной массе зарядов и отсутствию корпуса бескорпусные перфораторы при одинаковых поперечных габаритах с перфораторами типа ПК обладают повышенной пробивной способностью. После отстрела зарядов из скважины извлекается только

деформированный каркас с кабельным наконечником или только кабельный наконечник, что облегчает его подъем и уменьшает вероятность осложнений. Это обстоятельство позволяет широко применять бескорпусные кумулятивные перфораторы при заранее спущенной в скважину колонне насосно-компрессорных труб.

В качестве недостатков следует отметить:

- ограниченную термо- и баростойкость, так как заряды ВВ и средства инициирования имеют непосредственный контакт со скважинной жидкостью;
- повышенное механическое воздействие на обсадную колонну и затрубное цементное кольцо;
- засорение скважины осколками зарядов и остатками перфораторов.

Несмотря на указанные недостатки, бескорпусные кумулятивные перфораторы получили широкое практическое применение.

В зависимости от условий выполнения перфорационных работ применяют различные типы бескорпусных кумулятивных перфораторов.

Полуразрушающиеся кумулятивные перфораторы с извлекаемым монтажным каркасом

Перфораторы бескорпусные кумулятивные предназначены для вскрытия продуктивных пластов в обсаженных скважинах, когда требуется большая глубина перфорационных каналов при условии допустимости повышенного механического воздействия на обсадную колонну.

Конструкция ленточного кумулятивного перфоратора типа **ПКС** представлена на рис. 10.22. Ленточный каркас состоит из отдельных секций и служит для установки и крепления в нем кумулятивных зарядов (рис. 10.23) с определенной ориентацией и шагом.

В настоящее время для работы в скважинах при давлениях от 10 до 80 МПа и температуре до 150 °С применяются ленточные кумулятивные перфораторы типа **ПКСУЛ-100**, **ПКСУЛ-80** и **ПКСУЛ-80-1** (рис. 10.24).

При сборке каркаса отдельные секции соединяются друг с другом легкоразъемными байонетными замками, а каждое второе отверстие под заряд в ленте снабжено по обеим сторонам удлиненными пазами, что позволяет устанавливать заряды без протаскивания детонирующего шнура через технологические отверстия в ленте. Верхний конец гирлянды ленточных каркасов с зарядами присоединен кабельному наконечнику. К нижнему концу гирлянды с зарядами подсоединен груз.

Перфораторы **ПКСУЛ-80** и **ПКСУЛ-80-1** по устройству аналогичны и отличаются только конструкцией ленточного каркаса (плотностью установки зарядов). Перфораторы обеспечивают плотность перфорации 10/16 отв./м.

В перфораторах применяются заряды **ЗПКС80-150/800** и **ЗПКС80-150/1200**. Конструктивных отличий у этих зарядов нет, они отличаются только техническими характеристиками. Кумулятивный заряд **ЗПКС80-150/800** находится в герметичном корпусе из упрочненного стекла, допустимая температура 150 °С, максимальное давление 80 МПа. Кумулятивный заряд **ЗПКС80-150/1200** находится в герметичном корпусе из ситалла, допустимая температура 150 °С, максимальное давление 120 МПа.

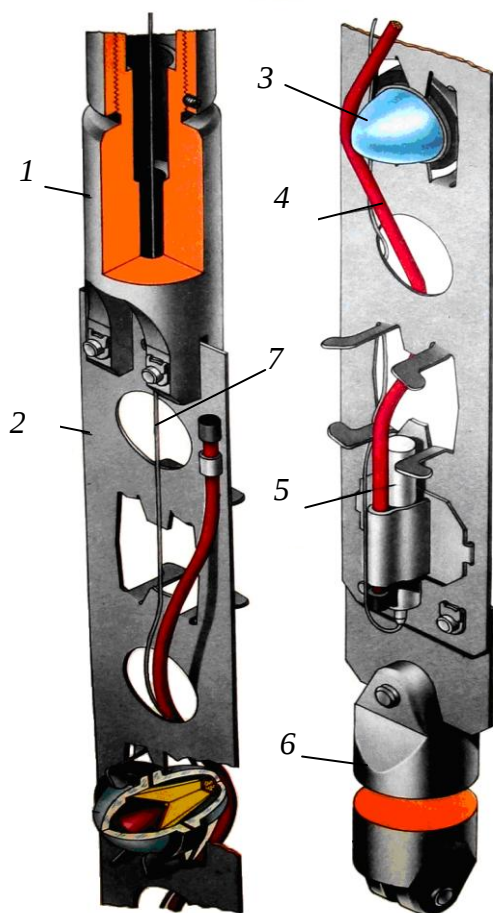


Рис. 10.22. Кумулятивный перфоратор типа ПКС:
 1 – головка; 2 – ленточный каркас;
 3 – заряды кумулятивные;
 4 – детонирующий шнур; 5 – взрывной патрон; 6 – наконечник (груз);
 7 – взрывной провод

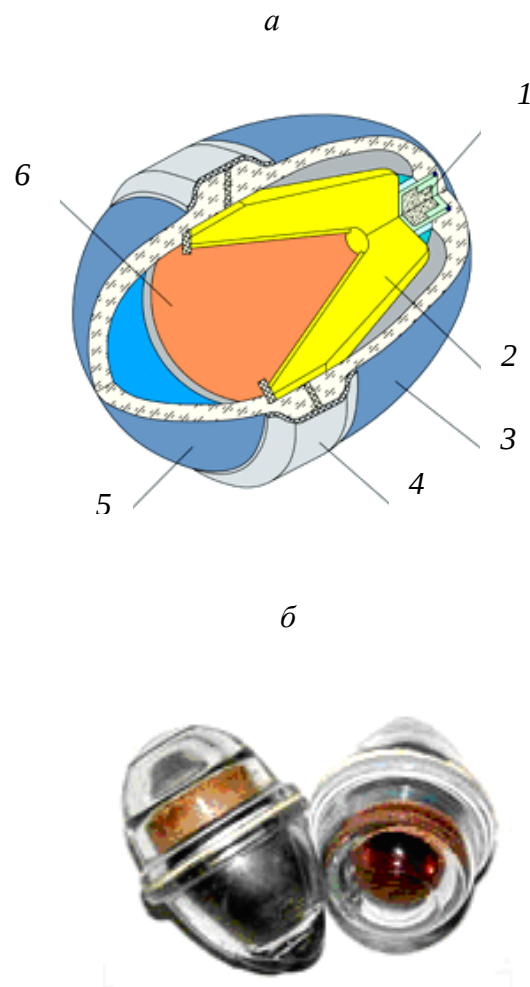


Рис. 10.23. Кумулятивный заряд ЗПКС:
 а – конструкция заряда: 1 – детонатор промежуточный, 2 – шашка ВВ, 3 – корпус, 4 – бандаж, 5 – крышка, 6 – кумулятивная воронка;
 б – внешний вид заряда в стеклянной оболочке

Взрывание зарядов производится с помощью детонирующего шнура, срабатывающего от взрывного патрона, который устанавливается в нижнем конце перфоратора (над грузом) или в верхней части гирлянды. При нижнем расположении патрона в случае отказа части заряда уменьшается опасность прихвата в обсадной колонне разрушившимися (невзорвавшимися) выше-расположенными зарядами.

Установка взрывного патрона в верхней части при уже полностью спущенном в скважину каркасе с зарядами, когда верхний заряд поравняется с устьем скважины, повышает безопасность и удобство выполнения работ, особенно при большой длине сборки. Снаряжение и сборка перфоратора производятся только перед спуском его в скважину для проведения прострелочно-взрывных работ.

Кумулятивные заряды поочередно с противоположной ориентацией (фазировка – 180°) устанавливаются в гнездовые отверстия ленточных каркасов и с помощью специального ключа закрепляются поворотом крючков. Детонирующий шнур прокладывается вдоль каркаса, поочередно огибая заряды со стороны хвостовиков. Допускается сборка гирлянды ленточного перфоратора заданной длины, с последующим заряджением в нее кумулятивных зарядов. На верхнем конце ленточной гирлянды каркасов устанавливается герметичный взрывной патрон ПГН-150, ПГН-165, к торцу которого подсоединен детонирующий шнур типа ДШУ-33; ДШТТ-180; ДШТТ-200, ДШТВ-150/800.

ДШУ-33 разрешается подсоединять в «накладку» с помощью изоленды и мягкой проволоки; ДШТТ-180, ДШТТ-200, ДШТВ-150/800 подсоединяют «встык» к взрывному патрону, при помощи резиновой переходной втулки (допускается для соединения «встык» использование твердой деревянной, пластмассовой, металлической или другой подложки, к которой изоляционной лентой или проводом крепятся соосно патрон и детонирующий шнур).

После полного срабатывания зарядов деформированный каркас извлекается из скважины вместе с грузом. Мелкие осколки оболочек зарядов оседают в зумпф скважины или удаляются из нее промывкой.

Полуразрушающиеся кумулятивные перфораторы с извлекаемым каркасом типа **ПРК65, ПРК54, ПРК42** предназначены в основном для вскрытия пластов в скважинах при уже спущенной колонне насосно-компрессорных труб с внутренним диаметром соответственно не менее 75, 62 и 50 мм, в том числе при герметизированном лубрикатором устье скважины и депрессии на пласт, а также при повышенной проходимости перфоратора.

Перфораторы ПРК65 могут спускать в скважину и непосредственно в обсадной колонне, когда имеются затруднения при спуске полноразмерных перфораторов (деформация колонны, вязкий раствор, наклонно направленное расположение ствола скважины).

Перфораторы типа ПРК отличаются тем, что при взрыве разрушаются только металлические оболочки зарядов, которые остаются в скважине в виде мелких осколков, а остальные элементы конструкции извлекаются на поверхность. При этом головка и наконечник используются многократно, а ме-

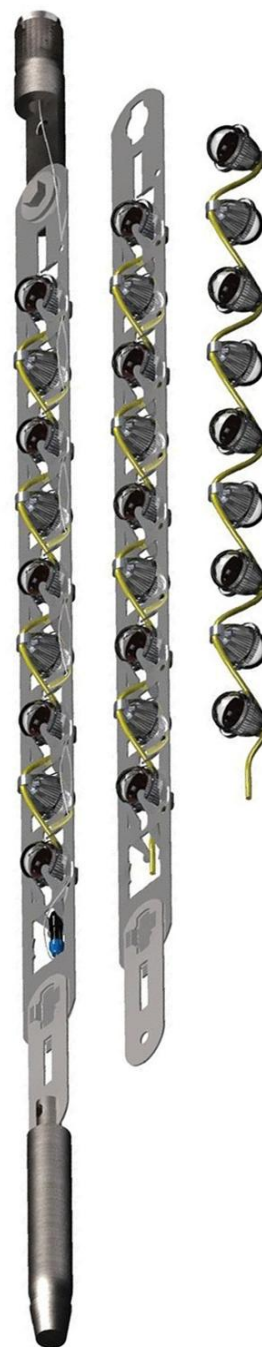


Рис. 10.24. Кумулятивный перфоратор типа ПКСУЛ-80

таллический каркас, на котором смонтированы заряды, деформируется и является деталью одноразового использования.

Малогабаритные кумулятивные **ПРК54С** и **ПРК54У** (рис. 10.25) предназначены для вскрытия пластов в нефтяных, газовых и других скважинах, закреплённых обсадной колонной труб и заполненных водой, нефтью или промывочной жидкостью, путём создания каналов в горной породе с целью установления гидродинамической связи пласта со скважиной. Перфораторы имеют небольшое фугасное воздействие на стенки обсадной колонны и могут применяться при малых гидростатических давлениях.

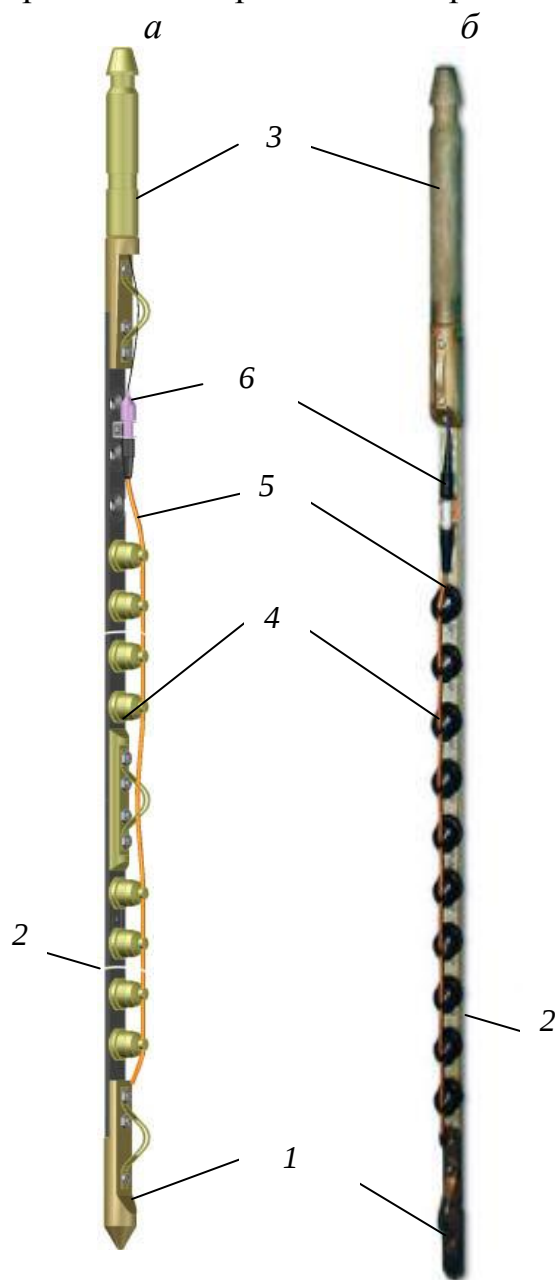


Рис. 10.25. Кумулятивные перфораторы типа ПРК54С (а), ПРК54У (б):
1 – наконечник; 2 – штампованный каркас;
3 – головка; 4 – заряды кумулятивные,
5 – детонирующий шнур; 6 – взрывной патрон



Рис. 10.26. Малогабаритные перфорационные системы с извлекаемым каркасом КП-С 43/54

Перфораторы отличаются повышенной пробивной способностью. Аналогичную конструкцию имеют малогабаритные перфорационные системы с извлекаемым каркасом КП-С 43/54 (рис. 10.26).

Перфоратор ПРК54С состоит из герметичных кумулятивных зарядов, размещенных на штампованном каркасе или на стальном каркасе сегментного проката. Варианты исполнения перфоратора отличаются условной длиной каркаса – 1 и 2 м. Перфоратор может применяться для вскрытия более мощных (протяжённых) пластов за один спуск (количество каркасов в сборке ПРК54С до 10, длина интервала до 10 м). Кумулятивные заряды крепятся на каркасе с помощью винтов, фазировка зарядов 0°. Герметичный взрывной патрон устанавливается в головке перфоратора. Перфоратор ПРК54У имеет аналогичную конструкцию, максимальная длина сборки 10 м.

Конструкция хвостовиков зарядов ЗПРК позволяет прокладывать двойной детонирующий шнур, что повышает надежность работы перфоратора. Особенность зарядов ЗПРК заключается также в самоудалении пестов из пробитых каналов.

Малогабаритный кумулятивный перфоратор **ПРК42С (ПРК42У)** с извлекаемым каркасом по конструкции аналогичен перфоратору **ПРК54С (ПРК54У)** и может применяться также для перфорации бурильных труб с целью восстановления циркуляции промывочной жидкости и ликвидации прихватов. Перфораторы ПРК самоориентируются в скважине, обеспечивая высокую производительность при работе с лубрикатом за счет большой собственной массы, что позволяет контролировать полноту и качество срабатывания всех зарядов.

Основные характеристики перфораторов с извлекаемым монтажным каркасом приведены в табл. 10.5

Таблица 10.5

Технические характеристики полуразрушающихся перфораторов

Показатель	Тип перфоратора				
	ПКСУЛ-105	ПКСУЛ-80 ПКСУЛ-80-1	ПРК65	ПРК54С	ПРК42С
1	2	3	4	5	6
1. Поперечный габарит, мм	105	80	65	54	42
2. Минимальный проходной диаметр, мм	124	98	76	62	50
3. Диапазон рабочего давления, МПа	20-80	<u>20-80</u> 25-80	5-80	5-80	5-80
4. Максимальная допустимая температура, °С	150	150	150	150	150
5. Плотность перфорации, отв/м	6,7	10/16	10	12	12
6. Фазировка зарядов, град	180	180	0	0	0

2	3	4	5	6	7
7. Марка заряда	<u>ПКС-100Н-ГП</u> ПКС-100Н-БО	<u>ПКС-80Н-ГП</u> ПКС-80Н-БО	ЗПРК 65	ЗПРК54	ЗПРК42
8. Масса ВВ одного заряда, г	23	$\frac{14}{15,5}$	19	14	9
9. Средняя глубина пробития по мишени API RP-43, мм	$\frac{750}{245}$	$\frac{530}{175}$	693	480	314
10. Средний диаметр входного отверстия по мишени API RP-43, мм	$\frac{13,2}{21,5}$	$\frac{8,5}{14}$	11,3	11	7,3
11. Максимальная длина сборки, м	30	30	10	10	10

Разрушающиеся кумулятивные перфораторы

Кумулятивные перфораторы типа КПРУ65 (рис. 10.27) имеют заряды в литых оболочках из алюминиевого сплава, которые собирают в длинные гирлянды с помощью соединительных обойм, изготовленных из этого же материала. Герметичный взрывной патрон устанавливается внизу в наконечнике и передает инициирующий импульс кумулятивным зарядам по детонирующему шнуру. В верхней части гирлянды размещается стальная головка, которая служит грузом, толкающим перфоратор при спуске его в скважину.

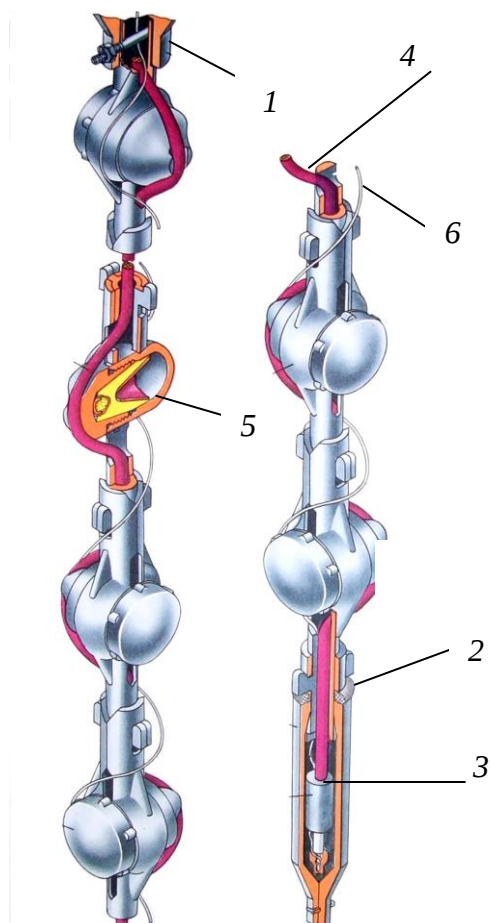


Рис. 10.27. Кумулятивный перфоратор КПРУ65:

1 – головка; 2 – наконечник;
3 – взрывной патрон; 4 – детонирующий шнур; 5 – заряд; 6 – взрывной провод

После взрыва зарядов в скважине остаются осколки от оболочек зарядов, соединительных обойм и наконечника. Для применения разрушающихся перфораторов типа КПРУ и других конструкций необходимо, чтобы в скважине имелся зумпф достаточных размеров для размещения осколков, которые оседают в нижнюю часть скважины и затем частично вымываются при ее освоении. Масса осколков, остающихся в скважине после отстрела 100 зарядов, составляет около 12 кг.

В случае необходимости очистки зумпфа осколки могут быть растворены в 25÷35 % растворе каустической соды при 20 °С в течение 5÷6 суток. При повышении температуры до 100 °С осколки рас-

творяются в этом растворе за 2÷3 часа. По сравнению с ленточными кумулятивными перфораторами типа ПКС перфоратор КПРУ65 имеет лучшее расположение зарядов (фазировка 90° вместо 180°), обладает повышенной гибкостью, относительная продольная жесткость позволяет не применять нижний груз. Перфоратор может применяться в скважинах при уже спущенной колонне насосно-компрессорных труб с внутренним диаметром не менее 72 мм, а также обладает высокой проходимостью после отстрела в искривленных и деформированных колоннах. На поверхность извлекается только головка с кабелем.

Разрушающиеся кумулятивные перфораторы **ПР54, ПР43** (рис. 10.28) в основном предназначены для скрытия пластов в скважинах через колонну обсадных труб с внутренним диаметром соответственно 62 и 50 мм, в том числе при герметизированном устье скважины лубрикаторм при депрессии на пласт, когда требуется повышенная проходимость перфоратора или осложнено его извлечение после прострела скважины малого диаметра.

Перфораторы могут также применяться для прострела бурильных труб или тяжелого низа для восстановления циркуляции промысловой жидкости и ликвидации прихвата.

Особенность перфораторов типа ПР заключается в том, что для инициирования кумулятивных зарядов применяют не детонирующий шнур, а соединительные обоймы с кольцевым детонатором, примыкающим к тыльной части оболочки заряда. Внутри каналов в обоймах размещены цилиндрические заряды из пластичного ВВ. Завод-изготовитель поставляет пятизарядные секции, из которых собирают гирлянды перфораторов необходимой длины.

На рис. 10.29 и 10.30 показаны другие конструкции полностью разрушающихся перфораторов.

Перфоратор типа ПРК54СА отличается от своего аналога полуразрушающегося перфоратора с извлекаемым каркасом ПРК54С тем, что представляет собой сборку из легкоразрушаемых труб, внутри которых размещены герметичные заряды ВВ, детонирующий шнур и взрывной патрон.

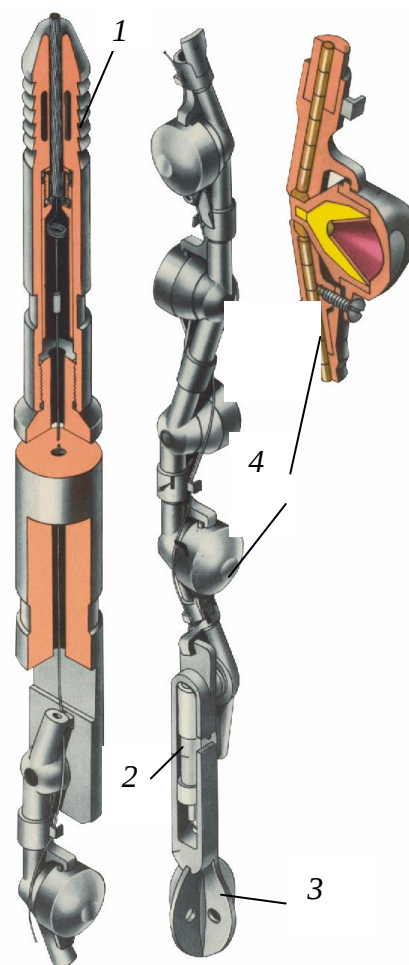


Рис. 10.28. Кумулятивный перфоратор ПР54:

- 1 – головка;
- 2 – взрывной патрон;
- 3 – наконечник;
- 4 – зарядный комплект

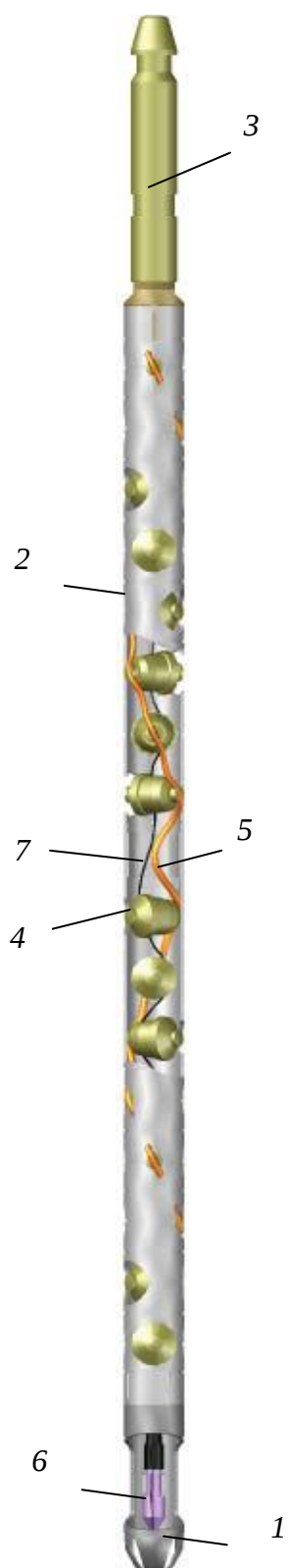


Рис. 10.29. Кумулятивный перфоратор типа ПРК54СА:

- 1 – наконечник; 2 – ленточный каркас;
- 3 – головка; 4 – заряды кумулятивные;
- 5 – детонирующий шнур;
- 6 – взрывной патрон



Рис. 10.30. Кумулятивные перфораторы:
а – КП-Л 43-54; б – ПСК-52

Перфоратор после срабатывания зарядов ВВ полностью разрушается с образованием незначительных осколков, которые оседают на забой скважины. На поверхность извлекается только головка многозарядового использования.

Малогабаритные перфораторы с разрушающимся каркасом типа КП-Л-43 и КП-Л-54 (типа Линк, фазировка зарядов 60°) применяются в аналогичных условиях, что и перфораторы ПР54, ПР43 при гидростатическом давлении до 80 МПа и температуре до 150 °С.

Малогабаритные разрушающие кумулятивные перфораторы ПСК-52 применяются для вторичного вскрытия продуктивных пластов через насосно-компрессорные трубы с минимальным проходным диаметром 60 мм соответственно при гидростатическом давлении до 45 МПа и температуре до 100 °С в неагрессивных средах.

Преимущества этой системы заключаются в том, что она обеспечивает фазовую ориентацию зарядов 60°, а по специальному заказу – 0°, 30°, 90°, 80° и благодаря применению специальных обойм оставляет в скважине осколки очень малых размеров.

Малогабаритные разрушающие кумулятивные перфорационные системы ПКМР43 и ПКМР54 с зарядами ЗПКМ 43-02 и ЗПКМ 54-02 (рис. 10.31) относятся к полностью разрушающимся кумулятивным перфораторам и применяются для перфорации обсадных насосно-компрессорных и бурильных труб с минимальным проходным диаметром 50 и 62 мм, соответственно, при гидростатическом давлении до 80 МПа и температуре до 185 °С в неагрессивных средах.

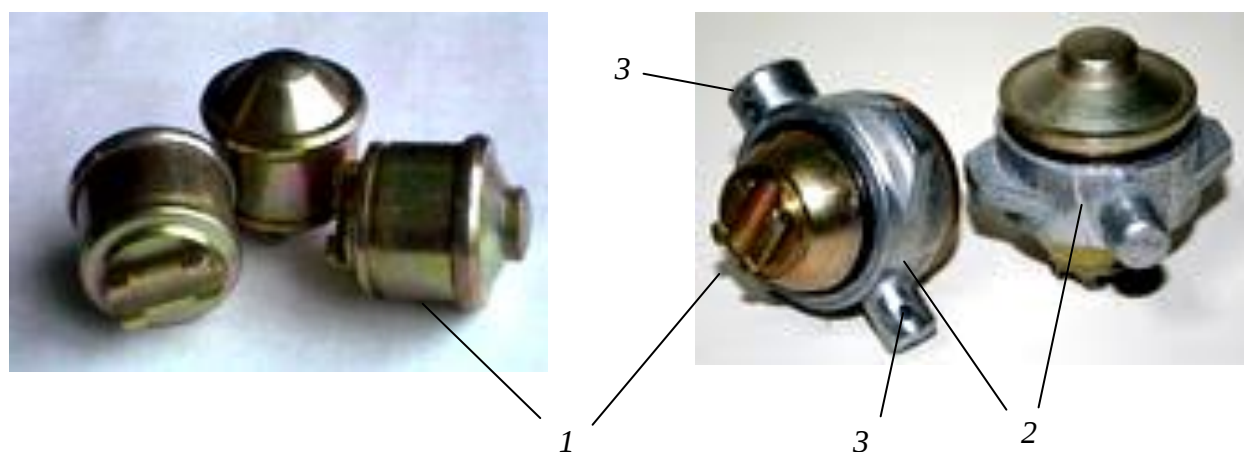


Рис. 10.31. Перфорационная система ПКМР54 (43):

1 – герметичный кумулятивный заряд; 2 – цинковая державка; 3 – отверстие под шплинт

Перфорационные системы ПКМР 43-DN-M и ПКМР 54- DN-M представляют собой устройства, в которых размещены кумулятивные заряды в герметичных оболочках, закрепленные в цинковых державках при помощи стопорных колец. Державки с зарядами соединены в гирлянду необходимой длины и скреплены между собой, с головной частью и наконечником при по-

мощи шплинтов. В наконечнике размещен герметичный взрывной патрон, к которому присоединен (встык) детонирующий шнур, огибающий всю гирлянду зарядов.

Перфорационная система спускается в скважину на бронированном кабеле с использованием кабельной головки ГК 40-2. Электрическая цепь в перфорационной системе, присоединенной к кабелю, образована токопроводящей жилой кабеля, электропроводом, первичной обмоткой узла защиты взрывного патрона, массой перфоратора и броней кабеля.

После отстрела головную часть перфоратора вместе с кабельной головкой извлекают из скважины.

10.3. Пулевые перфораторы

Принцип действия перфораторов, применяемых для вскрытия пластов в скважинах, заключается в метании пуль, кумулятивных или гидроабразивных струй в направлении стенки скважины и пробивании ими сети каналов, проходящих через стенки обсадной колонны, слой затрубного цементного камня и входящих на определенную глубину в продуктивный пласт.

Пулевые перфораторы делятся на перфораторы с горизонтальным расположением стволов и с вертикально-криволинейными стволами.

В пулевых перфораторах метание пуль производится за счет работы расширения пороховых газов высокого давления, образовавшихся при сжигании пороховых зарядов.

Для пулевых перфораторов требование высокого и стабильного пробивного действия имеет исключительное значение.

Таким образом, принцип пулевых перфораторов основан на использовании энергии пороховых газов для метания пуль, которые пробивают отверстия в стенке обсадной колонны и образуют каналы в цементном камне и горной породе, слагающей пласт.

Горение пороховых зарядов в перфораторах с горизонтальными и вертикально-криволинейными стволами происходит неодинаково. Так, в пулевых перфораторах с горизонтальными стволами, благодаря высокой плотности заряжания ($0,8 \div 1,2 \text{ г/см}^3$), горение пороха протекает очень быстро и почти заканчивается до начала движения пули. Давление пороховых газов в камере весьма велико и достигает 2000 МПа.

В пулевых перфораторах с вертикально-криволинейными стволами плотность заряжания меньше ($0,5 \div 0,8 \text{ г/см}^3$) и давление пороховых газов достигает 400÷600 МПа.

Перфоратор **ПВН90** (рис. 10.32), как и его термобаростойкая модификация **ПВН90Т**, включает в себя две массивные секции, соединенные переходником, головку с электропроводом и наконечник. В каждой секции параллельно оси в двух взаимно перпендикулярных плоскостях расположены попарно четыре ствольных начала, переходящие в криволинейные желоба. Две пары стволов, идущих от общих пороховых камер, направлены навстречу

друг другу, вследствие чего силы отдачи при выстреле уравниваются. Пороховые камеры связаны огнепроводящими каналами диаметром 3,5 мм. Максимальные длина и масса перфоратора ПВН90 составляют соответственно 10,0 м и 270 кг.

Перфоратор ПВТ73 в отличие от перфоратора ПВН90 имеет в одном поперечном сечении не четыре, а два ствольных канала, направленных навстречу друг другу.

При температуре в интервале перфорации до 50 °С масса основного заряда 85 г, от 50 до 80 °С – 80 г, от 80 до 110 °С – 75 г.

Применяются также перфоратор ПВК70 (рис. 10.33) и аппарат АРВ120 (рис. 10.34).

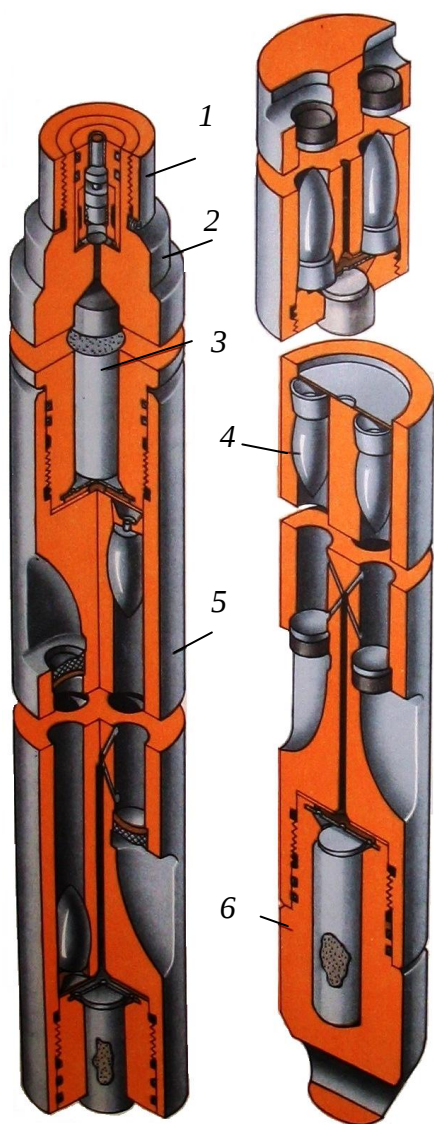


Рис. 10.32. Перфоратор ПВН-90:

- 1 – кабельный наконечник; 2 – головка;
3 – заряд; 4 – пуля; 5 – корпус;
6 – наконечник

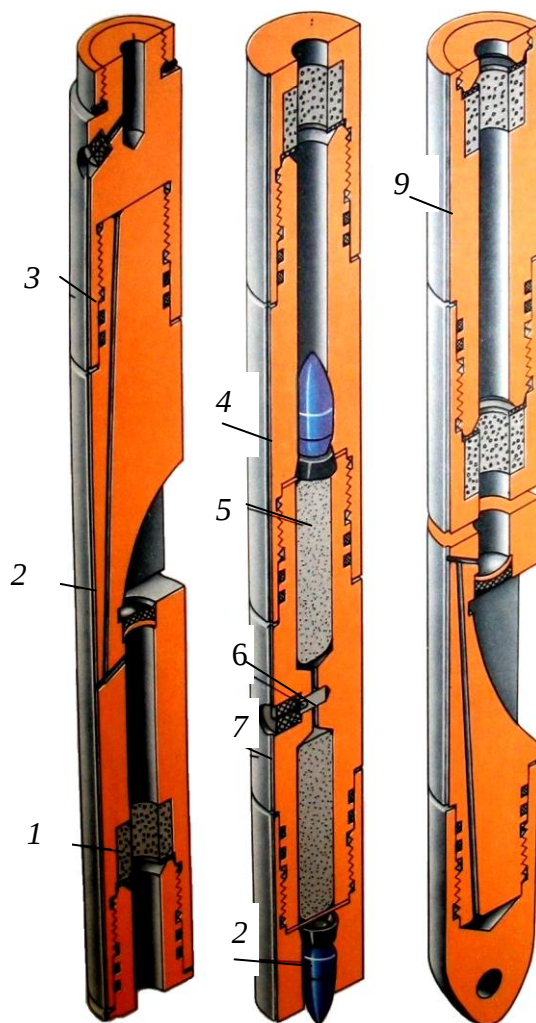


Рис. 10.33. Перфоратор ПВК70:

- 1 – кольцевой пороховой заряд; 2 – секция
конечная; 3 – головка; 4 – секция головная;
5 – основной пороховой заряд;
6 – электровоспламенитель; 7 – запальная
секция; 8 – пуля; 9 – секция переходная

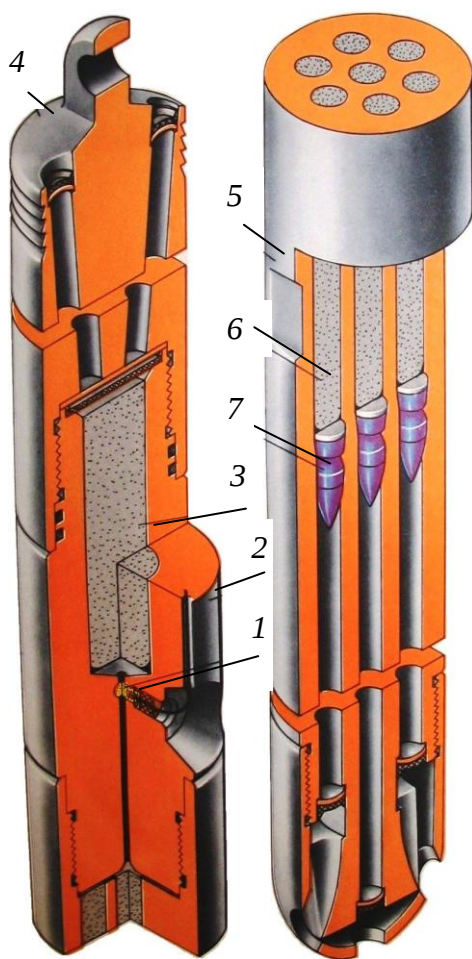


Рис. 10.34. Перфоратор АРВ120:
1 – электровоспламенитель; 2 – запальная секция; 3 – компенсирующий заряд;
4 – верхняя секция; 5 – корпус;
6 – основной заряд; 7 – пуля

Пробивное действие пулевых перфораторов, в отличие откумулятивных, весьма чувствительно к изменению угла встречи пули с преградой. Важным преимуществом мощных пулевых перфораторов с вертикально-криволинейными стволами является их высокое пробивное действие – большие глубины и диаметр канала, стабильного по сечению на всем протяжении. К особенностям всех пулевых перфораторов относятся сложность заряжания и неудобство обслуживания, связанное с их большой массой.

Таким образом, пулевые перфораторы по одним показателям уступаюткумулятивным перфораторам, а по другим превосходят их. Совершенство вскрытия пласта тем или иным перфоратором зависит от геологических условий.

Перфоратор ПВК70 имеет пули увеличенного диаметра и большей массы, а также дополнительные кольцевые заряды, расположенные на стыках секций вдоль ствольных каналов.

Семиствольный аппарат АРВ120 используют с целью дробления крупных глыб, коренных пород и валунов, в забоях неглубоких скважин, бурящихся при разведке месторождений цветных металлов, воды и других целей.

Аппарат имеет шесть боковых стволов с криволинейными желобами для отклонения полета пуль на 15° . Для уравнивания силы отдачи в переходник помещен заряд. Герметизация стволов осуществляется с помощью таких же уплотнительных пробок и стальных дисков, что и у перфоратора ПВН-90. Аппарат спускают в скважину с внутренним диаметром 146 мм и более на желоночном стальном канате или геофизическом кабеле и устанавливают на валуне, подлежащем разрушению. Длина аппарата АРВ120 составляет 1950 мм, масса – 180 кг.

Благодаря жесткости корпуса и высокой плотности пулевые перфораторы легко спускаются в скважину даже при утяжеленных вязких растворах.

10.4. Выбор методов ПВР, прострелочно-взрывной аппаратуры и режимов перфорации

Выбор метода, аппаратуры и режима перфорации определяют следующие цели:

- достижение требуемого гидродинамического совершенства скважины без нарушения ее конструкции (при допустимом нарушении) при максимальных технико-экономических показателях выполнения работ;
- обеспечение условий для успешного проведения дальнейших работ по опробованию, испытанию, освоению и эксплуатации скважины.

При выборе метода учитывают следующие геолого-технические данные скважины:

- вид и назначение (поисковая, разведочная, эксплуатационная);
- цель перфорации: вскрытие продуктивного пласта, дострел для повышения или восстановления добычи, переход на эксплуатацию вышележащих горизонтов, интенсификация притока из пласта, восстановление циркуляции жидкости в скважине и т. д.;
- коллекторские свойства, физико-механические характеристики пласта с учетом их изменений, произошедших после вскрытия пласта бурением, а также после периода эксплуатации скважины;
- размеры и расположение вскрываемых интервалов;
- геостатическое и пластовое давление;
- характеристики скважинной жидкости;
- температура и гидростатическое давление в скважине;
- конструкция скважины;
- минимальный внутренний диаметр в колонне труб;
- максимальный угол наклона оси скважины к вертикали.

Перфорация при депрессии может применяться для вскрытия любых пластов и предпочтительна в следующих случаях:

- если не обеспечивает гидродинамической связи скважины с пластом;
- ожидаемое пластовое давление аномально высокое или аномально низкое;
- при несоответствии между данными геофизических исследований и результатами испытаний пласта после выполнения первичной перфорации;
- при дострелах в процессе капитального ремонта скважин.

Величина депрессии должна быть ограничена, чтобы избежать закупорки перфорационных отверстий, предотвратить выпадение газоконденсата и тяжелых фракций нефти в прискважинной зоне пласта, а также не допустить уплотнений породы из-за большой разницы между горным и пластовым давлениями.

При вскрытии газовых и газоконденсатных пластов величину депрессии следует ограничивать 10 % от величины пластового давления. При вскрытии нефтяных пластов оптимальная величина депрессии составляет $2 \div 3,5$ МПа, но не более 10 МПа.

Перфорация при репрессии применяется, когда пласт обладает хорошими коллекторскими свойствами, мало загрязнен и способен самоочищаться в процессе дальнейшего освоения.

Перфорацию при репрессии можно проводить при вскрытии тонкослоистых, неоднородных и однородных пластов всех категорий, в том числе насыщенных флюидами с агрессивными свойствами, а также приконтактных зон этих пластов с использованием в условиях высоких пластовых давлений высокоплотных растворов.

Величина репрессии должна исключить фонтанирование скважины или проникновение в пласт больших объемов жидкости из скважины.

Величина репрессии в зависимости от глубины скважины не должна превышать $1,5 \div 3,5$ МПа, или $15 \div 4$ %.

Перфорация на депрессии – наиболее прогрессивный способ вторичного вскрытия пласта, поскольку в момент создания перфорационных каналов под действием больших градиентов давления возникает интенсивный приток нефти или газа из пласта в скважину, в результате чего происходит самоочистка перфорационных каналов и породы призабойной зоны.

В дополнение к указанному достоинству необходимо отметить, что для газовых скважин и нефтяных фонтанных скважин процесс вторичного вскрытия пласта совмещается с процессом вызова притока нефти или газа из пласта в скважину. Рассмотрим технологию и технику перфорации на депрессии.

Вскрытие пластов при депрессии осуществляют в двух вариантах: перфораторами, спускаемыми на кабеле через лубрикатор и НКТ, а также перфораторами, спускаемыми в скважины на НКТ.

До спуска перфоратора скважину оборудуют колонной НКТ, а на устье устанавливают фонтанную арматуру. На место буферного патрубка устанавливают лубрикатор – устройство, позволяющее спускать в работающую скважину какие-либо приборы при наличии давления на устье.

Снижением уровня раствора в скважине (замена на облегченный раствор, полное удаление раствора из скважины и заполнение ее воздухом, природным газом или азотом) создается необходимый перепад между пластовым и забойным давлениями, выбранный применительно к данным геолого-техническим условиям. В скважину через лубрикатор необходимой длины (максимальное число одновременно спускаемых кумулятивных зарядов не должно превышать $150 \div 300$) на каротажном кабеле спускают малогабаритный перфоратор с установкой его против перфорируемого интервала.

После срабатывания перфоратора пласт начинает сразу же проявлять себя и происходит интенсивный процесс очистки перфорационных каналов и породы пласта вокруг скважины в высокопродуктивных нефтяных и особенно газовых добывающих скважинах по мере заполнения ствола скважины.

Малогабаритные кумулятивные перфораторы типа ПР, КПРУ, ПРК, ПКС, а также корпусные ПКО и ПКОС, спускаемые на кабеле через лубрикатор и НКТ, предпочтительно применять:

- в разведочных скважинах, если соблюдаются указанные выше условия;
- в эксплуатационных скважинах, когда планируется дальнейшая ее эксплуатация, переход на вышележащие горизонты без извлечения НКТ и не заглушая продуктивные пласты;
- при дострелах в процессе испытаний, освоения и капитальных ремонтов скважин;
- когда после проведения перфорации планируется спуск через НКТ приборов и инструментов;
- когда для вскрытия пласта требуется несколько спусков-подъемов перфоратора без глушения скважины;
- при заполнении скважин газом.

В случаях плохого состояния цементного кольца обсадной колонны, а также при высоких давлениях и температуре целесообразно применять перфораторы типа ПКОС и ПВК.

Нецелесообразно использовать перфораторы, спускаемые через НКТ, при вскрытии приконтактных зон (ГНК, ВНК), наличии в интервале перфорации двух и более обсадных колонн, вскрытии пластов, насыщенных агрессивными флюидами из-за возможных утечек через лубрикатор.

Для вскрытия пластов на депрессии по второму варианту применяют перфораторы, спускаемые на насосно-компрессорных трубах. В скважину, заполненную буровым раствором, спускают колонну насосно-компрессорных труб, в нижней части которой крепится перфоратор типа ПКТ, с установкой его против вскрываемого интервала. Устье скважины обвязывают фонтанной арматурой на необходимое давление. Путем удаления части жидкости из скважины прямой или обратной циркуляцией или замены ее на более легкую создают необходимую депрессию на пласт, обычно не превышающую 10 МПа, при этом давление на забое должно быть не менее 10 МПа.

Перфорация на депрессии со спуском перфоратора на НКТ выполняется:

- когда требуется высокая пробивная способность перфоратора;
- недопустимо повреждение конструкции скважины;
- в скважине нет зумпфа;
- в скважинах с большим углом наклона (более 40°), так как проходимость перфораторов, спускаемых на кабеле, затруднена;
- требуется вскрытие большого интервала за один спуск.

Применение перфораторов, спускаемых на НКТ, противопоказано:

- если после вскрытия пласта планируется спуск в интервал перфорации геофизических приборов без подъема НКТ;
- в результате вызова притока пластового флюида ожидается вынос из пласта в скважину больших объемов твердой фазы промывочной жидкости или шлама породы;
- гидростатическое давление в скважине в месте установки перфоратора менее 10 МПа после создания депрессии и возникает возможность разрушения корпуса перфоратора;

– вскрытие нефтяных пластов с агрессивными компонентами (углекислый газ, сероводород) производится при отсутствии герметизации затрубного пространства.

Для вскрытия пластов при репрессии применяют кумулятивные перфораторы, спускаемые на кабеле:

- корпусные: ПК, ПКО, ПКОТ, ПКОС;
- бескорпусные: ПКС, КПРУ, ПР, ПРК и другие аналоги. Корпусные перфораторы применяют в условиях недопустимости повреждения обсадной колонны и цементного затрубного камня.

Для вскрытия пластов малой мощности и с неоднородными коллекторскими свойствами применяют перфораторы типа ПК, при большей толщине пласта – типа ПКО и ПКОС.

Для вскрытия однородных пластов большой мощности (5 м и более) применяют высокопроизводительные перфораторы ПКС и КПРУ.

Пулевые перфораторы (ПВК, ПВН) предпочтительно применять, когда необходимо получить длинные каналы с сеткой трещин вокруг них в пластах с плохими коллекторскими свойствами или большой толщине зоны со сниженной во время бурения проницаемостью, значительной толщине затрубного цементного камня, наличии двух-трех обсадных колонн в зоне перфорации, подготовке к гидроразрыву пласта или соляно-кислотной обработке в нагнетательных скважинах.

Область применения пулевых перфораторов ограничена пластами, сложенными породами, которые имеют твердость менее 450 МПа.

При определении поперечного габарита перфоратора должны быть обеспечены минимально допустимые зазоры для каждого типа аппарата между колонной и аппаратом, обеспечивающие его проходимость в скважине.

При определении требуемой термобаростойкости перфоратора и зарядного комплекта к нему учитывают возможные изменения температуры и давления, произошедшие с момента их измерения, а также продолжительность спуска аппаратуры и возможные остановки, особенности при спуске на НКТ.

Окончательный выбор типоразмера перфоратора из группы аппаратов, подходящих по рассматриваемым факторам, делают в пользу того, который обладает наибольшими пробивной способностью и производительностью, а также минимальной стоимостью всей операции.

11. ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПЛАСТ ГАЗООБРАЗНЫМИ ПРОДУКТАМИ ГОРЕНИЯ

11. 1. Общие сведения

Одним из наиболее эффективных способов увеличения приемистости или отдачи пластов является повышение проницаемости прискважинной зоны (ППЗ) пласта за счет импульсного воздействия газообразных продуктов, образующихся при сжигании зарядов твердотопливных и жидких горючеокислительных систем.

Широкое распространение получили способы воздействия на пласт пороховых газов. Способ основан на механическом, тепловом и химическом воздействиях газов на горные породы.

Механическое воздействие продуктов горения на пласт проявляется в расширении существующих и образовании новых трещин, разрушении водных и водно-нефтяных барьеров, а также в очистке прискважинной зоны пласта от песчано-глинистых частиц, продуктов коррозии и химических реакций.

Пороховые газы под высоким давлением, расширяясь, продавливают жидкость, находящуюся в скважине, в пласт через фильтры в обсадной колонне, производят разрыв пласта с получением раскрытых трещин и термохимическое воздействие на пласт. Получение несмыкающихся трещин достигается, когда создаваемое в скважине давление равно полному горному давлению p_r или несколько выше него. В некоторых случаях успешный разрыв пласта пороховыми газами достигается при давлениях, несколько меньших горного давления (но не ниже $0,85p_r$).

Тепловое воздействие продуктов горения на пласт заключается в расплавлении парафиновых и асфальто-смолистых отложений и снижении вязкости нефти в ППЗ посредством передачи тепла пластовым жидкостям, породам и твердым отложениям через поверхности трещин и поровых каналов от движущихся по ним продуктам горения с начальной температурой около 2500°C .

Физико-химическое воздействие продуктов горения, состоящих в основном из углекислого газа, азота и хлористого водорода, обусловлено растворением гипса, карбонатных пород и цемента, снижением вязкости нефти и ее поверхностного натяжения на границах контактов с горной породой.

Интенсивность термохимического воздействия на пласт зависит от количества, состава и состояния газообразных продуктов, длительности воздействия, состава скважинной жидкости, пород пласта и насыщающих его флюидов.

Импульсное газодинамическое воздействие способствует восстановлению и улучшению фильтрационных свойств в ППЗ, ухудшенных при строительстве и эксплуатации скважины, и повышению их производительности. Для реализации поставленной задачи применяется широкая номенклатура технических средств: генераторы давления различного назначения и конструкций.

11.2. Пороховые генераторы давления

Пороховые генераторы давления подразделяют на корпусные и бескорпусные.

При применении бескорпусных пороховых генераторов по сравнению с корпусными существенно увеличивается при одинаковых поперечных габаритах масса заряда, приходящаяся на 1 м длины скважины, и соответственно возрастает общая энергия, воздействующая на пласт.

Бескорпусные пороховые генераторы (аккумуляторы) давления (см. табл. 11.1) подразделяют на герметичные (ПГД.БК) и негерметичные (АДС).

Таблица 11.1

Основные технические характеристики пороховых генераторов

Параметр	ПГД.БК-100М	ПГД.БК-150М	АДС-5	АДС-6	ПГРИ-100
Наружный диаметр, мм	95	95	112	112	98,5
Минимальный диаметр обсадной колонны, мм	118	118	130	130	118
Допустимое гидростатическое давление, МПа					
максимальное	80	100	100	10	80
минимальное	5	5	3	3	10
Предельная температура, °С	100	150	100	100	100
Воспламенитель	ПП-9	ППТ-230	Электрическая спираль накаливания		

Аппараты **ПГД.БК** (рис. 11.1) предназначены для работ при температурах до 150 °С и гидростатических давлениях до 100 МПа, а АДС до 100 °С и 10-100 МПа.

Бескорпусные герметичные генераторы давления типа ПГД.БК состоят из нескольких соединенных между собой цилиндрических пороховых зарядов (ПЗ), имеющих центральное отверстие, каждый из которых изолирован от внешней среды тонкой неметаллической оболочкой, обеспечивающей горение заряда с возрастающим газоприходом.

Давление окружающей среды воспринимает ПЗ и опорная труба, размещенная в его канале. Соединение зарядов между собой осуществляется с помощью штуцеров.

Поджигание ПЗ осуществляют с помощью пиропатрона, установленного в кабельном наконечнике, и пиротехнических воспламенителей, расположенных в загерметизированной опорной трубе.

Генератор давления **ПГД-42Т** предназначен для создания системы остаточных трещин в ППЗ при спущенных НКТ с проходным диаметром 50 мм и более (рис. 11.2). Конструкция генератора ПГРИ-100 показана на рис. 11.3.

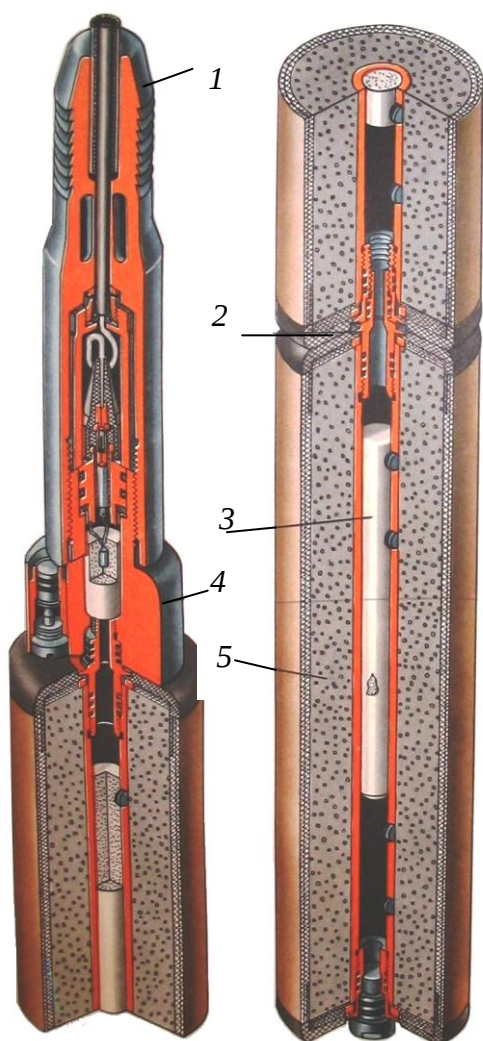


Рис. 11.1. Бескорпусной герметичный пороховой генератор ПГД.БК:

- 1 — кабельный наконечник; 2 — муфта;
3 — пиротехнический воспламенитель;
4 — головка с пиропатроном;
5 — пороховой состав



Рис. 11.2. Генератор давления ПГД-42Т



Рис. 11.3. Генератор ПГРИ-100

Бескорпусные негерметичные генераторы давления типа АДС имеют пороховые заряды, находящиеся в контакте с внешней средой и под ее давлением (рис. 11.4).

Заряд АДС-5 состоит из основного заряда в виде сплошной цилиндрической шашки и дополнительной — с центральным каналом. В АДС-6 весь заряд составлен из шашек с центральным каналом.

Соединение ПЗ осуществляют с помощью поддона и стальных тросов, которые размещают в наружных продольных пазах ПЗ.

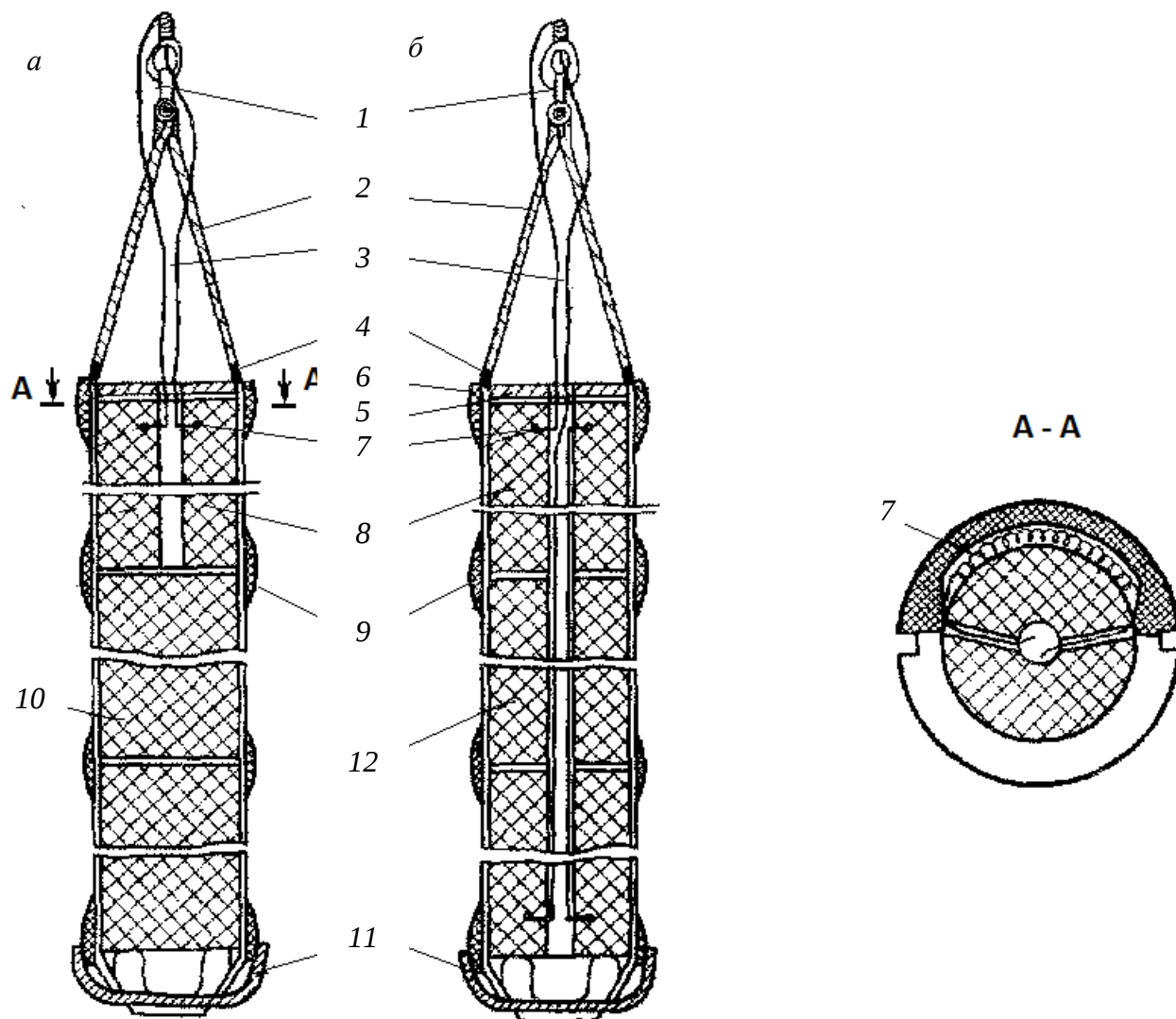


Рис. 11.4. Аккумуляторы давления АДС-5 (а), АДС-6 (б):
 1 – скоба; 2 – канат; 3 – провод; 4 – проволока; 5 – крышка; 6 – обойма; 7 – спираль накаливания;
 8 – воспламеняющий пороховой заряд АДС-6В; 9 – втулка; 10 – пороховой заряд АДС-5;
 11 – поддон; 12 – сгорающий пороховой заряд АДС-6С

Поджигание заряда осуществляется с помощью электрических воспламенительных спиралей накаливания, вмонтированных в верхний заряд. Горение основных пороховых зарядов начинается с торцовых поверхностей, а затем распространяется и на боковые.

Аккумулятор давления АДС-6 собирают у устья скважины. На стальной канат надевают нижнюю обойму, втулки, верхнюю обойму; петли стального каната соединяют с кабелем. Подвесной блок устанавливают так, чтобы поддон находился на уровне фланца обсадной колонны. В поддоне закрепляют нижнюю обойму и устанавливают воспламеняющий пороховой заряд АДС-6В, предварительно присоединяют два конца электропровода к спирали и пропускают через канал порохового заряда.

Стальной канат укладывают в пазы, сверху надевают втулку и сборку спускают в скважину так, чтобы верхний торец порохового заряда на-

ходилась выше фланца обсадной колонны на 50÷100 мм. Также устанавливают необходимое число сгорающих зарядов АДС-6С, последним помещают воспламеняющий заряд АДС-6В, закрепляют верхнюю обойму и крышку. Спирали накаливания воспламеняющих зарядов АДС-6В соединяют последовательно.

Аккумулятор давления АДС-5 собирают в аналогичном порядке, но нижний воспламенитель не устанавливают. Комплект поставки аккумулятора давления АДС-5 включает пять сгорающих пороховых зарядов АДС-5 и один воспламеняющий АДС-6В, аккумулятора давления АДС-6 – четыре сгорающих заряда АДС-6С и два воспламеняющих АДС-6В

Обработку пласта давлением пороховых газов выполняют в следующих случаях:

- при пониженной проницаемости в прискважинной зоне по сравнению с удаленными точками пласта;
- плохой проницаемости прискважинной зоны пласта при бурении, освоении и эксплуатации скважин;
- расположении вблизи скважины, характеризующейся высокой продуктивностью, скважины, имеющей низкую продуктивность.

Спуск в скважину генераторов давления производят на геофизическом кабеле. Зону горения ПЗ в скважине не отделяют от остальной части скважины пакером, так как его роль частично выполняет скважинная жидкость.

Максимальное давление в скважине, создаваемое при горении ПЗ, измеряют крешерным прибором, который закрепляют на кабеле на расстоянии 5 м от верхнего ПЗ.

Регистрацию изменения давления во времени осуществляют тензометрическим датчиком давления ДМТ, размещенном в кабельном наконечнике. Спуск генератора с датчиком ДМТ производят на трехжильном бронированном кабеле.

Контроль за баротепловым воздействием продуктов горения на пласт осуществляют сравнением профилей температур в скважине до и после сжигания ПЗ.

Генераторы давления ПГД.БК и АСД-6 создают кратковременное давление в скважине, превышающее полное горное давление p_r , и оказывают на ППЗ преимущественно механическое воздействие. Эти генераторы применяют с целью разрыва пласта.

Генераторы АДС-5 следует применять для термогазохимической обработки пласта, когда фильтрационные свойства пласта ухудшились из-за отложения смол, парафина и т. п., так как продолжительность горения ПЗ составляет несколько десятков секунд, а создаваемое давление меньше p_r и не приводит к разрыву пласта.

Перед обработкой участок пласта толщиной 2÷3 м необходимо дополнительно вскрыть перфораторами ПК, ПКО или ПКС, доведя плотность перфорации до 30 отв/м.

Водонефтяной и газонефтяной контакты должны быть не ближе 5 м от обрабатываемого пласта при условии хорошего сцепления цементного камня

с обсадными трубами и горной породой, отсутствия нарушений обсадных труб вне интервала перфорации.

Комплекс геофизических исследований включает: определение технического состояния обсадных труб, контакта цементного камня с ними и с горной породой и профиля теплового поля скважины до и после воздействия на пласт порохowymi газами.

Перед обработкой скважина должна быть очищена, промыта и заполнена водой, обработанной поверхностно-активными веществами (ПАВ) или водным раствором хлористого кальция. Тип ПАВ следует выбирать с учетом свойств горных пород, пластовых флюидов, значений пластовых давлений и температур.

При обработке трещиноватых карбонатных пород целесообразно часть скважины против пласта заполнить нефтекислотной эмульсией.

При термогазохимической обработке часть скважины нужно заполнить нефтью, растворителем (керосином, конденсатом и т. п.) или соляно-кислотным составом.

Генераторы **ПГД.БК** и **АСД-6** следует устанавливать на 2÷4 м выше интервала уплотненной перфорации. Обработку целесообразно проводить дважды, увеличивая на втором этапе массу сжигаемых ПЗ на 1÷2 заряда.

При обработке пласта мощностью 10 м и более рекомендуется выполнять не менее трех операций.

При применении генератора **АДС-5** пороховой заряд располагают против всего интервала перфорации.

После обработки необходимо определить профиль отдачи или приемистости пласта и коэффициента продуктивности. Через 15÷20 суток эксплуатации скважины целесообразно провести обработку пласта раствором ПАВ, соляной кислотой или азрированными растворами. При снижении со временем производительности скважины обработку следует повторить.

В корпусных генераторах давления пороховые заряды размещаются в стальных, соединенных между собой корпусах (секциях), которые изолируют заряды от окружающей среды – скважинной жидкости и служат камерами сгорания. Истечение пороховых газов в окружающую среду происходит через сопла с коническим раструбом, размеры которых обеспечивают давление p_c , создаваемое в скважине, но не более 0,8 от давления в камере сгорания РК, причем величина p_k не зависит от гидростатического давления в скважине p_r . Поджигание порохового заряда осуществляется воспламенителем, расположенным со стороны, противоположной соплу. Истечение газов из камер сгорания происходит через сопла и боковые окна в переходниках. В сопла вставлен сменный вкладыш, позволяющий изменить критический диаметр сопла с целью регулирования давления p_k , а значит, и p_c .

К нижней части корпусного генератора, как правило, присоединяют корпусной кумулятивный перфоратор, с помощью которого в момент перед разрывом пласта простреливаются каналы в стенках скважины, благодаря чему повышается эффективность всей операции.

11.3. Комплексные системы воздействия на пласт

В настоящее время применяется технология, совмещающая в себе вторичное вскрытие продуктивных пластов кумулятивной перфорацией и одновременную обработку (разрыв) пласта продуктами горения твердотопливных зарядов ГП-105, ПГК-102, МКАВ-150/100 (рис. 11.5 и табл. 11.2). В варианте такого совмещения газодинамическое воздействие продуктов горения оказывает влияние прежде всего на перфорационные каналы, обеспечивая их дальнейшее «углубление» в $1,5 \div 2,0$ раза за счет образования магистральной трещины и кратное увеличение коэффициента продуктивности скважины. Не происходит снижения проницаемости в период между вскрытием пласта и обработкой ПГД, имеется возможность применения в активных жидкостях (растворы хлорида Na, Ca и HCl).

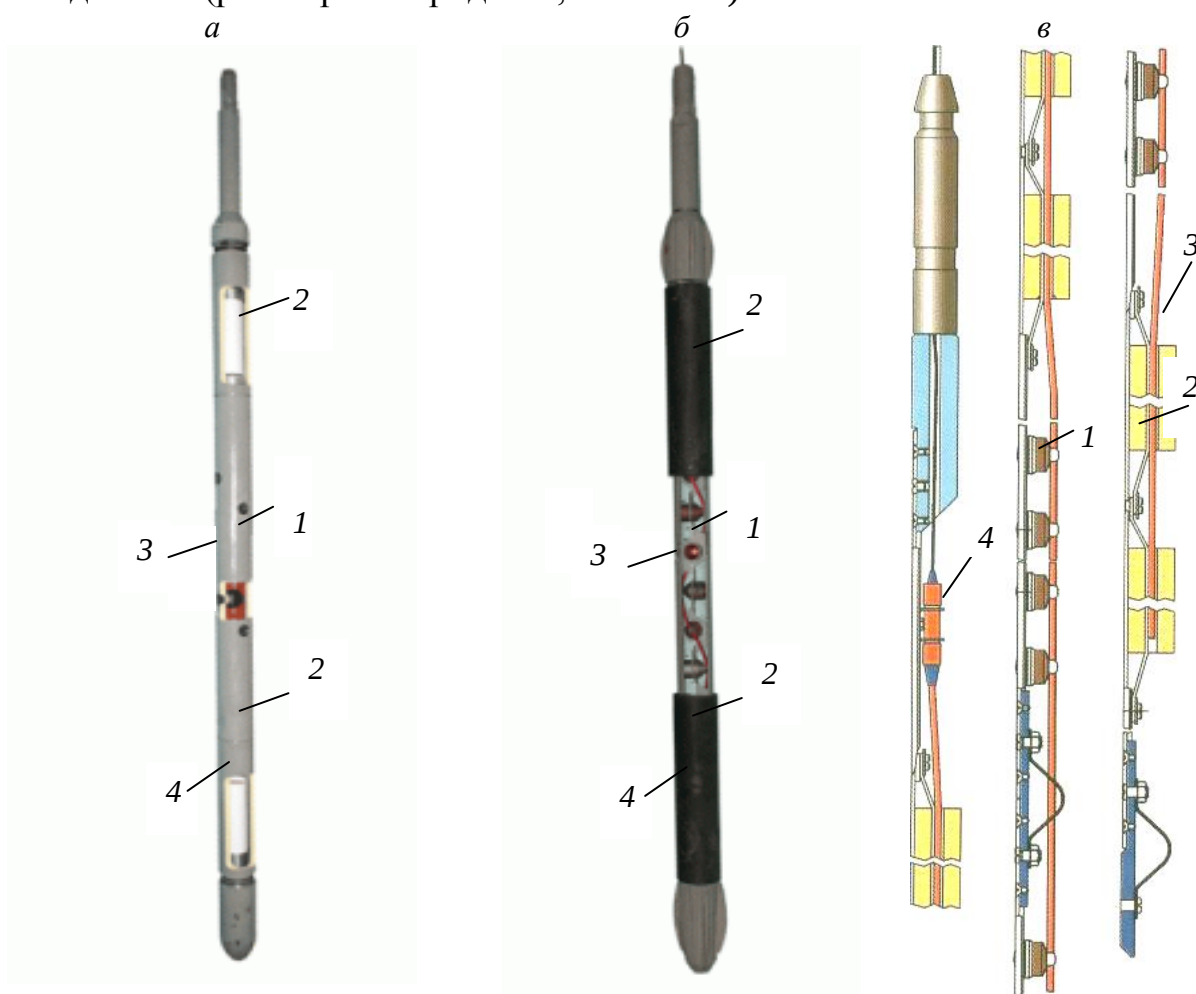


Рис. 11.5. Аппараты комплексного воздействия на пласт:

а – газогенератор перфораторный ГП-105:

1 – заряд кумулятивный ЗПК105Н-ГП (ЗПК105Н-БО), 2 – заряд ЗГП105,
3 – шнур детонирующий ДШТ-200 или ДШТВ 150/800, 4 – патрон ПВПД-Н;

б – перфоратор-генератор комплексный ПГК-102:

1 – заряд ЗПКТ73 БО и ГП, 2 – заряд ЗПГК- 102/90 или ГГЭ-90/170,
3 – шнур детонирующий ДШТ-200, 4 – патрон ПВПД-Н;

в – аппарат малогабаритный комплексного воздействия МКАВ-150/100:

1 – заряд кумулятивный ЗКУ40, 2 – заряд ЗПГД-42/200 350 мм,
3 – шнур детонирующий ШЭЛ-170/150 или ДШТВ 150/800, 4 – патрон ПГН-150

Технические характеристики комплексных систем

Показатели	ГП-105	ПГК-102	МКАВ-150/100
Наружный диаметр, мм	105	102	45
Средний диаметр в отверстия, мм	10/22	11/19	7
Наибольшая длина отверстия, мм	700/237	650/180	150
Масса ВВ в заряде, г	22	18	8
Плотность перфорации, отв/м	12	12-16	12
Фазировка отверстий, град	60	60; 90	0
Суммарная масса пороховых зарядов, кг	5	18	8
Максимально допустимое давление, МПа	55	80	100
Максимально допустимая температура, °С	150	150	150

Газогенератор перфораторный ГП-105 (см. рис. 11.5, а) состоит из перфораторного модуля (ПК-105) с наиболее мощными кумулятивными зарядами ЗПК 105Н-БО (средний диаметр входного отверстия 19,5 мм) и газогенераторного модуля, содержащего две пороховые камеры с зарядами из твердого ракетного топлива ЗБС 100Тр/65.

При одном спуске аппарата в скважину совмещается несколько операций, а именно: кумулятивная перфорация, газодинамическая обработка ПЗП пороховыми газами и импловизирующее воздействие на пласт за счет мгновенной депрессии, образуемой устройством. Поток газообразных продуктов взрыва и горения зарядов, движущийся в пласт вслед за кумулятивной струей, разрушает зону уплотнения породы вокруг перфорационных каналов и создает дополнительную сетку трещин вокруг них. Устройство ГП-105 и порядок его работы показаны на рис. 11.6.

Основными преимуществами ГП-105 являются:

- многократность использования корпуса;
- незначительная засоряемость скважины, так как все осколки от зарядов и шлам из породы собираются в нижней пороховой камере;
- «фокусировка» газовой струи от сгорающих зарядов в зонах перфорационных каналов через ствольные отверстия в корпусе перфоратора.

Перфоратор генератор комплексный ПГК-102 (см. рис. 11.5, б) предназначен для спуска на НКТ или кабеле, в том числе для горизонтальных скважин, и состоит из секций перфоратора ПКТ (ПКО) и пороховых зарядов. Совмещаются операции вскрытия и интенсификации притока с тепловым и физико-химическим воздействием на призабойную зону пласта. Мощность интервала, вскрываемого и обрабатываемого за 1 спуск, – до 10 м.

Малогабаритный аппарат МКАВ-150/100 (см. рис. 11.5, в) предназначен для вскрытия пластов в скважине с одновременной обработкой перфорационных каналов пороховыми газами через НКТ. Состоит из сборки, включающей перфоратор ПРК-54 (42) и пороховые заряды массой 0,8 кг. Максимальное количество кумулятивных зарядов, одновременно спускаемых в скважину, – 80 шт. Максимальная суммарная масса пороховых зарядов 9 кг.

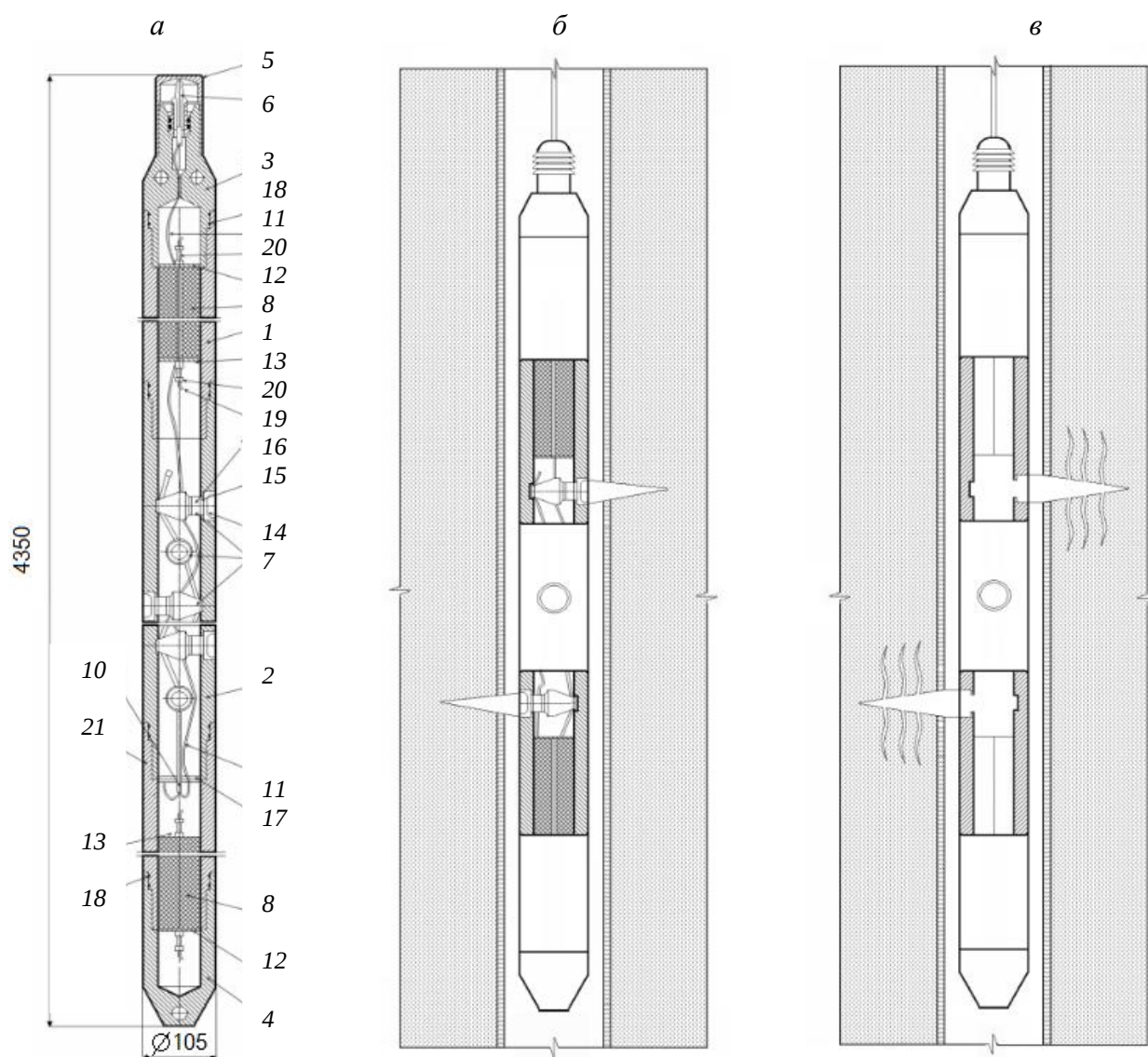


Рис. 11.6. Газогенератор перфораторный ГП-105:

а – устройство: 1 – корпус пороховых зарядов верхний, 2 – секция перфоратора ПК-105, 3 – головка, 4 – наконечник, 5 – колпак предохранительный, 6 – электроввод, 7 – заряд кумулятивный, 8 – заряд пороховой, 9 – шнур детонирующий, 10 – патрон взрывной, 11 – провод электрический, 12 – шайба наружная, 13 – пластина опорная, 14 – пробка, 15 – диск, 16 – втулка, 17 – кольцо пружинное, 18 – кольцо уплотнительное, 19 – провод монтажный, 20 – фиксатор, 21 – корпус пороховых зарядов нижний;
б – перфорация (1-я фаза); *в* – газохимическая обработка (2-я фаза)

Максимальная мощность интервала, вскрываемого и обрабатываемого за 1 спуск, 12 м, максимально допустимая температура и давление соответственно 150 °С и 100 МПа.

Перфораторы **ПГМ102СК** и **ПГМ102СТ** (рис. 11.7), спускаемые, соответственно, на кабеле и на трубах, предназначены для вторичного вскрытия продуктивных пластов в обсаженных скважинах, заполненных жидкостью, и одновременной термогазодинамической обработки с целью улучшения гидродинамической связи пласта со скважиной. Сборка перфоратора форми-

руется из снаряженных в условиях завода-изготовителя модулей, применяемых в перфораторе ПМ73СК (ПМ73СКА), и газогенерирующих зарядов ЗП92С, которые надеваются на корпус модулей.

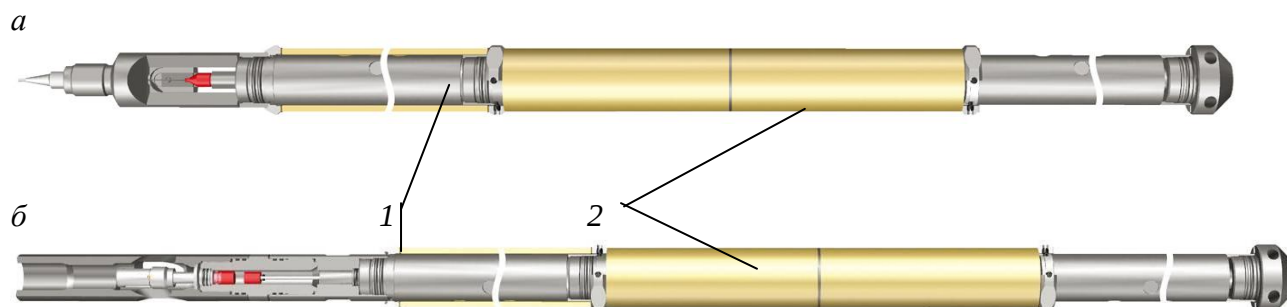


Рис. 11.7. Перфораторы ПГМ102СК (а) и ПГМ102СТ (б):
1 – перфораторный модуль; 2 – газогенерирующий заряд

При срабатывании перфоратора генератора образуемые кумулятивными зарядами каналы и трещины сразу же расширяются давлением газогенерирующих зарядов. В перфораторе применяются модули, снаряженные зарядами ГП или БО.

11.4. Воздействие на пласт с применением горюче-окислительных составов

Технология газодинамического разрыва пласта с применением горюче-окислительных составов (ГОС) заключается в том, что в скважину через насосно-компрессорные трубы (НКТ) в интервал обработки закачиваются с помощью цементирующего агрегата жидкие энергоносители и поджигаются специальным воспламенителем. В качестве воспламенителя применяется генератор давления в специальной компоновке (рис. 11.8). Допускается использовать пороховые генераторы давления типа ПГДБК или АДС. Масса порохового воспламенителя должна быть не менее 7÷12 кг. Рекомендуется поджигание ГОС производить в точке, расположенной на 15÷30 м ниже верхнего уровня столба ГОС.

Продукты горения, как и при использовании твердотопливных генераторов давления, оказывают комплексное воздействие на скважину и пласт: механическое, тепловое и физико-химическое.

По сравнению с твердыми топливами жидкие энергоносители имеют следующие преимущества:

- сплошной и достаточно протяженный интервал обработки скважины и, как следствие, получение существенно более продолжительного по времени импульса давления;

- оперативное регулирование соотношений между компонентами ГОС перед закачкой в скважину, что позволяет регулировать величину максимального давления в зоне обработки скважины;

– получение непосредственно на месте применения реакционно-способных высокоэнергетических композиций из компонентов, которые в обычных условиях являются взрыво- и пожаробезопасными или малоопасными.

Несмотря на то, что температура горения твердотопливных составов может достигать $2000 \div 2500$ °С и существенно выше температуры горения ГОС ($1100 \div 1300$ °С), температура газожидкостной смеси на выходе из перфорационных отверстий составляет $500 \div 700$ °С, т.е. в $1,5 \div 2$ раза ниже температуры продуктов горения ГОС. Это объясняется тем, что маловязкий ГОС полностью заполняет сечение скважины, в то время как площадь сечения твердотопливных газогенерирующих устройств (ПГД) не превышает половины сечения скважины.

Основное влияние на интенсификацию притоков оказывает механическое воздействие продуктов горения, приводящее к образованию трещин в прискважинной зоне пласта. Вклад физико-химического фактора воздействия продуктов горения твердых топлив и ГОС на ПЗП невелик.

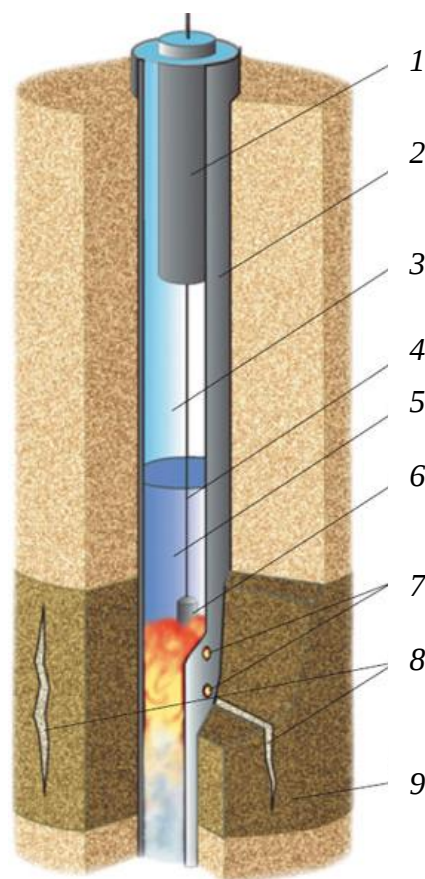


Рис. 11.8. Воздействие на пласт с применением ГОС:
1 – НКТ; 2 – обсадная труба;
3 – скважинная жидкость;
4 – геофизический кабель; 5 – ГОС;
6 – воспламенитель;
7 – перфорационные отверстия;
8 – трещины; 9 – продуктивный пласт

12. УСТАНОВКА РАЗОБЩАЮЩИХ МОСТОВ В СКВАЖИНАХ

Взрывные пакеры применяются для установки разобщающих мостов с целью решения таких задач как:

- разобщение пластов в разведочных скважинах при необходимости испытания верхних горизонтов;
- изоляция объекта в эксплуатационных и нагнетательных скважинах при переходе к вышележащим объектам;
- создание искусственного забоя в скважине;
- отсечение интервала перфорации при исследовании технического состояния колонны.

Взрывные пакеры целесообразно применять с одновременной установкой цементного моста – заливкой цемента желонкой.

Взрывной пакер типа ВП предназначен для установки разбурываемых разобщающих мостов в закрепленных интервалах скважин при гидростатическом давлении до 60 МПа и температуре до 120 °С. Выпускается шесть типоразмеров пакеров типа ВП, имеющих одинаковое устройство (табл. 12.1 и рис. 12.1). Внешний вид пакеров типа ВП показан на рис. 12.2.

Таблица 12.1

Технические характеристики пакеров типа ВП

Наименование параметра	ВП88	ВП92	ВП102	ВП110	ВП118	ВП135
Наружный диаметр, мм	88	92	102	110	118	135
Минимальный внутренний диаметр обсадной колонны, мм	96	100	109	117	125	144
Максимальный внутренний диаметр обсадной колонны, мм	98	102	115	124	133	152
Максимальное гидростатическое давление, МПа	60					
Максимально допустимая температура, °С	120					
Длина, мм	475	490	535	570	605	605
Масса, кг	5,2	6,3	7,9	9,6	11,6	15,0

Корпус пакера изготовлен из алюминиевого сплава, который необратимо деформируется под давлением пороховых газов размещенного в нем заряда. При этом обеспечивается прочное сцепление стенок корпуса пакера с внутренними стенками обсадной трубы и создается надежное разобщение. Одновременно под действием пороховых газов происходит отделение корпуса ВП от переходника. Груз и переходник извлекают на поверхность и используют многократно. Остающиеся в скважине детали: корпус, пробка и накидная гайка – при необходимости могут быть ликвидированы разбушиванием.

Основные преимущества взрывных пакеров типа ВП:

- самое простое устройство, широко используемое в различных условиях;
- автоматическое отсоединение кабеля от установленного в скважине пакера.

Шлиповый взрывной пакер типа ВПШ (разбурываемая мостовая пробка) предназначен для установки разобщаемых мостов в закрепленных интервалах скважин при гидростатическом давлении до 150 МПа и температуре до 200 °С. Основные характеристики типоразмерного ряда пакеров типа ВПШ приведены в табл. 12.2, внешний вид – на рис. 12.3.

Пакер ВПШ состоит из пакетирующей части и камеры с пороховым зарядом, установленной сверху. Воспламенение порохового заряда осуществляется от пиропатрона. При срабатывании заряда под давлением пороховых газов пакетирующая часть устанавливается в скважине, а камера посредством разрушения разрывной шпильки отсоединяется. Камера используется многократно. Остающиеся в скважине детали взрывного пакера изготовлены, за исключением резиновой манжеты, из чугуна и алюминиевых сплавов, и при необходимости пакер может быть ликвидирован разбушиванием.

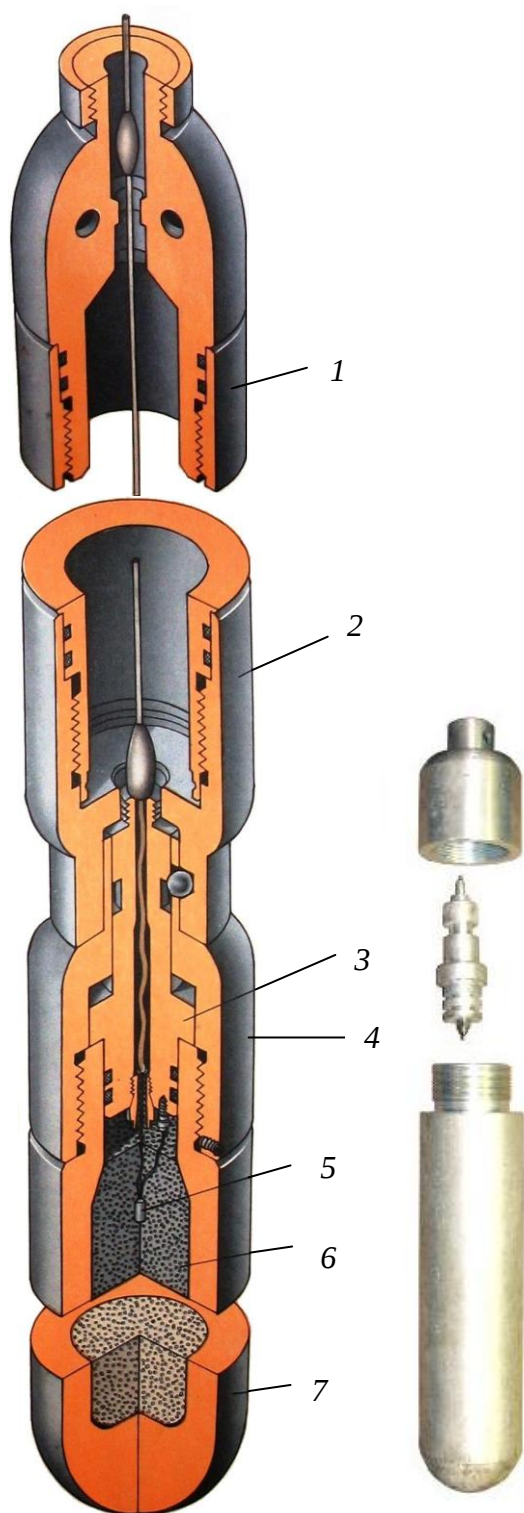


Рис. 12.1. Устройство пакера ВП:
 1 – корпус перфоратора; 2 – переходник;
 3 – пробка; 4 – накидная гайка;
 5 – электровоспламенитель;
 6 – пороховой заряд; 7 – корпус пакера

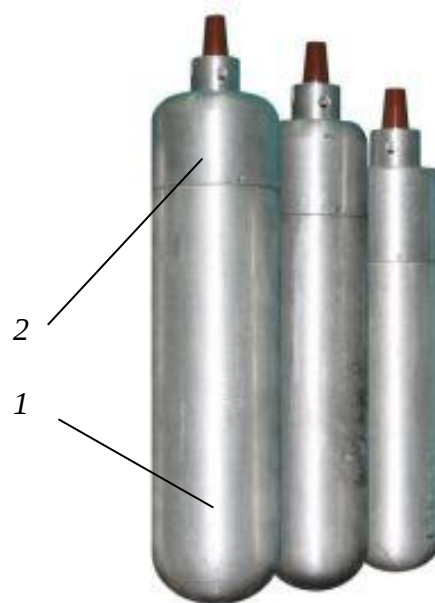


Рис. 12.2. Пакеры типа ВП:
 1 – корпус пакера; 2 – накидная гайка



Рис. 12.3. Пакеры типа ВПШ:
 пакетирующие части

Технические характеристики пакеров типа ВПШ

Наименование параметра	ВПШ 82	ВПШ 102	ВПШ 110	ВПШ 118	ВПШ 135	ВПШ 146	ВПШ 160	ВПШ 180	ВПШ 203
Наружный диаметр, мм	82	102	110	118	135	146	160	180	203
Минимальный внутренний диаметр обсадной трубы, мм	88	109	117	125	144	156	170	195	220
Максимальный внутренний диаметр обсадной трубы, мм	98	122	124	133	152	164	180	205	228
Максимальное гидростатическое давление, МПа	150								
Максимально допустимая температура, °С	150								
Максимальная разность гидростатического давления в частях скважины, разделенных пакером, МПа	50	50	50	50	40	40	35	35	30
Длина, мм	375	400	560	560	575	500	600	700	800
Масса, кг	9,6	15,56	22	24	31	30	40	45	50

К преимуществам пакеров типа ВПШ относятся:

- спуск в скважину на кабеле и на трубах;
- хорошая проходимость в скважине благодаря уменьшенному наружному диаметру;
- установка в скважине энергией пороховых газов постоянным усилием независимо от глубины установки;
- возможность ликвидации разбуриванием.

Цементировочный взрывной пакер типа ПВЦ (табл. 12.3, рис. 12.4) предназначен для проведения изоляционных работ посредством закачки цементного раствора в скважину под давлением, для гидроразрыва пласта, а также может использоваться при эксплуатации нижележащего пласта и при изоляции насосно-компрессорными трубами части скважины, расположенной выше пакера, для установки разобщающего моста и в ряде других случаев.

Пакер ПВЦ спускается в скважину на кабеле и трубах, устанавливается в скважине энергией пороховых газов постоянным усилием независимо от глубины установки, и он унифицирован с другими типами взрывных пакеров (применяется камера с зарядом от пакера ВПШ102).

Выбор типа взрывного пакера производится в зависимости от цели разобщения, температуры и гидростатического давления в месте установки. Место установки определяет геологическая служба в зависимости от характеристики геологоразведочного разреза и конструкции скважины.

Технические характеристики пакеров типа ПВЦ

Наименование параметра	ПВЦ110	ПВЦ118	ПВЦ135
Наружный диаметр, мм	110	118	135
Минимальный внутренний диаметр обсадной трубы, мм	117,7	125,2	144
Максимальный внутренний диаметр обсадной трубы, мм	124	133	152
Максимально допустимое гидростатическое давление, МПа	150		
Максимально допустимая температура, °С	150		
Максимально допустимое давление цементирования, МПа	30		
Максимально допустимая осевая нагрузка на шток пакера сверху, кН	250	300	300
Длина, мм	605	605	625
Масса, кг	22,5	24,6	31,7

Величину заряда для пакеров типа ВП выбирают по графикам, изложенным в инструкции по эксплуатации, в зависимости от гидростатического давления и внутреннего диаметра обсадной трубы. Для пакеров ВПШ и ПВЦ используют заряд ЗПВШ.

Установка пакера не допускается в следующих случаях:

- скважина не контролировалась шаблоном диаметром не менее диаметра пакера, или шаблонирование показало непроходимость ствола скважины для шаблона;
- интервал скважины в месте установки пакера торпедировался;
- в интервале обсадной колонны на участке установки пакера сохранились остатки цементной корки.

Спуск пакера в скважину производится со скоростью не более 1 м/с.

Если предусматривается кислотная обработка интервала или общее давление (гидростатическое и давление опрессовки) превышает значение, допустимое для взрывных пакеров ВП (60 МПа), установка цементного моста обязательна.

Для исключения неблагоприятного коррозионного воздействия и для повышения надежности на установленный взрывной пакер типа ВП, ВПШ, ПВЦ выливают порцию цементного раствора, создающую цементный мост высотой 3-5 м.



Рис. 12.4. Пакеры типа ПВЦ: пакетирующие части

13. ВЗРЫВНЫЕ СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ В СКВАЖИНАХ

13.1. Аварии и осложнения в скважинах и способы их ликвидации

Одним из наиболее распространенных видов аварий при бурении скважин являются прихваты бурового става, когда лежащая на одной из стенок бурильная колонна протирает в породах, особенно в мягких, желоб. Заклинивание инструмента в желобе обычно при подъеме бурового става. Чтобы обеспечить плавный выход бурового инструмента для расширения места выхода из желоба, используют фугасные шашечные торпеды типа ТШ и ТШТ.

К другим причинам, вызывающим прихваты, относятся: обвал породы; «прилипание» бурильной колонны к стенке скважины под действием перепада давления, когда при бурении вскрывается поглощающий горизонт; заклинивание долота и др.

Для ликвидации прихватов в скважинах используются разные способы: отвинчивание колонны выше зон прихвата, «встряхивание» прихваченной колонны, обрыв и перерезание труб над зоной прихвата, комбинированный способ с применением взрывов и расхаживанием колонны.

Отвинчивание колонны с использованием взрыва основано на кратковременном ослаблении резьбовых соединений при взрыве. Приложив к колонне натяг и отвинчивающий момент, в скважину опускают торпеду из детонирующего шнура (ТДШ) или шашечную торпеду (ТШ, ТШТ) совместно с локатором муфтовых соединений для установки ее против резьбового соединения и взрывают. Если энергия заряда ВВ достаточна, то происходит полный отворот, либо доразвинчивание колонны после подъема кабеля и груза осуществляют ротором.

Ликвидацию прихвата методом встряхивания выполняют в следующем порядке. После расхаживания и промывки скважины определяют зону прихвата. Затем, приложив к трубам натяг и отвинчивающий момент, в скважину опускают торпеду ТДШ, перекрывая зону прихвата, и взрывают. При заклинивании долота в скважину как можно ближе к нему опускают торпеду ТДШ и затем, дав натяг и вращательный момент трубам, осуществляют взрыв. В первом случае выбор заряда торпеды производят так, чтобы взрыв не повредил труб, во втором – повреждение труб допускается при условии недопустимости их обрыва.

Еще одним распространенным видом аварий при бурении является оставление в забое или в стволе скважины шарошек, долот, переводников, геофизических приборов и других изделий из металла. Наибольшее распространение при ликвидации таких аварий получили кумулятивные торпеды осевого действия ТКО и ТКОТ, которые благодаря направленному действию взрыва обладают существенно более высокой эффективностью, чем фугасные торпеды ТШТ. Основным условием успешного применения кумулятивной торпеды осевого действия является ее установка непосредственно на разрушаемый объект, так пробивное действие ее заряда проявляется в ближ-

ней зоне действия взрыва. После взрыва остатки разбитого металла извлекаются из скважины обычными способами.

13.2. Торпеды из детонирующего шнура

Торпеды из детонирующего шнура ТДШ-25, ТДШ-50 применяются для ликвидации прихватов способами отвинчивания и встряхивания, а также для очистки фильтров нефтяных и водяных скважин. Торпеда ТДШ-50 состоит из головки с электродетонатором (взрывным патроном), троса, с закрепленным на нем жимками зарядом из нескольких отрезков ДШ, и груза (рис. 13.1). Длина заряда торпед не ограничена. После взрыва трос, груз, головка и держатель поднимаются на поверхность. Предельные температуры и давления, при которых применяются торпеды, определяются свойствами детонирующих шнуров, электродетонаторов или взрывных патронов, используемых в торпедах. Основные характеристики торпед ТДШ представлены в табл. 13.1.

Таблица 13.1

Технические характеристики торпед типа ТДШ

Торпеда	ТДШ-25	ТДШ-50	ТДШТ-50
Минимальный наружный габарит, мм	25	50	50
Длина кабельного наконечника с держателем, мм	365	485	485
Масса кабельного наконечника с держателем, кг	0,57	4,95	4,95
Длина груза, мм	2×1060	2×1060	2×1060
Масса груза, мм	2×3,3	2×3,3	2×15
Средство инициирования	ЭД-8, ЭДС-1(2), ТЭД-165, ПГН-150		ПВГУ-5
Детонирующий шнур	ДШВ, ДШУ-33		ДШТТ 180 (250)
Максимальное гидростатическое давление, МПа	100		150
Максимальная температура, °С	150		250

Заряд торпед ТДШ для освобождения прихваченных труб – число ниток детонирующего шнура марки ДШВ – определяют по номограммам в зависимости от типа, диаметра и толщины стенок бурильных труб, а также гидростатического давления. Рассчитанный по номограммам заряд гарантирует их сохранность при взрыве. Трещины в стальных трубах появляются при увеличении заряда в 4 раза, а в трубах из алюминиевых сплавов – в 3 раза.

Длина торпеды при отвинчивании выбирается так, чтобы гарантировать установку заряда по крайней мере против одного резьбового соединения. При применении локатора муфт длина торпеды может быть равной 1÷2 м. Если торпеду применяют для «встряхивания», то длину ее выбирают в соответствии с зонами прихвата, при этом общая масса заряда не должна превышать 5 кг.

13.3. Торпеды фугасные шашечные

Фугасные торпеды ТШ и ТШТ – торпеды из шашек и торпеды из шашек термостойких представляют собой набор шашек, размещенных в негерметичном тонком корпусе из алюминиевого сплава (рис. 13.2).

Торпеды типа ТШТ и ТШ84 предназначены для обрыва прихваченных труб в скважинах, торпеда ТШ84 также используется для вскрытия и интенсификации притока или повышения приемистости пластов.

Технические характеристики фугасных шашечных торпед представлены в табл. 13.2, и, соответственно, граничные условия применения торпед по давлению определяются параметрами патронов, а по температуре – видом ВВ, используемого для ее снаряжения.

Заряды торпеды ТШ84 изготавливаются из флегматизированного гексогена, их термостойкость – 100 °С. У торпед ТШТ взрывчатое вещество зарядов и взрывной патрон выбираются в соответствии с температурой, при которой они используются в скважине, и могут быть различны (см. табл. 13.2).

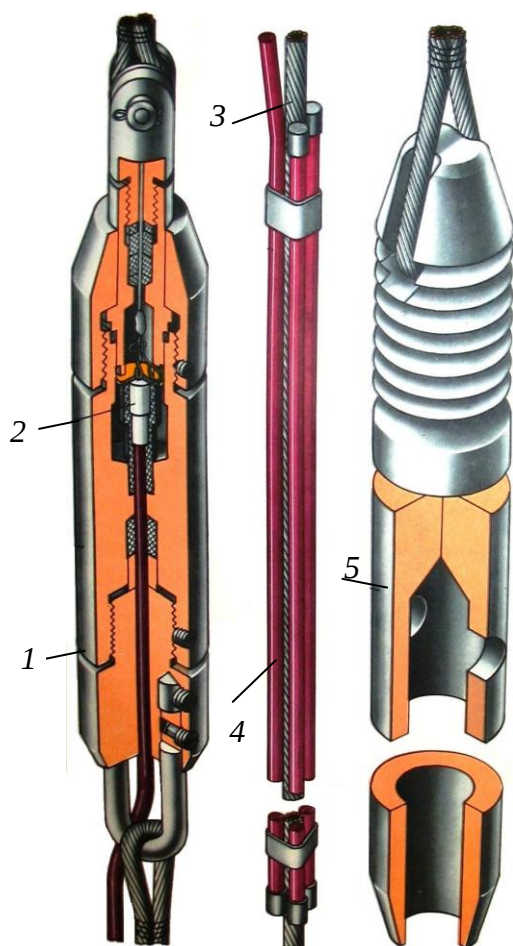


Рис. 13.1. Торпеда ТДШ-50:
1 – головка держателя;
2 – взрывной патрон; 3 – трос;
4 – заряд из детонирующего шнура;
5 – груз

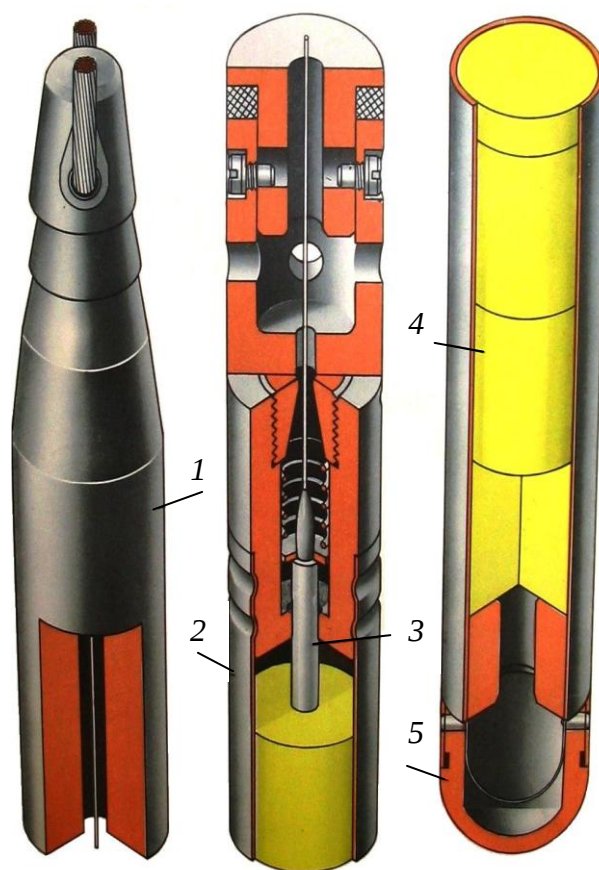


Рис. 13.2. Торпеда ТШТ:
1 – груз; 2 – корпус; 3 – шашки ВВ заряда;
4 – взрывной патрон; 5 – наконечник

Таблица 13.2

Технические характеристики торпед типа ТШТ и ТШ84

Торпеда	Взрывчатое вещество в заряде	Средство инициирования	Наружный диаметр, мм	Предельные параметры	
				давление, МПа	температура, °С
ТШТ20/22	Флегматизированный гексоген и термостойкие ВВ	ПГ-170, ПГН-150, ПГН-165, ПВГУ 1500, ПГ-250	22	В зависимости от применяемого ВВ и патрона до: 150 250	
ТШТ25/28			28		
ТШТ35/40			40		
ТШТ43/48			48		
ТШТ50/55			55		
ТШТ65/70			70		
ТШТ84/90			90		
ТШ84	Флегматизированный гексоген	ПГ-170, ПГН-150	90	50	100

При выборе параметров заряда ВВ торпеды при обрыве труб исходят из того, что длина заряда должна быть не менее $4\div 6$ диаметров труб. Диаметр зарядов торпеды ТШТ из флегматизированного гексогена определяют по номограммам в зависимости от типа обрываемых труб и гидростатического давления в скважине. При применении зарядов из составов ГНДС или НТФА полученное по номограммам значение умножают на 1,2.

Диаметр заряда для разъединения бурильных труб в замковом соединении в 1,5, а в муфтовом – в 1,75 раза меньше, чем для обрыва труб. При этом извлечение труб облегчается, так как резьбовая часть почти не образует «паука».

13.4. Кумулятивные труборезы

Кумулятивные труборезы ТРК (рис. 13.3, табл. 13.3) предназначены для перерезания насосно-компрессорных, обсадных, а также бурильных труб снаружи высаженными концами в скважинах с гидростатическим давлением до 80 МПа и температурой до 150 °С.

Таблица 13.3

Технические характеристики труборезов типа ТРК

Наименование параметра	ТРК45	ТРК55	ТРК68	ТРК85	ТРК90	ТРК110	ТРК118	ТРК135	ТРК146
Наружный диаметр, мм	45	55	68	85	90	110	118	135	146
Перерезаемая труба: наружный диаметр, мм	60	73	89	114	114	140	146	168	178
Тип труб	НКТ	НКГ	НКТ	бур.	обс.	бур., обс.	обс.	обс.	обс.
Масса ВВ, г	13	25	42	90	90	132	132	259	259

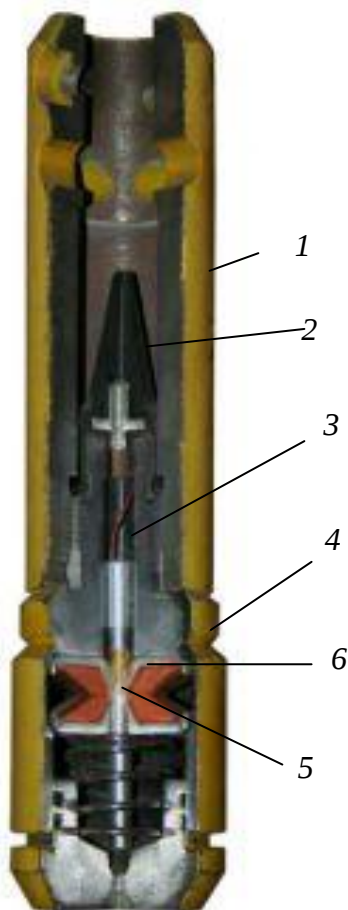


Рис. 13.3. Труборез ТРК:

- 1 – переходник; 2 – электроввод;
- 3 – электродетонатор; 4 – корпус;
- 5 – детонирующий шнур типа ДУЗ;
- 6 – кольцевойкумулятивный заряд

Выбор типоразмера ТРК производят в зависимости от вида и размера труб в соответствии с табл. 13.2.

13.5. Кумулятивные торпеды осевого действия

Кумулятивные торпеды осевого действия ТКО и ТКОТ (рис. 13.4) предназначены для разрушения направленным взрывом постороннего металла, долот, их частей, переводников, муфт, клиньев, приборов и других предметов, препятствующих процессу бурения. Характеристики выпускаемых торпед даны в табл. 13.4. Части и осколки разрушенных взрывом металлических предметов извлекают на поверхность магнитными ловителями, шламометаллоуловителями с наружным улавливанием, ловителями механического, гидромеханического, гидравлического и имплозивного действия или разрушают на забое фрезированием.

Торпеды поступают с заводов-изготовителей снаряженными без средств инициирования в комплекте с деталями, обеспечивающими их спуск на кабеле

Труборезы при спуске в скважину сохраняют работоспособность в условиях не менее 6 ч. и не самосрабатывают в течение 24 ч

ТРК состоит из прочного герметичного корпуса с размещенным в нем кумулятивным зарядом с кольцевой кумулятивной выемкой, облицованной листовой медью, и средств инициирования: электродетонатора типа ТЭД-200 и детонирующего удлиненного заряда ДУЗ.

Масса заряда кумулятивных труборезов в десятки раз меньше, чем у фугасных торпед, традиционно используемых для обрыва труб, что гарантирует минимальное побочное воздействие.

Так как плотность и скорость плоской кольцевой кумулятивной струи, образующейся при детонации заряда трубореза, при радиальном расширении уменьшается, ее пробивная способность быстро уменьшается с увеличением зазора между корпусом трубореза и внутренним диаметром трубы. Поэтому кумулятивный труборез ТРК не может быть применен в бурильных трубах с высаженными внутрь концами.

или на трубах. Окончательное снаряжение торпед – установку средств инициирования производят непосредственно перед спуском в скважину.

Для повышения эффективности применения торпед используют их группирование на кассетных головках (рис. 13.5).

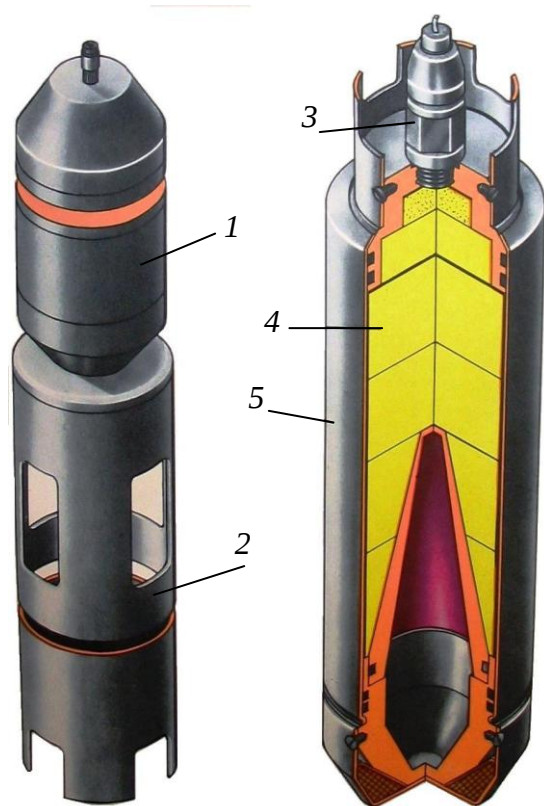


Рис. 13.4. Торпеда ТКОТ:
1 – груз; 2 – переходник; 3 – инициатор;
4 – заряд ВВ; 5 – корпус

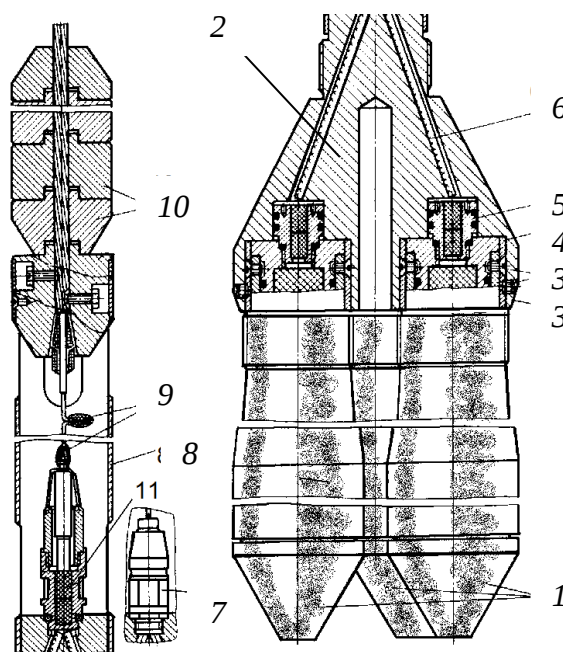


Рис. 13.5. Кассетная головка ГК260
на кабеле с тремя торпедами ТКО120-1:
1 – торпеды ТКО-120-1; 2 – корпус головки;
3 – винты крепления; 4 – втулка; 5 – втулка
с двумя дополнительными шашками
и резиновыми уплотнителями; 6 – детонирующий
шнур; 7 – взрыватель В-473А; 8 – переходник;
9 – изоляционная лента; 10 – груз;
11 – боевик с взрывным патроном типа ПГ

Для спуска в скважину и обеспечения одновременного подрыва трех торпед ТК070-1 и ТК0120-1 применяются кассетные головки ГК180 и ГК260. Они имеют герметичный корпус с тремя наклонными каналами под детонирующий шнур, три втулки с резиновыми кольцами и прокладками, установочные винты и защитный кожух (только в головке ГК180). Наклонные каналы в нижней части корпуса головки заканчиваются посадочными гнездами под втулки, а в верхней сходятся у гнезда для средств инициирования. Характеристики кассетных головок и других вспомогательных устройств приведены в табл. 13.5.

Торпеды типа ТК0, ТК0Т и кассетные головки спускают в скважину на кабеле и на буровых трубах. Для крепления к кабелю и облегчения спуска в скважину на торпеду или кассетную головку через специальный тонкостенный переходник устанавливают груз. После взрыва из скважины извлекают

часть переходника и груз, который рассчитан на двукратное применение с торпедой ТКО200-1 или с кассетной головкой ГК260, на четырехкратное – с ТКО120 или с ГК180, пятикратное – с ТКОТ38 и десятикратное – с ТКО70-1, ТКОТ70 и ТКОТ60. Детали корпусов торпед и кассетных головок изготовлены из легкоразбуиваемых алюминиевых сплавов.

Таблица 13.4

Технические характеристики торпед типов ТКО и ТКОТ

Торпеда	Максимальный наружный диаметр, мм	Максимальное давление, МПа	Максимальная температура, °С	Масса заряда ВВ, кг
ТКО 200-1-800/120	200	800	120	8,6
ТКОТ 150-2-800/150; 160	150	80	150; 160	
ТКОТ 150-2-1200/150; 160	150	120	150; 160	
ТКОТ 120-2-1300/150; 160	120	130	150; 160	3,6
ТКОТ 120-2-900/150; 160	120	90	150; 160	3,6
ТКО 120-1-600/120	120	60	120	3,6
ТКОТ 95-2-1400/150; 160	95	140	150; 160	
ТКОТ 95-2-1000/150; 160	95	100	150; 160	
ТКОТ 70-1-1400/150; 160; 230; 240	70	140	150; 160; 230; 240	2,7
ТКО 70-1-800/150	70	80		2,7
ТКОТ 60-1-1500/160; 170; 230; 250	60	150	160; 170; 230; 250	0,6
ТКОТ 60-1-1000/160; 170	60	100	160; 170	0,6
ТКОТ 60-1-800/150	60	80	150	0,6
ТКОТ 38-1-1500/160; 170; 230; 250	38	150	160; 170; 230; 250	0,12
ТКОТ 38-1-1000/160; 170	38	100	160; 170	0,12

Таблица 13.5

Технические характеристики вспомогательных устройств

Устройство	Назначение устройства
ГК 102	Под три ТКОТ 38-1
ГК 150	Под три ТКОТ 60-1
ГК 180	Под три ТКОТ 70-1
ГК 260	Под три ТКОТ 120-1
ГК 260/360	Под три ТКОТ 120-1 или три ТКОТ 95-2, или три ТКОТ 120-2, или три ТКОТ 150-2
ГК 280/450	Под три ТКОТ 200-1 или под 3-7 шт. ТКОТ 120-1, или ТКОТ 95-2, три ТКОТ 120-2, или три ТКОТ 150-2
ЗЦ 14	Замыкатель цепи для безопасного применения ТКО и ТКОТ на кабеле, в т. ч. с ГК
ВУКТ 178	Для работы с ТКО 200-1, ГК 260 и ГК 260/360 или ГК 280/450 (только с тремя ТКО 120-1, или ТКОТ 95-2, или ТКОТ 120-2, или ТКОТ 150)

При спуске торпед ТКО и ТКОТ и кассетных головок ГК на бурильных трубах применяют устройство ВУКТ 178 (см. табл. 13.5), предназначенное для подсоединения торпед и кассетных головок к бурильным трубам, спуска

в скважину, установки на разрушаемый металл и возбуждения детонации. Во внутренней полости корпуса размещен накольный механизм и корпус инициирующего узла с центратором капсюля-детонатора.

Незаряженное устройство ВУКТ состоит из корпуса и переходника, соединенных между собой винтами. В нижней части корпуса под переходником установлена диафрагма, а в верхней – поршень-ударник и предохранительная обойма.

Посадку торпед непосредственно на разрушаемый металл обеспечивают путем промывки ствола и забоя скважины и передачи осевого усилия на торпеду при частичной разгрузке бурильной колонны на величину, не превышающую 100 Кн. Промывку проводят до установления постоянной величины разгрузки. Изменение ее указывает на наличие шлама между торпедой и металлом. После окончания промывки в колонну труб вбрасывают стальной шар, который вместе с потоком промывочной жидкости достигает корпуса ВУКТ и перекрывает отверстие в поршне-ударнике над взрывателем. После повышения давления на 5÷12 МПа над шаром срезаются предохранительные штифты и механизм приводится в действие. Торпеды ТКО 200-1 и ТКО 120-1 имеют прочный корпус толщиной 12÷15 мм, рассчитанный на нагрузки, возникающие при спуске их в скважину на трубах. Кумулятивные торпеды ТКОТ и ТКО 70-1 имеют тонкий корпус толщиной 1÷3 мм и при спуске на бурильных трубах помещаются в специальный кожух.

13.6. Импульзные ловители

Импульзные ловители ЛИ и ЛИТ предназначены для очистки забоя скважин от металлических и неметаллических посторонних предметов типа шарошек; очистки забоя скважин от скрапа, в том числе твердосплавных зубьев долот высокой плотности, как с магнитными, так и немагнитными свойствами; очистки металла на забое скважин от шлама, кусков породы перед применением кумулятивных торпед осевого действия.

Максимальный размер кусков металла не должен превышать 0,4 диаметра скважины. Технические характеристики импульзных ловителей, спускаемых в скважину на кабеле и трубах приведены в табл. 13.6.

Таблица 13.6

Технические характеристики импульзных ловителей

Показатели	ЛИ106/137, ЛИ137/157, ЛИ 157/179				ЛИТ 146-150/175		ЛИТ 146-195/215	
	КП 106	КП 137	КП 157	КП 178	КП 150	КП 175	КП 195	КП 215
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Наружный диаметр герметичной камеры, мм	106	106	106	106	146	146	146	146
Наружный диаметр приемной камеры, мм	106	137	157	178	150	175	195	215
Диаметр входного отверстия, мм	76	109	123	144	120	140	160	180

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Объем, м ³					0,017	0,023	0,030	0,038
Длина ловителя с приемной камерой (без УТБ), мм					3500	3500	3500	3500

Имплозийный ловитель типа ЛИ спускают в скважину на геофизическом кабеле и приводят в действие с помощью взрывного патрона типа ПГ (рис. 13.6).

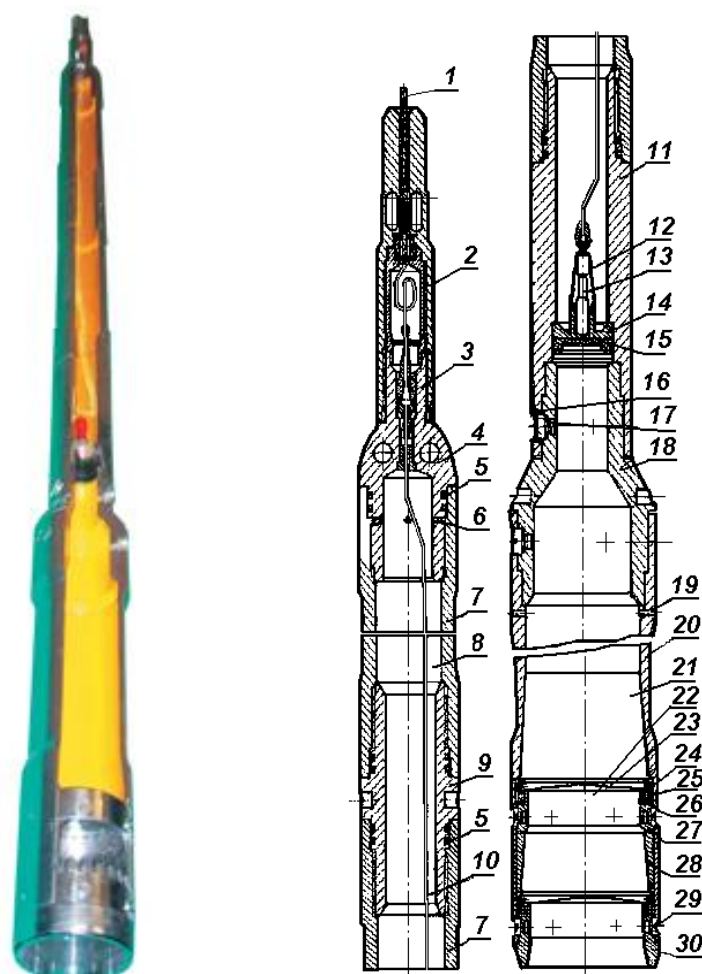


Рис. 13.6. Имплозийный ловитель типа ЛИ:

- 1 – кабель; 2 – кабельная головка; 3 – электроввод, 4 – головка; 5 – резиновое уплотнение;
 6 – отверстие; 7 – корпус; 8 – герметичная камера; 9 – переходник; 10 – провод;
 11 – нижний корпус; 12 – проволока; 13 – взрывной патрон ПГ; 14 – диафрагма;
 15 – уплотнительная пробка; 16 – винт-фиксатор; 17 – винт; 18 – переходник;
 19 – отверстие; 20 – корпус; 21 – приемная камера; 22 – механизм захвата; 23 – лопасти;
 24 – ось; 25 – пружина; 26 – вкладыши; 27 – обойма; 28 – втулка (короткая или длинная);
 29 – винт; 30 – наконечник

Принцип работы ЛИ заключается в следующем. Его опускают на заданную глубину и устанавливают на предмет, подлежащий извлечению. Взрывом патрона ПГ разрушается часть диафрагмы и уплотнительной пробки, которые отделяют герметичную камеру, заполненную воздухом с атмосферным давлением, от приемной камеры и скважинной жидкости.

Из-за перепада давления промывочная жидкость из скважины с большой скоростью поступает в полость приемной камеры, увлекая посторонние предметы, куски металла, шлам и скрап. Выпадению их из камеры препятствуют лопасти механизма захвата. Через 1÷3 мин ловитель поднимают. За это время промывочная жидкость через отверстия заполнит приемную камеру, в которой произойдет выравнивание давления с гидростатическим давлением в скважине, что обеспечит снятие усилия, прижимающего имплозийный ловитель к забою. Обычно объемы герметичной и приемной камер составляют по 0,01 м³. Для извлечения шлама и песка устанавливают дополнительные промежуточные секции в корпусе герметичной и приемной камер с увеличением объема до 0,02÷0,04 м³.

По сравнению с механическими, гидростатическими, гидравлическими и другими конструкциями имплозийные ловители обладают важными преимуществами:

- с увеличением глубины скважины эффективность их работы возрастает;
- в отличие от магнитного ловителя на их работоспособность не влияет наличие шлама в забое.

Ограничением по применению имплозийных ловителей являются скважины, забой которых представлен мягкими водонасыщенными глинами.

Для очистки забоя и ствола скважин диаметром 58÷108 мм, внутреннего пространства обсадных, бурильных, насосно-компрессорных труб диаметром 73÷140 мм от скрапа, металлических предметов, шлама, песчаных и других пробок предназначены малогабаритные имплозийные ловители на кабеле типа ЛИМ 50/60 и ЛИМ 72/85. Для извлечения шарошек, долот и других посторонних предметов из скважины с неустойчивым стволом диаметром 170÷269 мм применяются имплозийные ловители на трубах типа ЛИТ 146-150/175 и ЛИТ 146-195/215 с приемными камерами соответственно КП 150, КП 170, КП 195, КП 215. В ловителях ЛИТ 1÷2 трубы УТБ146 используют для увеличения объема герметичной камеры. Имплозийные ловители рассчитаны на давление 80÷100 МПа и температуру до 150÷200 °С.

14. ОТБОР ОБРАЗЦОВ ПОРОД В СКВАЖИНАХ БОКОВЫМИ СТРЕЛЯЮЩИМИ ГРУНТОНОСАМИ

Методы бокового отбора образцов пород применяют, когда необходимо в короткий срок исследовать большое количество пластов, которые могут оказаться продуктивными, а обычный отбор образцов пород при бурении был недостаточен или неполноценен. Для отбора образцов горных

пород в нефтяных и газовых скважинах применяют боковые грунтоносы типа ГБСН125-180/100 одиночного действия, с помощью которых в каждой точке интервала выстреливают по одному бойку.

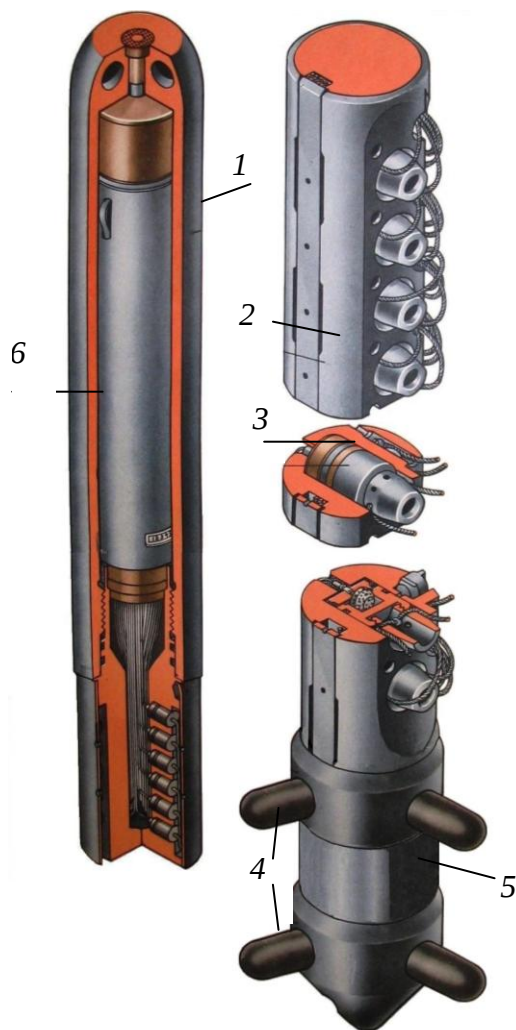


Рис. 14.1. Грунтонос
ГБСН125-180/100:

- 1 – головка; 2 – каркас; 3 – боек;
4 – центраторы; 5 – наконечник;
6 – переключатель ИПС

Конструктивно грунтонос (рис. 14.1) выполнен в виде корпуса со ствольными отверстиями (30 шт.), в которых размещены контактные диски и бойки с пороховыми зарядами.

Контактные диски изолированы от корпуса и электрически связаны с помощью монтажных проводов с контактами штепсельного разъема, к которому присоединяется многопозиционный переключатель. Каждый боек связан с корпусом прочным канатом, закрепляемым специальным стопором. Для ориентации бойков относительно стенки скважины на оптимальном расстоянии до нее в нижней части грунтоноса установлен центратор с двумя рядами резиновых стержней, длина которых регулируется в зависимости от диаметра скважины.

Бойки грунтоноса содержат полые наконечники, соединяемые с основаниями с помощью резьбы. Диаметр керноприемной полости в бойке 22 мм.

Пороховые заряды УЗГ размещаются в основании бойка и представляют собой цилиндрические шашки с встроенными электровоспламенителями.

Последовательный отстрел всех бойков осуществляется с помощью переключающего устройства ИПС по одной жиле кабеля.

На наземной панели управления контролируется переключение позиций скважинным переключателем ИПС и состояние его электрической цепи.

Грунтоносы типа ГБСН125-180/100 применяются для отбора образцов горных пород со стенок неукрепленных нефтяных и газовых скважин диаметром 161-295 мм, заполненных нефтью, водой или промывочным раствором, при максимальных давлении и температуре соответственно 100 МПа и 180 °С.

Минимально допустимое гидростатическое давление, при котором возможно применение грунтоноса, составляет 5 МПа. Максимальный поперечный габарит грунтоноса (с бойками) 125 мм, длина 2700 мм, масса 82 кг.

15. ОБОРУДОВАНИЕ, КАБЕЛИ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В СКВАЖИНАХ

15.1. Подъемники

Прострелочно-взрывные работы в скважинах проводят с помощью каротажных подъемников и каротажных станций. Подъемники служат для спуска в скважину на кабеле прострелочно-взрывных аппаратов и устройств, приведения их в действие, а также подъема на поверхность.

Наибольшее применение получили самоходные подъемники, оборудованные, как правило, на базе автомобиля повышенной проходимости (рис. 15.1, 15.2). Кузов подъемника состоит из двух секций. В передней секции размещается рабочее место машиниста, которое оборудовано органами управления спуско-подъемным агрегатом и контрольно-измерительной аппаратурой, смонтированной на пульте. В задней секции кузова на раме установлен барабан под многослойную навивку геофизического кабеля, упорядоченная укладка которого обеспечивается кабелеукладчиком. В задней части секции закреплены: каротажное оборудование, блок-баланс, блок подвесной, блок направляющий, катушки кабельных соединений, источник питания, инклинометр, грузы, узлы для крепления скважинных приборов.

Прострелочно-взрывная аппаратура спускается в скважину на кабеле, который направляется в скважину с помощью подвесного блока или устанавливаемого на устье скважины блок-баланса.

Контрольно-измерительная аппаратура подъемника позволяет осуществлять контроль глубины скважины, скорости движения геофизического кабеля, натяжения его с возможностью записи данных в цифровой или аналоговой формах, а также предупреждать машиниста звуковым и световым сигналами о приближении скважинного прибора или стреляющего аппарата к заданной глубине скважины или о перегрузке геофизического кабеля.

В устье также смонтированы контрольно-измерительная и коммутационная аппаратура, предназначенная для управления двигателем автомобиля при его использовании для привода барабана подъемника; рабочее место машиниста в этом случае оборудовано органами управления коробкой перемены передач (КПП), раздаточной коробкой (РК), коробкой отбора мощности (КОМ), муфтой сцепления.

Рабочее место машиниста размещено в кабине, передняя стенка которой имеет окно для визуального наблюдения за намоткой геофизического кабеля.

Подъемник устанавливается на расстоянии $20 \div 30$ м от устья скважины, так, чтобы ось барабана была горизонтальна и перпендикулярна к вертикальной плоскости, направленной из его середины на устье скважины, и обеспечивалось прямое прохождение кабеля через направляющие блоки к устью скважины (рис. 15.3).

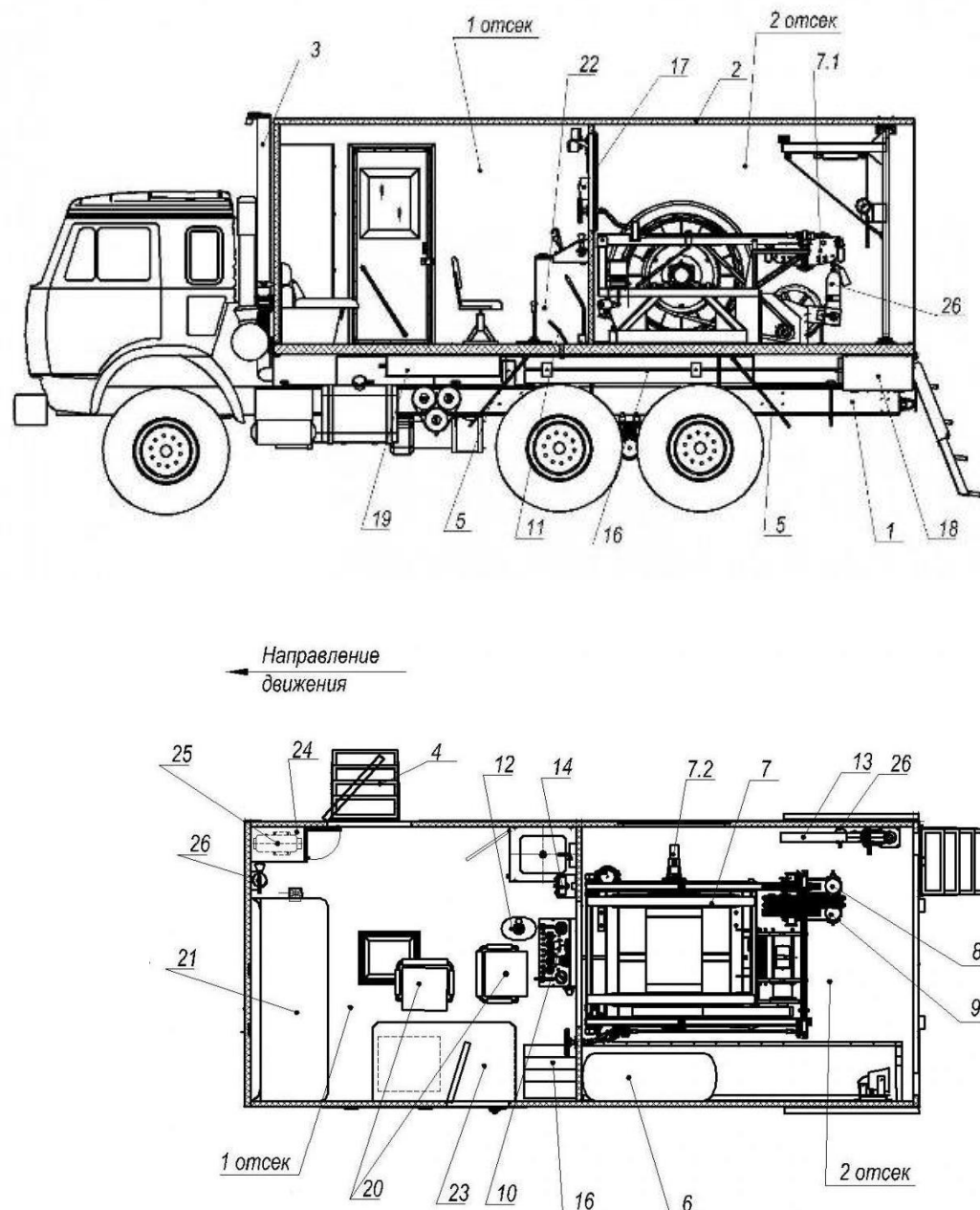


Рис.15.1. Каротажный подъемник, схема размещения оборудования:

- 1 – шасси КАМАЗ-43118-1048-15; 2 – изотермический теплоизолированный кузов на два отсека;
 3 – выхлопная труба с искрогасителем; 4 – ящик с лестницей; 5 – брызговики;
 6 – держатель запасного колеса; 7 – спуско-подъемный агрегат (7.1 – кабелеукладчик с датчиком натяжения и датчиком глубины и скорости; 7.2 – коллектор); 8 – блок направляющий;
 9 – блок подвесной; 10 – пульт управления и контроля спуско-подъемным механизмом;
 11 – дублер сцепления; 12 – дублер КПП; 13 – грузоподъемное устройство до 250 кг вылет стрелы 0,7 м; 14 – громкоговорящее устройство; 15 – фара освещения устья скважины;
 16 – устройство крепления и перевозки скважинных приборов (в том числе под кузовом);
 17 – электрошит с автоматической защитой; 18 – ящик с катушками с кабелем для подключения к внешнему источнику питания и кабелем заземления; 19 – ящик для инструментов; 20 – кресло;
 21 – диван-рундук; 22 – мойка емкостью 40 литров; 23 – стол одностумбовый; 24 – шкаф;
 25 – отопитель «Webasto»; 26 – огнетушитель ОП-4

a



б



в



Рис. 15.2. Каротажный подъемник:
a – общий вид; *б* – каротажное отделение; *в* – секция машиниста

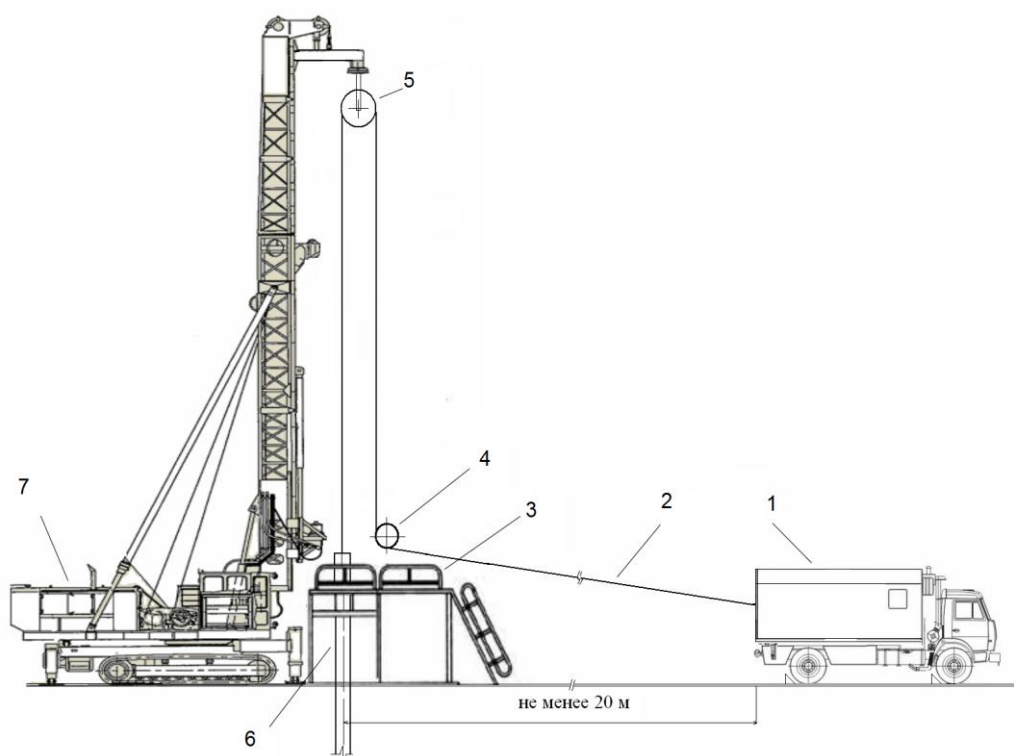


Рис. 15.3 . Схема установки каротажного подъемника у скважины:
 1 – каротажный подъемник; 2 – геофизический кабель; 3 – мостики; 4 – блок (ролик) нижний направляющий; 5 – блок-баланс; 6 – устье скважины; 7 – буровая установка

Над устьем скважины закрепляется блок-баланс таким образом, чтобы пропущенный через него кабель свободно опускался в скважину. На блоке-балансе закрепляются механический, электронный и магнитный датчики глубины погружения. Станция заземляется, после чего сетевой провод подключается к генератору.

К устройствам подвесного и направляющего роликов (блоков) предъявляются требования:

- радиус ручья (направляющей канавки на кольцевой поверхности ролика) любого из роликов не должен превышать радиус геофизического кабеля на величину более чем $\pm 5\%$;

- прочность узлов крепления роликов должна превышать номинальное разрывное усилие применяемого геофизического кабеля не менее чем в 3 раза для направляющего ролика и не менее чем в 4 раза для подвесного.

Для работы на скважине подъемник располагают на рабочей площадке таким образом, чтобы:

- движение геофизического кабеля осуществлялось по возможности перпендикулярно к трассе высоковольтной линии электропередачи, подведенной к скважине;

- из кабины управления обеспечивалась постоянная видимость стола ротора буровой установки (планшайбы или фонтанной арматуры действующей

щей скважины), подвесного и направляющего роликов и пути движения кабеля между подъемником и направляющим роликом;

- уровень освещения устья скважины, стола ротора и превенторов был не менее 75 лк, пути движения кабеля и барабана лебедки – 40 лк.

На барабан подъемника многослойно наматывают геофизический кабель, один конец которого соединен со скважинным прибором или аппаратом, другой проходит через осевое отверстие вала барабана, где броня его крепится специальным зажимом, а токопроводящие жилы подключают к коллектору.

Перфораторную панель или взрывную машинку для инициирования спущенного в скважину аппарата подключают к токопроводящим жилам геофизического кабеля через коллекторную панель или непосредственно через коллектор барабана.

15.2. Кабели и провода

Для спуска в скважину геофизической или прострелочно-взрывной аппаратуры используют грузонесущие геофизические кабели (табл. 15.1). Грузонесущим элементом в таких кабелях является броня из стальных проволок. Электрические параметры геофизического кабеля характеризуются: активным сопротивлением жилы, сопротивлением изоляции, емкостью, индуктивностью, волновым сопротивлением и собственным затуханием.

Таблица 15.1

Характеристики грузонесущих геофизических кабелей

Показатели	КГ1-30-180	КГ1-55-180	КГ1-60-180	КГ1-75-180	КГ1-30-90	КГ1-55-90	КГ1-60-90	КГ1-70-250
Число токопроводящих жил	1	1	3	7	1	1	3	1
Максимальная температура, °С	180	180	180	180	90	90	90	250
Максимальное давление, МПа	98	98	98	78,4	39,2	78,4	98	147
Наружный диаметр, мм	6,3	8,8	10,3	12,3	6,3	9,4	10,2	10
Масса, кг/км	195	345	530	602	178	361	422	420
Номинальное электрическое сопротивление жил при 20 °С, Ом/км	24,31	24,31	25,53	25,53	24,31	40	25,53	18
Коэффициент затухания при частоте 50 Гц, дБ/км	8	6	5,5	8/7,5*	8	9,9	5,5	7,5
Волновое сопротивление между жилой и броней при частоте 50 Гц, Ом	63	70	70	88/70*	63	100	75	62
Емкость, мкФ/км	0,13	0,128	0,135	–	0,215	0,124	0,178	–

* Центральная жила/боковая жила.

Бронированные геофизические кабели выпускают строительными длинами 3,5÷5,5 км, кабель КГ1-70-250 – 7,5 км. Геофизический кабель при работе в скважине удлиняется и раскручивается. Поэтому кабели в заводских условиях подвергаются предварительной вытяжке, а после двух-трех спуско-подъемов в скважине кабель стабилизируется по длине.

Для присоединения скважинного аппарата к грузонесущему геофизическому кабелю используют кабельные наконечники (рис. 15.4, табл. 15.2).

Таблица 15.2

Характеристики кабельных наконечников

Кабельные наконечники	КГ60-3	КГ40-2
Наружный диаметр, мм	60	40
Длина, мм	316	280
Допустимое давление, МПа	78,4	78,4
Допустимая температура, °С	180	180

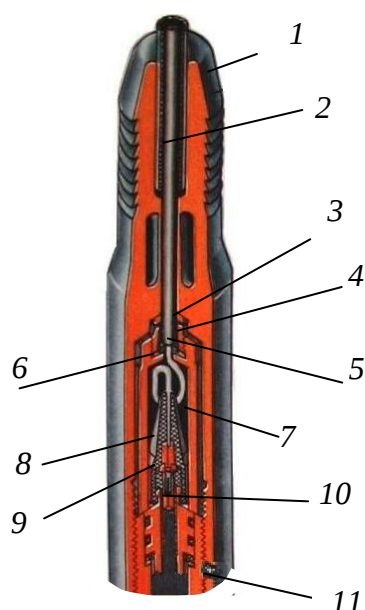


Рис. 15.4. Кабельный наконечник:
1 – корпус; 2 – кабель; 3 – латунная шайба; 4 – зажимная гайка; 5 – конус;
6 – шайба; 7 – зажимной патрон;
8 – резиновая пробка; 9 – винт;
10 – контактный штырь;
11 – стопорный винт

При перфорации скважин обычно используют одножильные кабели.

Для прострелочно-взрывной аппаратуры применяются провода для внутреннего монтажа в приборах, спускаемых в скважину (герметичных корпусных перфораторах и т. п.); наружного монтажа, при котором провода располагаются в скважине в контакте с раствором, нефтью и газом при высоких давлениях и температурах (бескорпусные перфораторы, грунтоносы, торпеды). С целью монтажа электроцепи в аппаратах и приборах для ПВР рекомендуется применять одножильные провода, выпускаемые промышленностью и подходящие по условиям применения.

15.3. Скважинные контрольно-измерительные приборы для прострелочно-взрывных работ

Для осуществления контроля за движением аппарата в скважине, установки его в заданный интервал, производства выстрела и регистрации результатов применяют контрольно-измерительные приборы.

Для контроля за перемещением приборов в обсаженной скважине могут быть использованы локатор муфт, прихватаопределитель, каротажные приборы или специальные устройства, например, малогабаритный сейсμο-приемник, монтируемый в головке прибора и включаемый в разрыв каротажного кабеля.

Скважинные контрольно-измерительные приборы передают информацию в аналоговом или цифровом виде наземному регистрирующему комплексу компьютеризированной геофизической лаборатории, где она соответствующим образом интерпретируется с помощью программного обеспечения.

Динамометр каротажный 1762 ДЭ-К, установленный в каротажном подъемнике, используется для прослеживания за спуском аппаратов с целью исключения перепуска кабеля. Он состоит из тензометрического каротажного преобразователя и комплекта датчиков. Динамометр определяет общее натяжение кабеля в диапазоне нагрузок 0...200 кН, и изменение натяжения кабеля в абсолютных и относительных единицах обеспечивает звуковую и световую сигнализацию превышения допустимого натяжения. Измерение усилий производится двумя каналами ТКП с автоматическим переключением пределов измерений усилий: первый канал производит измерение в абсолютных единицах усилий, измеряемое усилие определяется суммой показаний светового табло и стрелочного прибора, предел показаний светового табло 0...190 кН, дискретность показаний светового табло 10 кН, диапазон показаний стрелочного прибора 0...10 кН; цена деления шкалы стрелочного прибора 0,1 кН; второй канал производит измерение усилий в относительных единицах без указаний пределов измерения, пределы показаний и стрелочного прибора второго канала 0...5 % номинальной нагрузки; цена деления шкалы стрелочного прибора 0,05 % номинальной нагрузки. Питание подается от сети переменного тока: напряжение 220 В, частота 50 Гц.

Локатор муфт предназначен для определения местоположения прострелочно-взрывного аппарата (перфоратора) к заданному интервалу перфорации по его расположению относительно муфтовых соединений обсадной колонны и регистрации полученной информации компьютеризированной геофизической лабораторией.

Локатор муфт состоит из скважинного прибора и наземного оборудования. Скважинный прибор состоит из сердечника с катушкой и двух постоянных магнитов, расположенных по обоим концам катушки и прижатых одноименными полюсами к торцам сердечника. Вся магнитная система помещена в герметичный корпус из немагнитной стали. При прохождении локатора мимо муфты или замкового соединения в катушке индуцируется ЭДС, которая регистрируется на поверхности земли в виде четкой аномалии на кривой намагниченности. Локатор присоединяют к аппарату через отрезок геофизического кабеля. Электросеть взрывного устройства стреляющего аппарата подключена параллельно к катушке локатора через тиристоры. При подаче в кабель инициирующего импульса от взрывного прибора тиристоры отпираются и аппарат срабатывает.

Локатор труб, применяемый для привязки прострелочно-взрывных аппаратов к геологическому разрезу, должен обеспечить следующие операции:

- контроль движения перфоратора при спуско-подъемных операциях;
- привязку прострелочно-взрывного аппарата (перфоратора) к заданному интервалу перфорации по его расположению относительно муфтовых соединений;

- регистрацию фактического интервала перфорации;
- контроль исправности электровзрывной цепи и гарантированное срабатывание перфораторов при применении электродетонаторов защищенного класса (ПГН-150, ПВПД-Н и др.), адаптированных к взрывной машинке ПВВ-1, а также работу с взрывной машинкой КПМ-3 и незащищенными системами электрического взрывания;
- сохранение прочности, герметичности и работоспособности при отстреле совместно с кумулятивным перфоратором;
- совместную работу с программно регистрирующим комплексом в составе компьютеризированной геофизической лаборатории.

Скважинный локатор трубных муфт (ЛТМ) предназначен для привязки прострелочно-взрывного аппарата (перфоратора) к заданному интервалу перфорации по его расположению относительно муфтовых соединений обсадной колонны и регистрации полученной информации компьютеризированной геофизической лабораторией.

Скважинный локатор трубных муфт (ЛТМ) предусматривает варианты исполнения: ЛТМ-36 и ЛТМ-90 с блоками отсечек БО-1 для незащищенных электрических систем и БО-450 при применении электродетонаторов ПВПД-Н и взрывных патронов типа ПГН.

Локатор трубных муфт ЛТМ-36 предназначен для работы с кумулятивными перфораторами типа ПР 43.

Локатор трубных муфт ЛТМ-90 предназначен для работы с кумулятивными перфораторами типа ПКО 89, ПКО 102, ПК 105.

В необсаженных скважинах для установки прострелочно-взрывных аппаратов используют диаграммы электрического, радиоактивного и других видов каротажа. Точную установку аппаратов производят по реперам (пикам и резким изгибам на кривой), которые выделяют при сопоставлении различных видов диаграмм (ПС, ГК, КС, РК и т. п.), вблизи интервала проб пород, пластовой жидкости и газа, или места торпедирования.

В обсаженных скважинах используют каротажные приборы, позволяющие записать четкую кривую в колонне труб – обычно, ГК, НГК, АК и др.

Прихватоопределители предназначены для определения верхней границы зоны прихвата в скважине бурильных или насосно-компрессорных труб. Прихватоопределитель типа ПО состоит из электромагнита, помещенного в корпус из немагнитной стали. Головка и наконечник корпуса являются полюсами электромагнита и изготавливаются из мягкой магнитной стали. Автоматическая запись диаграмм осуществляется каротажным регистратором.

Действие прихватоопределителя основано на свойстве ферромагнитных материалов размагничиваться при деформации. В предполагаемом интервале прихвата колонн труб при спуске прибора в скважину через каждые 10÷25 м намагничивают небольшие участки колонны (ставят магнитные метки на участке 15÷20 см) путем кратковременного (1,5÷2 с) пропускания через катушку постоянного тока. При подъеме прибора производят запись кривой магнитной индукции вдоль исследуемого интервала. Магнитные метки отличаются на кривой резкими аномалиями. Затем к колонне труб при-

кладывают максимально допустимое растягивающее или крутящее усилие, а после снятия нагрузки вновь записывают кривую магнитной индукции в исследуемом интервале. Вследствие упругой деформации намагниченные участки, расположенные выше места прихвата, размагничиваются и магнитные метки на повторной кривой полностью исчезают или уменьшаются по амплитуде. В интервале прихвата, куда деформация не передается, магнитные метки остаются неизменными.

Разработан и выпускается типоразмерный ряд прихватоопределителей для применения в колоннах бурильных и насосно-компрессорных труб: ПО-90, ПО-70, ПО-50, ПО-42, ПО-36, ПО-28, отличающихся поперечными габаритами. Максимально допустимая температура 120 °С, максимально допустимое давление 100 МПа (для ПО-28 – 30 МПа).

Прихватомер конструктивно подобен прихватоопределителю, но имеет электромагнит, создающий более мощное магнитное поле. Его используют для определения зон прихвата бурового инструмента по магнитным меткам и отбивки замков бурильных труб, например, с целью установки торпеды против замкового соединения бурильных труб.

Специальная аппаратура для контроля срабатывания стреляющих аппаратов в скважине позволяет фиксировать факт срабатывания аппаратов, контролировать фактическое положение интервала перфорации, параметры температуры и давления.

Индикатор срабатывания прострелочно-взрывной аппаратуры «АНИС-2002». Предназначен для приема и регистрации акустического и сейсмического сигналов, возникающих при срабатывании в скважине прострелочно-взрывной аппаратуры, опускаемой на геофизическом кабеле или насосно-компрессорных трубах, с целью определения факта и момента срабатывания ПВА. Прибор выполнен в виде наземного блока, устанавливаемого на устье скважины и соединенного кабелем с бортовой ЭВМ. Программное обеспечение позволяет регистрировать и представлять данные в аналоговом и цифровом виде.

Автономный манометр-термометр перфорационный «АМТП73С» предназначен для регистрации давления и температуры непосредственно под перфоратором до, во время, после его подрыва и для записи кривой притока. Прибор может использоваться с перфораторами, спускаемыми как на НКТ, так и на кабеле, позволяет регистрировать информацию о восстановлении давления и изменения температуры в зоне перфорации. Полученная информация представляется в аналоговом и цифровом виде. В приборе применяются прецизионные датчики давления, сохраняющие свои характеристики после многократных воздействий.

При работе с корпусными перфораторами контроль фактического положения перфорации может быть выполнен путем предварительного намагничивания колонны в интервале перфорации и последующей регистрации остаточной намагниченности после выстрела (аппаратура АКП-1).

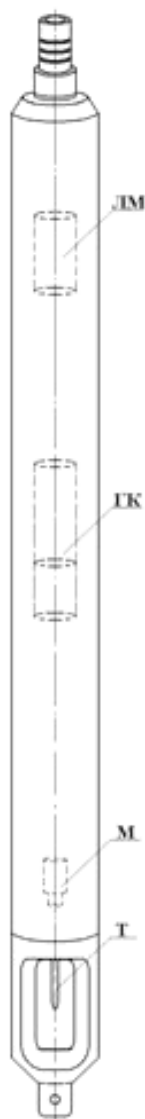


Рис. 15.5. АПК:
ЛМ – локатор муфт;
ГК – модуль гамма-каротажа;
М – манометр,
Т – термометр

Аппаратура контроля перфорации АКП4-90-120(150)/50, АКП4-76-120(150)/80 предназначена для геофизического контроля при проведении перфорации и технического состояния обсадных колонн посредством одновременной регистрации четырех геолого-технологических параметров и передачи информации в цифровом коде через одножильный кабель. Принципиальная схема прибора показана на рис. 15.5.

АПК позволяет одновременно производить измерение температуры, давления и мощности экспозиционной дозы гамма-излучения осадочных пород, определять положения муфтовых соединений обсадных труб и интервалов перфорации с привязкой измеряемых параметров по глубине.

Аналогичное назначение имеют приборы скважинного контроля перфорации Кедр-90П и Кедр-42П.

В специальных случаях возможно применение индукционных дефектомеров, калиброметров-профилемеров, электротермометров, акустического телевизора, акустического шумомера и другой аппаратуры.

При выполнении перфорации на трубах применяют интеллектуальную иницирующую штангу (ШИП), с которой интегрированы контрольно-измерительные приборы.

В настоящее время разработаны и внедрены три модификации ШИПа – автономный (свободный в полете либо в контейнере под перфоратором), кабельный (сброс на кабеле) и дистанционный (с передачей информации по кабелю). В отличие от штанги-лома, используемой при трубной

перфорации, интеллектуальная штанга (ШИП) оснащена манометром и термометром. Помимо основной функции – иницирования перфоратора – она позволяет контролировать и визуализировать весь процесс ПВР начиная с момента сброса штанги и заканчивая регистрацией поведения объекта после вскрытия, с заключением о выходе на окончательную очистку пласта и завершении работ либо с рекомендациями по дальнейшей интенсификации его.

Штанга ШИП-Км, спускаемая на одножильном каротажном кабеле, предназначена для иницирования перфораторов типа ПКТ с одновременной регистрацией давления и температуры до, во время и после взрывного процесса. Штанга оснащена каналом локатора муфт для осуществления привязки результатов регистрации к интервалу перфорации. Передача информации осуществляется на поверхность по кабелю в кодированном виде. Прибор со-

вместим с наземными каротажными станциями типа «КЕДР-02», «ГЕКТОР» и «ВУЛКАН» и может использоваться как в вертикальных, так и в горизонтальных скважинах. Оператор имеет возможность в реальном времени наблюдать и контролировать весь процесс перфорационно-взрывных работ.

Штанги ШИП-А и ШИП-Ам также предназначены для инициирования перфораторов типа ПКТ с одновременной записью давления и температуры до, во время и после взрывного процесса. Для регистрации информации о восстановлении давления в зоне перфорации в приборе предусмотрено задание нескольких режимов разной длительности и частоты.

Возможно использование измерительной части прибора отдельным блоком непосредственно под перфоратором, в затрубном пространстве, а также на забое. Для решения этих задач предусмотрено использование дополнительных устройств.

Для регистрации параметров процесса импульсного воздействия при разрыве и термогазохимической обработке продуктивных пластов применяют скважинные автономные регистраторы давления, размеры которых позволяют работать через НКТ при максимальных регистрируемых давлениях до 200 МПа.

15.4. Источники тока и контрольно-измерительные приборы

При работе с незащищенными системами – электродетонаторами ТЭД, взрывными патронами ПВ-ПД, ПВПД-М, ВП-4, ПГ-170 и др. в качестве источника тока применяют конденсаторные взрывные приборы и машинки, которые состоят из конденсатора-накопителя, зарядного устройства, взрывного переключателя и снабжены неоновой сигнальной лампочкой для подачи сигнала о готовности прибора к работе. Принцип действия взрывных приборов и машинок заключается в относительно медленном ($8 \div 10$ с) зарядании конденсатора до потенциала $600 \div 1000$ В от низковольтного источника тока: гальванических элементов (взрывной прибор) или ручного индуктора (взрывная машинка). После зарядки конденсатора до номинального напряжения загорается на панели сигнальная лампочка, и взрывник, повернув ключ в гнезде в положение «Взрыв», с помощью переключателя посылает во взрывную сеть мощный импульс электрического тока продолжительностью $2 \div 4$ мс и величиной не менее 1 А. Основные характеристики источников тока приведены в табл. 15.3.

С целью безотказного взрывания электродетонаторов (взрывных патронов) взрывной прибор должен послать во взрывную сеть импульс электрического тока величиной не менее импульса воспламенения электродетонатора, а ток в конце импульса должен быть не меньше минимально допустимого. Для электровоспламенителей незащищенных систем, применяемых при ПВР, величина импульса воспламенения составляет $7 \div 17 \text{ А}^2 \cdot \text{мс}$, а минимально ток в конце импульса должен быть не менее 1 А.

Конденсаторные взрывные приборы и машинки

Источник тока	Напряжение на конденсаторе, В	Допустимое сопротивление взрывной сети для электродетонатора, Ом		Источник питания
		ТЭД-165 (200)	ТЭД-260	
Взрывной прибор КВП-1/100	600	220	100	Три элемента 373
Взрывной прибор ПИВ-100М*	600	220	100	То же
Взрывная машинка КПМ-3 1У	1600	600	290	Индуктор (генератор)

* Дополнительно имеет встроенный омметр с диапазоном измерений 60÷400 Ом.

Для обеспечения безотказного взрывания термостойких электродетонаторов в глубоких скважинах выполняется проверочный расчет электровзрывной сети, который сводится к сопоставлению ее электрического сопротивления, измеренного прибором, с расчетным предельно допустимым сопротивлением сети при выбранном источнике тока.

Предельно допустимое сопротивление, при котором обеспечивается условие безотказного взрывания, определяется по формуле, Ом:

$$R = \frac{-K + \sqrt{K^2 + I^2 C^2 U^2}}{I^2 C}, \quad (15.1)$$

где K – импульс воспламенения электродетонатора, $A^2 \cdot ms$;

C – емкость конденсатора взрывного прибора (машинки), Ф;

I – минимально допустимый (гарантированный) ток, А;

U – напряжение на конденсаторе взрывного прибора, В.

В паспорте серийно выпускаемых приборов и машинок обычно указано предельно допустимое сопротивление взрывной сети при взрывании электродетонаторов общего назначения, величина импульса воспламенения которых составляет 2÷4 $A^2 \cdot ms$. Так, например, допустимое сопротивление взрывной сети для КВП-1/100 и ПИВ-100М при использовании электродетонаторов общего назначения составляет 320 Ом, в то время как при применении термостойких детонаторов оно существенно ниже (см. табл. 15.3).

Поэтому приведенное в паспорте значение следует откорректировать по формуле (15.1). При отсутствии сведений о величине импульса воспламенения рекомендуется перед производством прострелочно-взрывных работ взорвать электродетонатор через каротажный кабель на поверхности с соблюдением мер безопасности.

Для измерения сопротивления отдельных ЭД и электровзрывной сети применяют специальные омметры – измерительные мосты: Р-353, Р-3043. Измерительный мост Р-353 предназначен для измерения сопротивлений ЭД и взрывных сетей на земной поверхности. Два диапазона измерений (0,2÷÷50 Ом и 20÷5000 Ом) позволяют измерять значения сопротивлений отдель-

ных изделий и смонтированной взрывной сети с погрешностью $\pm 5\%$. Исполнение прибора нормальное. Масса 1,3 кг.

Измерительный мост Р-3043 предназначен для измерения сопротивлений ЭД и взрывных сетей в шахтах, неопасных и опасных по газу и пыли, а также на земной поверхности. Имеет два диапазона измерений – $0,3 \div 30$ и $30 \div 3000$ Ом с погрешностью $\pm 5\%$. В качестве индикатора служат два светодиода, что позволяет быстро проводить замеры в условиях плохой освещенности. Исполнение прибора искробезопасное. Масса 1,6 кг.

Для работы с защищенными электрическими системами предназначен прибор взрывной высокочастотный ПВВ-1, который выдает высокочастотный взрывной импульс в электровзрывную цепь, состоящую из геофизического кабеля КГ1-53-90, КГ1-55-90, КГ1-55-180, КГ3-60-90, КГ3-60-180 длиной до 6 км и патрона взрывного предохранительного действия ПВ-ПД-Н или патрона герметичного ПГН-150 (165). Условия эксплуатации прибора: температура окружающего воздуха от -40°C до $+35^\circ\text{C}$, верхнее значение относительной влажности 98 % при температуре 35°C .

Структурная схема лицевой панели прибора представлена на рис. 15.6.

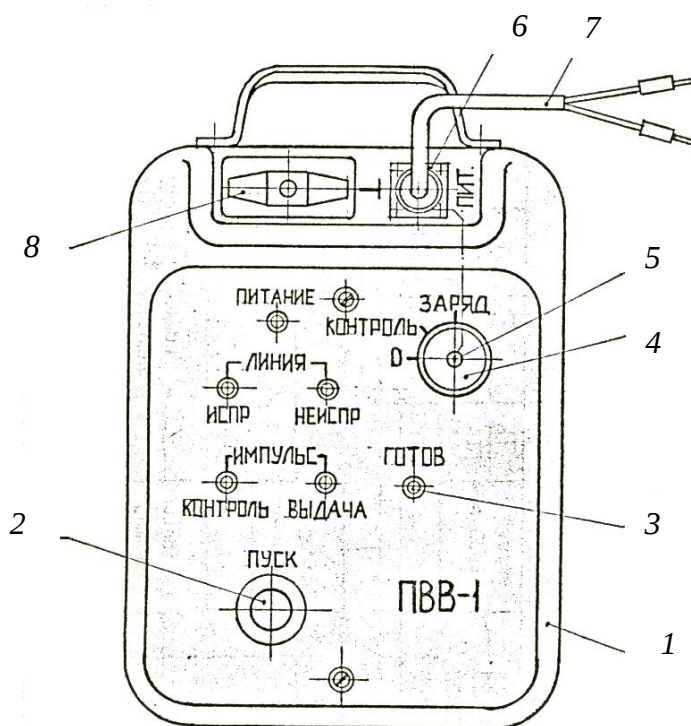


Рис. 15.6. Прибор ПВВ-1:

1 – корпус; 2 – кнопка; 3 – индикаторы; 4 – выключатель;
5 – гнездо выключателя; 6 – соединитель; 7 – кабель; 8 – клемма

Минимальное амплитудное значение импульса тока, выдаваемое с клемм прибора в нагрузку (взрывную цепь) в начале импульса 3А, через 10 мс от начала импульса – 2А. Частота заполнения импульса тока (15 ± 2) кГц. Длительность импульса тока не менее 10 мс. Параметры выдаваемого прибором ПВВ-1 тока должны обеспечиваться на эквиваленте кабеля типа КГ1-53-90

длиной до 6 км с характеристиками $R = (40 \pm 2) \text{ Ом/км}$, $C = (0,11 \pm 0,01) \text{ мкФ/км}$, $L = (1,82 \pm 0,18) \text{ мкГн/км}$ (при $f = 1 \text{ кГц}$) и подключенной на конце кабеля индуктивностью $L = (40 \pm 0,4) \text{ мкГн}$. Время зарядки прибора до готовности к выдаче импульса тока не более 25 с.

ПВВ-1 обеспечивает индикацию исправности линии (взрывной цепи) при активном сопротивлении на клеммах от 50 Ом до 300 Ом (светится индикатор «ИСПР») и индикацию неисправности линии при активном сопротивлении на клеммах менее 20 Ом и более 600 Ом (светится индикатор «НЕ-ИСПР»).

Прибор также обеспечивает световую индикацию наличия напряжения питания более 10,5 В постоянным горением и менее 8 В – прерывистым горением или отсутствием горения индикатора «ПИТАНИЕ».

Прибор ТЕСТ-ЭДТ-А предназначен для контроля патронов взрывных предохранительного действия ПГН-150, ПГН-165 в условиях, не опасных по взрыву газа или пыли. Условия эксплуатации: температура окружающего воздуха от 5 °С до 35 °С, верхнее значение относительной влажности 98 % при температуре 35 °С.

Конструктивно прибор контроля (рис. 15.7) выполнен в виде прямоугольного корпуса, передняя панель которого при транспортировании закрывается крышкой с помощью плоской пружинной защелки.

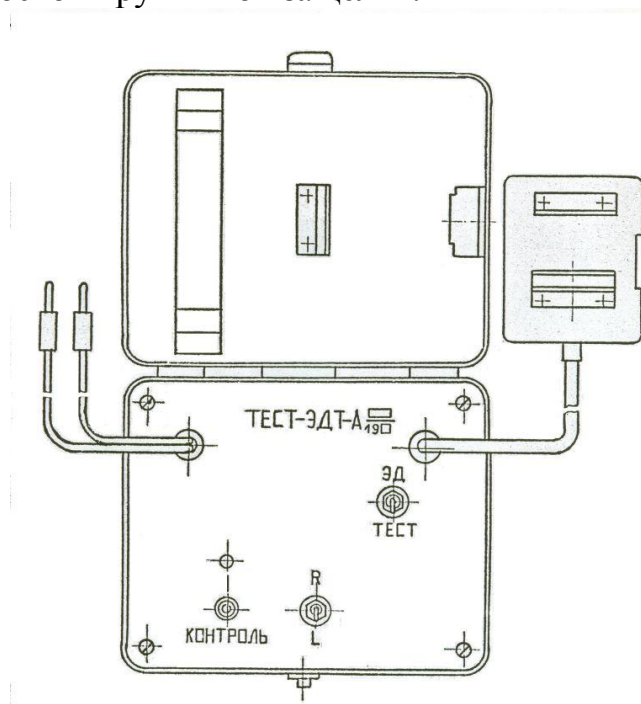


Рис. 15.7. Прибор ТЕСТ-ЭДТ-А

Прибор контроля обеспечивает индикацию исправности контролируемого патрона при активном сопротивлении в его вторичной цепи от 0,5 до 1,0 Ом путем загорания индикатора «КОНТРОЛЬ».

Прибор контроля обеспечивает индикацию исправности контролируемого патрона при индуктивности его первичной цепи, равной или более 30 мкГц путем загорания индикатора «КОНТРОЛЬ».

При неисправности контролируемых параметров индикатор «КОНТРОЛЬ» загорается в прерывистом режиме.

Рабочая частота прибора контроля 40,4 кГц. Максимальное амплитудное значение тока через первичную обмотку патрона не превышает 50 мА. Питание прибора контроля осуществляется от внешнего источника постоянного тока напряжением 12 В.

Габаритные размеры прибора контроля не более (209×182×85) мм, масса прибора контроля не более 1,5 кг.

Прибор ТЕСТ-ЭДТ предназначен для контроля электродетонаторов предохранительного действия ЭД-ПН, не чувствительных к токам промышленной частоты. Конструктивно прибор выполнен в корпусе, аналогичном прибору ТЕСТ-ЭДТ-А. Рабочая частота прибора контроля 60 кГц. Максимальное амплитудное значение тока, проходящего через обмотку связи, не превышает 50 мА.



Рис. 15.8. Приборы ПВВ-1 (а) и ТЕСТ-ЭДТ-А (ТЕСТ-ЭДТ) (б)

Внешний вид приборов ПВВ-1 и ТЕСТ-ЭДТ-А (ТЕСТ-ЭДТ) представлен на рис. 15.8.

15.5. Оборудование для работ при герметизированном устье скважин

При выполнении прострелочно-взрывных работ в условиях депрессии на пласт с целью повышения эффективности и безопасности работ необходимо герметизировать устье скважины.

Для герметизации устья применяется лубрикаторная установка, которая включает собственно лубрикатор, станцию подачи густой смазки, блок насосов, гидравлическую систему управления и сепаратор, размещаемые на специальной или универсальной транспортной базе.

Лубрикатор (рис. 15.9), состоящий из следующих основных частей: уплотнителя, приемной камеры, ловушки и превентора, устанавливается на устьевую фонтанную арматуру и герметически соединяется с ней через переходный фланец.

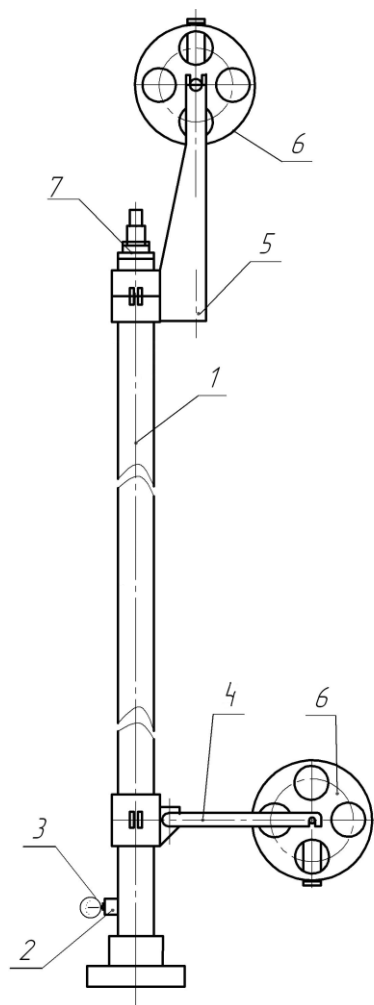


Рис. 15.9 Лубрикатор:
1 – корпус со стыковочным фланцем;
2 – штуцер; 3 – манометр;
4, 5 – кронштейны; 6 – ролики;
7 – устройство герметизации
двухступенчатое

Уплотнитель герметизирует геофизический кабель при спуско-подъемных операциях в скважинах с давлением на устье. Напорные трубки образуют вокруг кабеля узкую кольцевую щель, оказывая сопротивление потоку жидкости через нее, в результате происходит дросселирование и снижение давления жидкости.

Более полная герметикация кабеля достигается подачей в кольцевую щель густой смазки под давлением, которое превышает устьевое давление на $2,5 \div 3,5$ МПа.

Густая смазка подается в нижнюю часть уплотнителя, а отработанная, смешанная с просочившимся скважинным флюидом, сливается из верхней части уплотнителя (из-под сальника) и через отводные трубки поступает в сепаратор.

В лубрикаторах газовых скважин, требующих более тщательной герметизации движущегося кабеля, уплотнитель дополнительно включает лабиринтное устройство.

Сальник служит для удержания кабеля с приборами (аппаратами) и грузами при монтаже и демонтаже лубрикатора на устье скважины и обжатия движущегося кабеля с целью дополнительного снижения утечек скважинного флюида.

Рабочий элемент сальника – резина – обжимается маслом, подаваемым ручным насосом.

В нижней части уплотнителя находится шаровой клапан для предотвращения выброса скважинной жидкости при обрыве кабеля. В этом случае шарик подбрасывается потоком скважинной жидкости и прижимается к седлу, перекрывая центральный канал уплотнителя.

Приемная камера предназначена для размещения приборов или аппаратов и грузов. Она состоит из отдельных секций, соединяемых накидными гайками. Такими же гайками соединяют приемную камеру с уплотнителем, ловушкой и превентором.

Ловушка, снабженная откидной гайкой, предотвращает падение в скважину приборов или аппаратов из приемной камеры при обрыве кабеля. Перед

началом спуска прибора (аппарата) в скважину заслонку открывают. Подъем кабеля осуществляют при закрытой заслонке, в которой имеется паз для прохода кабеля. Извлекаемые из скважины приборы приподнимают заслонку и свободно входят в приемную камеру, затем заслонка закрывается. Заход приборов или грузов в приемную камеру контролируют визуально по наружному рычагу, связанному с заслонкой. Заслонка имеет механизм захвата кабеля на случай его обрыва при подъеме, когда аппарат находится в скважине. Захват кабеля осуществляют контактирующими с ним роликами, скользящими в сходящихся пазах. Механизм захвата кабеля и шаровой клапан уплотнителя имеются только в лубрикаторе Л-210.

Превентор позволяет плавно устанавливать и прекращать сообщение скважины с лубрикатором, контролировать и регулировать давление в лубрикаторе, герметично перекрывать устье скважины в аварийной ситуации как кабелем, так и без него. Перекрытие устья скважины достигается плашками, которыми можно управлять дистанционно (гидравликой) или вручную.

Грузоподъемное устройство служит для монтажа и демонтажа лубрикатора, фиксирования его на время работы в вертикальном положении под натяжением и укомплектовано подвесным и направляющим блоками для геофизического кабеля, грузозахватным приспособлением, закрепляемым на верхней части лубрикатора. В качестве грузоподъемного устройства используют специальную монтажную вышку, размещаемую вместе с лубрикатором на базе грузового автомобиля повышенной проходимости.

Монтаж лубрикатора производят в следующем порядке. Сначала на фонтанную арматуру устанавливают превентор и ловушку. Затем к кабелю, пропущенному через уплотнитель и приемную камеру, присоединяют прибор (аппарат) и грузы, втягивают их в приемную камеру, а кабель зажимают сальником. После этого приемную камеру с уплотнителем устанавливают на ловушку и закрепляют. Масса грузов должна быть достаточной, чтобы преодолеть силу выталкивания кабеля давлением на устье скважины и силу трения кабеля в сальнике.

16. ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ, ЗАРЯЖАНИЯ И РАЗРЯЖАНИЯ, ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНОЙ АППАРАТУРЫ И ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ

16.1. Зарядные мастерские

Заряжание скважинных прострелочных аппаратов: перфораторов, пороховых генераторов давления, грунтоносов и др. — производят в специальных зарядных мастерских.

Зарядные мастерские бывают стационарные (постоянные и временные) и передвижные (лаборатории перфораторных станций).

Стационарные зарядные мастерские сооружают по проектам, разрабатываемым специализированными организациями, которые подлежат экспертизе, утверждаемой органом Ростехнадзора России.

Постоянная зарядная мастерская имеет срок службы более трех лет и располагается обычно при расходных складах взрывчатых материалов. Помещение постоянной зарядной мастерской имеет комнаты для разборки и мойки аппаратов, их сушки, сборки и заряжания, отдельные кладовые для хранения неокончательно снаряженных аппаратов и ВМ, изолированную комнату или кабину со специальными приспособлениями для разряжения отказавших аппаратов.

Помещения зарядной мастерской должны иметь огнестойкие стены толщиной не менее 25 см, окна зарядной комнаты – располагаться не ниже 1,7 м от пола, пол зарядной камеры – покрыт линолиумом или резиновыми матами. Осветительная аппаратура должна быть во взрывобезопасном исполнении, электролампы – иметь предохранительные колпаки; выключатели – установлены вне помещения. Запрещается установка электродвигателей, рубильников и электросиловых установок в комнатах, отведенных для заряжания и разряжения аппаратов. Помещения зарядной мастерской должны быть обеспечены средствами пожаротушения, номенклатура, количество и расположение которых устанавливаются проектом.

Неокончательное снаряжение аппаратов производится в отдельной специально оборудованной комнате. Столы и верстаки для заряжания покрывают линолеумом, резиной или алюминиевым листом и оборудуют тисками и зажимами. Рабочие места заряжающих отделяют друг от друга защитной перегородкой высотой не менее 1,5 м. В одной комнате одновременно следует заряжать только один вид аппаратуры. Подготовка зарядных комплектов, зарядных патронов, электродетонаторов, электровоспламенителей, детонирующих шнуров и других ВМ должна выполняться на отдельных столах. Число подготавливаемых зарядов и средств инициирования не должно превышать сменной потребности.

В кладовой для ВМ, идущих на заряжание, каждую группу взрывчатых материалов хранят в отдельном сейфе или ящике, запираемых на замок. В кладовой для хранения неокончательно снаряженных аппаратов устраивают деревянные стеллажи или шахту. Стены шахты укрепляют каменной (бетонной) или деревянной облицовкой. Внутри шахты делают ячейки для аппаратов, над шахтой устанавливают подъемное приспособление (без электропривода). Аппараты можно хранить в сотовом хранилище, состоящем из горизонтально расположенных металлических труб, промежутки между которыми заполнены бетоном.

Временная зарядная мастерская имеет срок службы до трех лет и может быть оборудована в каменном или деревянном строении, полууглубленной землянке и т. п. Деревянные конструкции должны быть обработаны противопожарными составами или оштукатурены. При небольших объемах работ, по согласованию с органами Ростехнадзора, количество комнат временной зарядной мастерской может быть уменьшено до двух: одна – для хранения ВМ и неокончательно заряженных аппаратов, а другая – для

зарядки и разрядки аппаратов при условии, что эти операции выполняются одновременно. Мыть, чистить и сушить аппараты можно и в помещениях, расположенных вне зарядных мастерских. Общие требования к оборудованию и эксплуатации временной зарядной мастерской те же, что и для постоянной.

Отстрелочный стенд, предназначенный для испытания отстрелом и уничтожения отказавших ВМ и аппаратов, обычно устраивают при зарядной мастерской или в специально отведенном месте, удаленном на безопасное расстояние от охраняемых объектов. Отстрелочный стенд представляет собой яму (колодец) глубиной не менее 2 м с расположенным над ней помещением и подъемным механизмом (без электропривода). Стены и пол ямы укрепляют бетоном, камнем или деревом; сверху яму перекрывают металлическим листом. Если над ямой нет наземного помещения, то по ее периметру устраивается ограждение высотой не менее 1,5 м, расположенное на расстоянии не ближе 5 м от ямы. Количество ВМ (масса ВВ), взрывааемых за один прием, устанавливается проектом.

16.2. Лаборатории перфораторных станций

Лаборатория перфораторных станций (ЛПС) или **передвижная зарядная мастерская** предназначена для перевозки к скважинам небольших количеств ВМ и аппаратов, в том числе и неокончательно заряженных, а также их зарядки на скважинах и кратковременного хранения на местах проведения работ.

Лаборатория размещается на шасси автомобилей ЗИЛ-131 (ЛПС-7), УРАЛ или КАМАЗ (ЛПС-8) и др. в специальном термокузове (рис. 16.1). Внутренние стены и потолок кузова выполнены из фанеры, покрытой огнезащитным составом. Пол кузова – ровный, покрыт резиной без зазоров. Рифления на листах резины расположены вдоль оси кузова. Высота потолка кузова не менее 2,0 м. На боковых стенках кузова размещено по два окна с двойным остеклением из стеклопакетов с автомобильными стеклами. Все окна в кузове имеют внутренние металлические решетки. Кузов оборудован откидными сидениями для перевозки персонала отряда.

Оборудование автомобилей соответствует «Единым правилам безопасности при взрывных работах» (2001 г.) и «Правилам перевозки опасных грузов автомобильным транспортом» (1995 г.).

В задней стенке кузова выполнена двустворчатая дверь, открывающаяся наружу. Створки двери могут быть зафиксированы в открытом положении. Двери кузова с внутренним замком имеют приспособление, препятствующее их открытию при движении автомобиля. Двери оборудованы сигнализацией, выведенной в кабину водителя.

Кузов оборудован выдвижной (откидной) лестницей с поручнем. В кузове устанавливается отопитель, обеспечивающий температуру внутри не ниже +15 °С при температуре внешней среды –40 °С. Рабочие места в кузове освещаются электролампами со штифтовым цоколем в потолочных плафонах защищенного типа. Для освещения площадки работ у устья

скважины внешняя сторона стенки кузова оборудована поворотной фарой-прожектором.



Рис. 16.1. Лаборатории перфораторных станций (ЛПС)

Электрическое оборудование автомобиля отвечает следующим требованиям:

- номинальное напряжение не превышает 24 В;
- электропроводка имеет бесшовную изоляцию, исключающую короткое замыкание, которая проложена так, что не может повредиться от ударов и трения о части автомобиля. Не подвергается коррозии.

В кузове имеется заземляющий провод со струбциной, соединенной с контуром заземления лаборатории. На задней стенке кузова предусмотрено крепление огнетушителей, лопаты, топора, аптечки.

На полу кузова размещены и закреплены:

- стеллаж для перевозки ПВА с ячейками, позволяющими перевозить в закреплённом состоянии аппараты ПВА диаметром 105 мм;

- стол с выдвижными ящиками, тисками, цепным зажимом, роликовыми опорами;
- запирающийся металлический ящик с пеналом для перевозки средств инициирования;
- запирающиеся ящики для перевозки зарядов взрывчатых веществ (ВВ), удаленные от средств инициирования (СИ);
- ящики для инструментов, приспособлений;
- диваны (сидения) для отдыха персонала;

Выпускная труба глушителя вынесена в правую сторону перед радиатором. Топливные баки оборудованы металлическими щитками со стороны передней, задней и боковой наружных стенок, а со стороны днища установлены стальная сетка ячейками размером 10х10 мм (перфорированный лист), расстояние от топливного бака до щитков и сетки не менее 20 мм. Баки удалены от двигателя, электрических проводов и выпускной трубы так, чтобы в случае утечки горючего оно выливалось непосредственно на землю. Автомобиль оборудован металлической цепочкой с касанием земли на длине 200 мм и металлическим штырем для защиты от статических и атмосферных электрических разрядов на стоянке. Автомобиль имеет приспособление для отключения аккумулятора от электрической цепи с помощью двухполюсного выключателя, который расположен у аккумулятора. Привод управления выключателем находится как в кабине водителя, так и снаружи транспортного средства. Он легко доступен и обозначается отличительным знаком. Выключатель выполнен так, чтобы его контакты могли размыкаться при работающем двигателе, не вызывая при этом опасных перегрузок электрической цепи. Крепление таблиц системы информации об опасности производится с помощью специальных устройств, обеспечивающих их надежную фиксацию.

Примерный состав комплектации ЛПС:

- взрывной прибор ПВВ-1;
- комбинированный прибор типа Ц 4313;
- заземляющий болт с гайкой, проводом, струбциной;
- держатели для зарядки перфораторов – 2 шт.;
- складные опоры для зарядки перфораторов вне лаборатории – 2 шт.;
- ремни для переноски ПВА (1 комплект);
- пенал для переноски средств инициирования к ПВА;
- лента стальная мерная геодезическая $L = 20$ м;
- капроновый шнур $D = 10$ мм и $L = 10$ м;
- ручные инструменты (топор, лопата, ведро оцинкованное, кувалда, лом, ножовка по металлу);
- ключи рычажные – 2 шт.;
- набор слесарных инструментов;
- тиски слесарные $L = 120$ мм;
- проблесковый маячок (желтый);
- светоотражающие знаки аварийной остановки – 2 шт.;
- дорожные знаки «опасность» – 2 шт.;
- таблицы СИО информационные – 2 шт.;
- красные флажки с дюралевым древком – 4 шт.;
- автомобильная аптечка (нового образца);
- огнетушители не менее 5 литров каждый – 3 шт.;
- противооткатные упоры – 2 шт.

Лаборатория ЛПС5 смонтирована на базе автомобиля УАЗ-3962. Лаборатория предназначена для обеспечения прострелочно-взрывных работ, проводимых в основном в скважинах структурно-картировочных, бурящихся на уголь, руды, воду и другие полезные ископаемые, в которых применяются преимущественно малогабаритные аппараты.

При выполнении прострелочно-взрывных работ в районах Крайнего Севера и труднопроходимых дорожных условиях ЛПС оборудуется на базе гусеничного транспортера.

16.3. Сборка и зарядание аппаратов

Зарядание стреляющего или взрывного аппарата – оснащение взрывчатыми материалами – представляет часть процесса сборки, разрядание – удаление ВМ – часть операций разборки. Операции, связанные с заряданием или разряданием, выделяют из общего процесса сборки или разборки аппарата, чтобы обратить особое внимание и обеспечить безопасность при манипуляциях с ВМ.

Большинство типов стреляющих и взрывных аппаратов поступают в геофизические предприятия незаряженными (без ВМ), частично собранными или разобранными; взрывчатые материалы (заряды и средства инициирования) получают отдельно в снаряженном виде. Некоторые аппараты, например кумулятивные торпеды типа ТКО, бескорпусные перфораторы типа ПР, наполняют взрывчатыми веществами (снаряжают) на заводе-изготовителе и в снаряженном виде, без средств инициирования (СИ) поставляют геофизическим предприятиям. Для использования в скважине аппараты собирают и заряжают.

В стационарных и передвижных зарядных мастерских, а также в специально приспособленных помещениях вблизи скважин можно производить только неокончательное зарядание аппаратов, т. е. оснащение их зарядами, детонирующим шнуром.

Окончательное зарядание аппаратов – установку СИ (взрывных патронов, детонаторов, электровоспламенителей), дающих первичный импульс, необходимо производить только непосредственно перед спуском аппарата в скважину – у устья. Боковые стреляющие грунтоносы селективного действия, лишенные элементов форсирования выстрела, разрешено заряжать окончательно в зарядных мастерских, т. е. устанавливая унитарные заряды, снабженные электровоспламенителями. При хранении и транспортировании окончательно заряженного грунтоноса должны быть закорочены контакты штепсельного разъема.

Выделяют стадии сборки и зарядания аппаратов:

Незаряженный аппарат представляет собой частично собранный аппарат, не содержащий ВМ.

Неокончательно заряженный аппарат – аппарат с ВМ, кроме средств инициирования, дающих первичный импульс.

Снаряженный аппарат (часть аппарата) – аппарат (часть аппарата), заполненный ВВ в заводских условиях без СИ.

Окончательно заряженный аппарат – аппарат, содержащий необходимые ВМ, включая средства инициирования; является одновременно полностью собранным аппаратом, подготовленным к спуску в скважину.

Стреляющие и взрывные аппараты собирают и заряжают, руководствуясь техническими описаниями и инструкциями по эксплуатации аппаратов и входящих в них ВМ, а также ПБ.

Операции по заряданию и разряданию аппаратов выполняют лица, которые допущены к производству этого вида взрывных работ и прошли специальный инструктаж. Присутствие посторонних лиц не допускается. Рабочее место должно быть очищено и освобождено от лишних предметов.

Перед сборкой и заряданием с аппаратов удаляют смазку, части и детали аппаратов, заряды, дефектные отбраковывают. Проверяют состояние поверхности деталей, сохранность и полноту резьб, качество обработки поверхностей посадочных мест и элементов уплотнения, наличие заходных фасок, размеры зарядных камер и чистоту каналов. Не допускаются забоины, вмятины, трещины, заусенцы и непритупленные острые углы, которыми можно повредить руки, взрывчатые материалы (детонирующий шнур, пороховой заряд) либо резиновые уплотнительные детали. Рабочая поверхность последних должна быть гладкой, а детали эластичными.

Аппараты многократного использования разбирают, чистят, моют, сушат, собирают и заряжают вновь перед каждым спуском в скважину. Корпус аппарата многократного использования не должен иметь раздутий, превышающих допустимые. Часть резиновых уплотнительных колец при многократном уплотнении, сохранивших свои размеры и форму после пребывания в скважине, используют повторно; это учитывается при комплектовании поставок. Резиновые уплотнительные кольца некоторых типов аппаратов унифицированы и могут быть заимствованы.

Перед заряданием аппаратов, содержащих перемещающиеся при их действии детали (кумулятивных перфораторов и осевых торпед, спускаемых на трубах, взрывных пакеров и др.), производят контрольную сборку соответствующих элементов без резиновых уплотнительных деталей и проверяют плавность хода частей и работоспособность элементов в целом.

Перед выездом на скважину для проведения работ с перфораторами типа ПКТ необходимо произвести проверку резьбовых соединений корпусов перфоратора и переходников, обратив особое внимание на проточки в переходниках для установки в них резиновых колец, обеспечивающих герметизацию перфоратора.

При отрицательных температурах резиновые изделия перед установкой в ПВА необходимо выдержать не менее 2 часов при температуре от 0 до +25 °С. Повторное использование уплотнительных колец запрещается.

Для выполнения работ по перфорации скважин перфоратором ПКТ подбирается необходимое количество корпусов, каркасов, втулок с центрирующими кольцами. Определяется и проверяется требуемое количество узлов передачи детонации.

Механическая часть инициирующей головки собирается на складе ВМ, согласно инструкции по эксплуатации и чертежам сборки.

Перед снаряжением перфоратора необходимо убедиться в его герметичности в связи с конкретными скважинными условиями. Для этого производят спуск неснаряженного загерметизированного перфоратора в планируемый интервал перфорации. Целесообразность спуска неснаряженного перфоратора оговаривается с Заказчиком, и данная операция вносится в план работ.

Если в аппарате есть смонтированная электрическая схема и герметичные изолированные электровводы, проверяют сопротивление электрической цепи и изоляции. У кумулятивных зарядов проверяют целостность оболочки и шашки ВВ, наличие кумулятивной облицовки (у негерметичных зарядов), прочность приклеивания манжеты или частей оболочки. У прессованных пороховых и фугасных зарядов на поверхности не должно быть сколов и выкрашиваний. Детонирующие шнуры проверяют особенно тщательно, они не должны иметь повреждений оболочки, наслоений, бугров, утонений и пропусков сердцевины.

У электровоспламенителей, электродетонаторов, взрывных патронов и пиропатронов проверяют целостность, измеряют сопротивление или определяют исправность (защищенные системы) контрольно-измерительными приборами; при этом проверяемое устройство помещают за непробиваемую преграду.

Перед началом сборки проверяют свинчиваемость резьбовых соединений и собираемость элементов и аппаратов в целом. Операции зарядания и сборки стреляющих и взрывных аппаратов необходимо выполнять тщательно. При зарядании аппаратов взрывчатые материалы (заряды и средства инициирования) должны входить в камеры или гнезда свободно, без приложения усилий. При сборке корпуса аппарата необходимо обеспечить надежную герметизацию мест соединения его частей, боковых окон, ствольных каналов, электровводов. Резиновые уплотнительные кольца, установленные с натягом в соответствующие канавки, обязательно должны выступать из них; утопание колец в канавках недопустимо. Резиновые кольца, помещенные в канавки, и резьбы перед сборкой смазывают техническим вазелином или другой консистентной смазкой соответствующей термостойкости: ЦИАТИМ-221 до 150 °С, УНИОЛ-1 до 200 °С, ВНИИНП-233 – 200÷280 °С. Резиновые уплотнительные пробки должны входить гнезда с натягом. Необходимо, чтобы электропровода взрывной цепи были прочно соединены между собой и с соответствующими контактами, места соединения надежно изолированы, а наружные – еще и загерметизированы. Зарядные камеры и огнепроводные каналы должны быть сухими и чистыми; остатки влаги или смазки могут привести к отказу аппарата вследствие увлажнения или флегматизирования заряда и средств инициирования, а также из-за непередачи луча огня.

При зарядании аппаратов, в которых используют детонирующий шнур, необходимо обеспечить надежный контакт между ДШ и соответствующими элементами средств инициирования и зарядов, исключить возможность нарушения этого контакта при транспортировании и спуске аппарата в скважину.

Свободный конец ДШ во избежание высыпания сердцевины обматывают изолентой, а в бескорпусных аппаратах предварительно еще и герметизируют.

Заряжание и сборку ПВА выполняют по общей схеме, включающей следующие операции:

- установку в определенной последовательности зарядов в корпуса или каркасы;
- прокладывание детонирующего шнура или взрывной цепи по донной части зарядов (перфораторов);
- протягивание запального провода;
- герметизацию гнездовых ствольных, запальных отверстий, каналов, соединений;
- установку средств взрывания и воспламенения;
- присоединение детонирующего шнура к детонаторам, взрывным патронам и запального провода к электрозапалам.

При заряжании кумулятивных корпусных перфораторов многократного использования заряды вставляют в корпус с помощью специальных зажимов – клещей. В перфораторах типа ПК предварительно через отверстие в заряде протягивают детонирующий шнур, не допуская повреждения малопрочной бумажнолитой оболочки заряда. Особое внимание следует уделить очистке гнезда в корпусе перфоратора под хвостовик заряда, правильной установке и надежному закреплению заряда в корпусе, качеству деталей герметизации боковых окон и тщательности их установки. Ввинтные пробки затягивают специальным ключом, резиновые пробки (заглушки) устанавливают поверх дюралевого диска в ствольные отверстия и раскрепляют с помощью молотка (из материала, не дающего искр при ударе), излишек материала пробки срезают ножом.

При заряжании кумулятивных корпусных перфораторов однократного использования типа ПКО и перфораторов типа ПКТ, спускаемых на насосно-компрессорных трубах, особое внимание следует обратить на тщательную сборку гирлянды кумулятивных зарядов с детонирующим шнуром и устройствами инициирования, а также на крепление ее в корпусе перфоратора. В перфораторах ПКО детонирующий шнур пропускают через паз в заряде, не допуская повреждения оболочки ДШ кромками металлической оболочки заряда.

При заряжании кумулятивных ленточных перфораторов типа ПКС необходимо следить за правильным расположением зарядов в гнездах ленты и чередованием соседних зарядов. Заряды прочно закрепляют на ленте, скручивая выштампованные в ней крючки с помощью специального ключа. Должно быть исключено повреждение оболочки детонирующего шнура.

Заряжание кумулятивных разрушающихся перфораторов типа КПРУ, КП-Л, ПКМР заключается в сборке гирлянды герметичных зарядов в каркасе, образуемом из отдельных обоек, монтаже детонирующего шнура и электроцепи, установке взрывного патрона. Заряжание перфораторов типа ПР, поставляемых в виде готовых секций заводского снаряжения со встроенной детонационной цепью, сводится к контролю наличия ВВ в ней, сборке секций между собой, монтажу электроцепи и установке взрывного патрона.

При зарядании пулевых перфораторов и боковых стреляющих грунтоносов особое внимание обращают на чистоту и состояние поверхности зарядных камер, огнепроводных и ствольных каналов, на прочность соединения обтюраторов с пулями в перфораторах, на надежность крепления бойков с помощью тросов к корпусу грунтоноса.

16.4. Отказы ПВА, разряжение и разборка аппаратов, уничтожение ВМ и ПВА

Под отказом понимается полное или частичное отсутствие детонации заряда, его части или группы зарядов после послышки во взрывную сеть иницирующего импульса. Во всех случаях, когда заряды не могут быть взорваны по причинам технического характера, они также рассматриваются как отказы.

Причиной отказа могут быть как неисправности ПВА, так и неисправности взаимодействующего с ним оборудования – каротажного кабеля, насосно-компрессорных или бурильных труб при спуске на них ПВА, механизмов для выполнения спуско-подъемных операций и др., а также неудовлетворительное качество применяемых ВМ.

Факт несрабатывания ПВА устанавливается по показаниям (индикации) геофизической аппаратуры контроля факта взрыва или по отсутствию внешних, наблюдаемых оператором проявлений: звука, рывка геофизического кабеля или сдвига труб, повышения давления в скважине с герметизированным устьем и других признаков.

При несрабатывании ПВА в первую очередь следует проверить исправность взрывного прибора и наземной части электровзрывной сети циркуляционной системы (при взрывании ПВА, спускаемого на трубах). При их исправности считать возможной причиной несрабатывания неисправность геофизического кабеля либо ПВА (при работах с ПВА на кабеле), стреляющей головки либо ПВА (при работах с ПВА на трубах); для окончательного выяснения характера неисправности поднять ПВА на поверхность.

Перед подъемом аппарата кабель отключают от источника тока, наземные концы электровзрывной сети вначале закорачиваются, а затем размыкаются и изолируются. Подъем отказавшего перфоратора выполняется со скоростью не выше 3000 м/час, при подходе к устью скорость должна быть снижена до 250 м/час.

Не допускается подсоединение к кабелю любой наземной регистрирующей аппаратуры. При применении аппарата, спускаемого на трубах, во время подъема необходимо исключить попадание в колонну труб посторонних предметов.

После подъема ПВА на поверхность следует установить и по возможности устранить причину отказа.

В случае использования ПВА, спускаемого на кабеле, после отсоединения ПВА от кабеля (кабельного наконечника, кабельной головки) следует проверить исправность кабеля и всей внешней ЭВС. При отсутствии неисправностей во внешней ЭВС следует считать ПВА отказавшим и приступить к даль-

нейшему выяснению и устранению причины отказа. При обнаружении в них неисправности (обрыва или замыкания жил, недопустимого снижения сопротивления изоляции и др.) следует устранить неисправность и приступить к повторному спуску ПВА в скважину.

В случае использования ПВА, спускаемого на трубах, следует отвинтить от корпуса ПВА узлы, включающие ударный механизм и устройство инициирования, установить причину неисправности ударного механизма, устранить ее и приступить к повторному спуску аппарата. При отсутствии неисправностей в ударном механизме (устройство инициирования сработало) следует считать ПВА отказавшим и приступить к дальнейшему выяснению и устранению причин отказа.

Сразу же после подъема отказавшего аппарата из него извлекают взрывной патрон или другое средство инициирования, дающее первичный импульс. Проводники извлеченного СИ закорачивают. Аппарат закрепляют в удобном и безопасном месте и разряжают в последовательности, обратной заряджанию. Разряжение и необходимую при этом разборку продолжают до выявления причины отказа. Целостность и сопротивление (исправность) электрической цепи средства инициирования, извлеченного из отказавшего аппарата, и самого аппарата, лишенного СИ, проверяют с помощью КИП (Р-3043, ТЭСТ-ЭДТ и др.); при этом средства инициирования или аппарат помещают в защитный кожух или безопасное место.

Разборка отстрелянного аппарата, извлеченного из скважины, также требует осторожности, так как в его полости иногда сохраняется повышенное давление оставшихся газообразных продуктов превращения ВВ.

В кумулятивных корпусных перфораторах типов ПК, ПКО, ПКТ это связано с закупориванием остатками зарядов и загустевшим раствором отверстий, пробитых в стенках корпуса или в винтовых пробках. Поэтому перед началом отвинчивания наконечника или пробки следует убедиться в том, что хотя бы некоторые из простреленных отверстий не закупорены и в полости корпуса нет избыточного давления. В противном случае необходимо вначале осторожно, находясь на расстоянии, вскрыть часть закупоренных отверстий, пользуясь длинным крючком или изогнутой спицей. При отвинчивании наконечника аппарата или боковых пробок, при извлечении резиновых пробок и опорных дисков нельзя находиться напротив них. Детально процесс разборки и разряжения конкретных аппаратов описан в соответствующих инструкциях по эксплуатации. Персоналу геофизических предприятий разрешено разбирать и разряжать только те изделия, содержащие взрывчатые материалы, которые он имеет право собирать и заряжать. Аппараты или их части, снаряженные в заводских условиях, кумулятивные, фугасные и пороховые заряды, взрывные патроны, детонаторы, пиропатроны, электровоспламенители, устройства инициирования и передачи детонации, а также другие СИ разбирать и разряжать запрещено.

Если в отказавшем аппарате герметичность не нарушена и зарядные комплекты не повреждены, а обнаруженная неисправность электроцепи может быть устранена, аппарат после замены средств инициирования вновь

спускают в скважину. Когда отказ произошел по причинам, которые нельзя устранить без разборки аппарата, его разряжают. Перфораторы типов ПКОТ, ПКОС, ПКТ с опорными трубами, подвергнувшиеся обжатию в скважине, разряжать нельзя, их уничтожают методом взрывания с соблюдением ПБ при ВР. Повторный спуск в скважину неповрежденных и незамокших зарядных компонентов допускается при условии, что в течение предыдущего и повторного спусков в скважину не будет исчерпан ресурс термостойкости ВМ, т. е. не будет превышено допустимое для определенной температуры время пребывания ВМ в скважине.

Замокшие или поврежденные заряды и другие взрывчатые материалы по возможности извлекают из аппаратов и уничтожают по установленным правилам. При затруднениях аппарат уничтожают не разряжая. Если у торпеды отказал взрывной патрон (взрыватель), вставляемый снаружи, то его заменяют другим и торпеду спускают в скважину вторично.

Когда отказ торпеды нельзя устранить заменой взрывного патрона или исправлением электроцепи, торпеду уничтожают не разряжая, с соблюдением действующих правил.

Если причиной несрабатывания ПВА явились устранимые неисправности (обрывы проводов, нарушения контактов в ЭВС аппарата и др.), а изделия зарядного комплекта пригодны к повторному использованию и не подлежат уничтожению, отказ может считаться ликвидированным. Регистрация его в «Журнале регистрации отказов при взрывных работах» не производится.

В случае невозможности подъема из скважины аппарата после случившегося отказа или невозможности его установки в заданном интервале (при заклиниваниях, обрывах кабеля или труб и пр.) дальнейшие работы необходимо проводить в соответствии с планом ликвидации аварии. При этом отказ должен быть зарегистрирован в «Журнале регистрации отказов при взрывных работах» и о нем должен быть поставлен в известность территориальный орган Ростехнадзора России.

Не пригодные к применению ВМ и не поддающиеся разборке и разряжанию ПВА уничтожают или отстреливают на стенде либо в соответственно оборудованном месте (полигоне) с соблюдением ПБ при ВР. Порядок уничтожения ВМ и ПВА с учетом конкретных условий, как правило, устанавливается типовым проектом на ПВР или инструкцией по уничтожению ВМ и ПВА, действующих в организации и разработанных в соответствии с инструкциями на применяемые взрывчатые материалы и другой нормативной документацией.

Последующему уничтожению подлежат:

- ПВА, не поддающиеся разборке из-за полученных механических повреждений;

- изделия зарядного комплекта ПВА, не пригодные к дальнейшему применению из-за полученных ими повреждений (потерявшие герметичность, деформированные и т. д.), исчерпавшие лимит времени по пребыванию в условиях высоких температур;

– изделия зарядного комплекта ПВА, извлеченные из аппарата при неполном его срабатывании.

Во всех указанных случаях ПВА или изделия его зарядного комплекта регистрируются в «Журнале ликвидации отказов».

Уничтожение зарядов ВВ (кроме пороховых), взрывных патронов, взрывателей, детонаторов, торпед, аппаратов, содержащих бризантное ВВ и не поддающихся разряжению, следует производить электровзрыванием с применением наружных (накладных) зарядов в условиях, гарантирующих безопасность от разлета осколков и поражения ударной волной.

Накладной заряд располагают сверху, непосредственно на уничтожаемых ВМ. Одновременное уничтожение в одной яме нескольких торпед или неразряженных аппаратов запрещается.

Выход взрывника из укрытия после взрыва разрешается только после проветривания, отсоединения взрывной сети от источника тока и замыкания ее накоротко, но не ранее чем через 5 мин. Если при подаче напряжения взрыва не произошло, взрывник обязан отсоединить от прибора (источника тока) электровзрывную сеть, замкнуть накоротко ее концы, взять с собой ключ от прибора (ящика, в котором находится взрывное устройство) и только после этого выяснить причину отказа.

После взрыва следует проверить полноту уничтожения торпеды, аппарата, других ВМ. Пороховые заряды и воспламенители уничтожают сжиганием на костре с соблюдением ПБ при ВР.

17. ОРГАНИЗАЦИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ РАБОТ

17.1. Организация и документирование работ

Прострелочно-взрывные работы в скважинах выполняют перфораторные, перфораторно-торпедировочные и каротажно-перфораторные отряды или партии, обычно входящие в состав геофизического (промыслово-геофизического) предприятия.

Перфораторные, перфораторно-торпедировочные и каротажно-перфораторные отряды и партии организуют в зависимости от планируемых видов, объемов ПВР и территориального расположения обслуживаемых скважин.

Состав отрядов (партий) определяется штатным расписанием и тарифно-квалификационным справочником в соответствии с действующими «Едиными нормами времени на геофизические исследования в скважинах».

Руководителям и исполнителям ПВР необходимо иметь «Единую книжку взрывника», соответственно, с правом руководства или производства этих работ. Методическое и техническое руководство отрядами и партиями, а также контроль за их работой возлагаются на руководителя взрывных работ или технического руководителя геофизического (промыслово-геофизического) предприятия.

Прострелочно-взрывные работы в скважинах производят на основании заявок заказчика (геологоразведочных, буровых, нефте- и газопромысловых организаций).

Все прострелочно-взрывные работы в скважинах выполняются в соответствии с «Техническим проектом на производство прострелочно-взрывных работ в скважинах», который разрабатывается организацией-подрядчиком, утверждается техническими руководителями организации-подрядчика и организации-заказчика или назначенными ими лицами.

Технический проект вводится в действие приказом руководителя организации.

Текущие заявки заказчика на проведение ПВР и необходимые сведения о скважине вносят в «Журнал регистрации поступления и выполнения заявок на ПВР», который ведет диспетчер геофизического предприятия (лица, назначенные приказом руководителя организации). На основании зарегистрированной заявки отряду (партии) выдают «Индивидуальный технический проект на производство ПВР в конкретной скважине». Для учета выдачи и расхода ВМ на производство ПВР в скважине отряд (партия) получает наряд-путевку, являющуюся после окончания работ и отметки о сдаче остатков ВМ на склад или в кладовую основанием для последующего их списания по «Книге учета прихода и расхода взрывчатых материалов» согласно ПБ.

Взрывные работы должны выполняться взрывниками под руководством лица, назначенного приказом по организации (руководитель взрывных работ), по письменным нарядам с ознакомлением с ними под роспись и соответствующим наряд-путевкам и проводиться только в местах, отвечающих требованиям безопасного их проведения.

До начала работ на скважине начальник отряда (партии) должен получить от представителя заказчика «Акт о подготовленности скважины для производства ПВР» и лично проверить подготовленность скважины. Промер длины кабеля для определения глубины забоя скважины и установки аппаратов для отстрела (взрыва) производят в присутствии ответственного представителя заказчика, а результаты промера указывают в акте.

Выполненные на скважине в соответствии с заданием работы, их качество и эффективность указывают в «Акте о выполнении ПВР в скважине», являющемся основанием для учета и оплаты заказчиком произведенных работ. При возникновении аварий в процессе производства ПВР в скважине составляют соответствующий акт.

Отказавшие и пришедшие в негодность аппараты и ВМ уничтожают согласно ПБ, о чем составляют акт. В случае уничтожения ВМ и аппаратов в скважине акт должен подписывать и представитель заказчика.

Проверку пробников, омметров и испытателей взрывной цепи отмечают в «Книге проверки пробников, омметров, испытателей». Взрывные машинки, используемые при ПВР в качестве источника тока, панели управления с переключателем, локаторы и другие приборы следует проверять на исправность и соответствие рабочим параметрам перед каждым применением на скважине. Их ремонт (замену деталей, узлов) и проверку отмечают

в «Журнале регистрации ремонтов и проверок взрывных приборов, машинок и устройств для ПВР в скважинах».

На каждый стреляющий аппарат многократного использования имеются паспорт и учетная карточка, являющиеся основными документами для оценки пригодности аппарата к работе и решения о снятии его с эксплуатации. Формы всех перечисленных выше документов приведены в Приложениях к «Технической инструкции по прострелочно-взрывным работам в скважинах».

17.2. Хранение, транспортирование аппаратуры и взрывчатых материалов

17.2.1. Хранение взрывчатых материалов

Взрывчатые материалы хранят в складах ВМ, сооружаемых в соответствии с требованиями ПБ, в условиях, обеспечивающих безопасность и предотвращающих порчу и хищение.

Все промышленные взрывчатые материалы (взрывчатые вещества, средства инициирования и прострелочно-взрывная аппаратура) по степени опасности при обращении с ними (хранение, перевозка, доставка на места работ, использование и т.п.) относятся к классу 1 и разделяются на группы (табл. 17.1, 17.2).

Таблица 17.1

Классификация взрывчатых материалов по подклассам

Подклассы	Наименование подкласса
1.1	Взрывчатые материалы с опасностью взрыва массой
1.2	Взрывчатые материалы, не взрывающиеся массой
1.3	Взрывчатые материалы пожароопасные, не взрывающиеся массой
1.4	Взрывчатые материалы, не представляющие значительной опасности
1.5	Очень нечувствительные взрывчатые материалы
1.6	Изделия чрезвычайно низкой чувствительности

Таблица 17.2

Классификация взрывчатых материалов по группам совместимости

Группа совместимости (опасности)	Вещества, изделия
<i>A</i>	Иницирующие взрывчатые вещества
<i>B</i>	Изделия, содержащие иницирующие взрывчатые вещества
<i>C</i>	Метательные взрывчатые вещества и другие дефлагирующие взрывчатые вещества или изделия, содержащие их (бездымный порох)
<i>D</i>	Вторичные детонирующие взрывчатые вещества; дымный порох; изделия, содержащие детонирующие взрывчатые вещества без средств инициирования и метательных зарядов (детонирующего шнура)
<i>E</i>	Изделия, содержащие вторичные детонирующие вещества без средств инициирования, но с метательным зарядом (кроме содержащих легковоспламеняющуюся жидкость)
<i>F</i>	Изделия, содержащие вторичные детонирующие вещества, средства инициирования и метательные заряды или без метательных зарядов

Группа совместимости (опасности)	Вещества, изделия
G	Пиротехнические вещества и изделия, содержащие их
N	Изделия, содержащие чрезвычайно нечувствительные детонирующие вещества
S	Вещества или изделия, упакованные или сконструированные так, что при случайном срабатывании любое опасное проявление ограничено самой упаковкой, а если тара разрушена огнем, то эффект взрыва или разбрасывания ограничен, что не препятствует проведению аварийных мер или тушению пожара в непосредственной близости от упаковки

Взрывчатые материалы различных групп совместимости должны храниться и перевозиться раздельно. Допускается совместное хранение:

- дымных (группа совместимости *D*) и бездымных (группа совместимости *C*) порохов в соответствии с требованиями к наиболее чувствительным из них;

- огнепроводного шнура, средств зажигания его и порохов, сигнальных и пороховых патронов и сигнальных ракет (группа совместимости *D*) с взрывчатыми материалами групп совместимости *B*, *C* и *D*;

- детонирующего шнура и детонирующей ленты (группа совместимости *D*) с капсюлями-детонаторами, электродетонаторами и пиротехническими реле (группа совместимости *B*).

Взрывчатые материалы размещают в хранилищах ВМ на деревянных стеллажах и поддонах (настилах) в заводской упаковке с обозначением наименования или шифра ВМ, номера партии и даты изготовления. Средства инициирования хранят в запаянных или с плотно закрывающейся крышкой металлических оцинкованных коробах, уложенных в деревянные ящики; внутри металлических коробов СИ укладывают рядами в картонные коробки. Пороховые заряды хранят в закрытых полиэтиленовых мешках.

Срок хранения средств инициирования и пороховых зарядов в негерметичной упаковке существенно ниже, чем в герметичной. Поэтому ВМ, оставшиеся не израсходованными после вскрытия герметичной упаковки, следует уложить в металлический короб с плотно закрывающейся крышкой или в полиэтиленовый мешок.

Перед истечением гарантийного срока хранения ВМ подвергают контролю, а при необходимости – испытаниям в соответствии с инструкцией, утвержденной в организации, ведущей ПВР, согласованной с территориальным органом Ростехнадзора. Взрывчатые материалы, выдержавшие испытания, допускают к использованию в течение времени, указанного в инструкциях и руководствах по применению. Взрывчатые материалы, не выдержавшие испытаний или не подлежащие дальнейшему хранению, уничтожают в установленном порядке с соблюдением инструкции по эксплуатации соответствующих ВМ и правил безопасности.

17.2.2. Хранение заряженных аппаратов

Аппараты, содержащие ВВ, хранят неокончательно заряженными в специальных кладовых при зарядных мастерских и в хранилищах прострелочных и взрывных аппаратов, размещенных на территории поверхностных расходных складов ВМ. Кумулятивные перфораторы хранят без установленных взрывных патронов; концы детонирующего шнура защищают резиновыми колпачками или изоляционной лентой. Пулевые и кумулятивные корпусные перфораторы, стреляющие грунтоносы хранят с навинченными головкой и наконечником, а при хранении отдельными секциями – с навинченными переходниками, муфтами или защитными колпаками. На стеллажах в кладовой заряженные аппараты укладывают так, чтобы стволы были направлены вверх и вниз или в непробиваемую преграду. Секции кумулятивных бескорпусных перфораторов можно хранить в заводской упаковке или в деревянных запирающихся ящиках. Аппараты, стреляющие в нескольких направлениях, лучше хранить в оборудованной шахте в вертикальном положении.

Боковые стреляющие грунтоносы для нефтяных скважин можно хранить окончательно заряженными, но с закороченными контактами штепсельного разъема.

Торпеды хранят без установленного взрывного устройства в заводской упаковке или в деревянных запирающихся ящиках. Ящики с торпедами укладывают отдельно от других аппаратов. В кладовой зарядной мастерской разрешается хранить не более десяти торпед и такое же количество взрывателей к ним.

Незаряженные аппараты и комплекты расходных деталей хранят до начала эксплуатации в заводской упаковке в сухом помещении в условиях, исключающих порчу изделий, упаковки и консервационной смазки. Если изделия не передают в эксплуатацию в течение времени, превышающего указанный в паспорте гарантийный срок хранения, производят переконсервацию. Срок хранения изделий, покрытых консервационными смазками или маслами, составляет без переконсервации три-пять лет в зависимости от условий хранения и транспортирования. Расконсервацию аппаратов производят непосредственно перед сборкой и заряданием для работы в скважине. Аппараты многократного использования после отстрела, разборки, мойки и сушки при длительном перерыве в эксплуатации подвергают повторной консервации. Общий срок хранения незаряженных аппаратов и комплектов расходных деталей (кроме резиновых) при соблюдении нормальных условий хранения и своевременной переконсервации не регламентируют.

Резиновые уплотнительные детали хранят в упаковке в закрытом помещении при температуре от 0 до 25 °С на расстоянии не менее 1 м от отопительных приборов; срок хранения – два года. При хранении детали не должны подвергаться воздействию солнечных лучей и веществ, разрушающих резину: смазочных масел, бензина, керосина, кислот, щелочей, окислителей и др. Допускается хранение резиновых деталей в неотапливаемом помещении в течение одного месяца, при этом запрещается подвергать их какой-либо деформации. После транспортирования и хранения при отрицательной

температуре резиновые детали перед монтажом должны быть выдержаны некоторое время при положительной температуре.

17.2.3. Транспортирование взрывчатых материалов

Взрывчатые материалы перевозят различными видами транспорта (железнодорожным, водным, автомобильным, воздушным, гужевым и др.) в строгом соответствии с ПБ и правилами перевозки опасных грузов в условиях, обеспечивающих безопасность и исключаящих хищение и порчу.

Допускается перевозить ВМ ручной кладью в пассажирских поездах и судах лишь при наличии специального разрешения и сопровождающего лица. Запрещается перевозить ВМ ручной кладью на самолетах, в пригородных поездах, багажом в пассажирских поездах, в газогенераторных автомобилях, автобусах общего пользования, троллейбусах, трамваях, метро.

Взрывчатые материалы, относящиеся к разным подгруппам одной группы совместимости, допускается транспортировать вместе.

При совместной перевозке ВМ с одного места хранения на другое средства инициирования должны размещаться в локализаторе, установленном в передней части кузова специально оборудованного автомобиля; загрузка автомобиля ВМ не должна превышать $2/3$ его грузоподъемности.

Перевозка ВМ должна осуществляться в заводской упаковке. Ящики должны плотно укладываться и закрепляться для исключения их перемещения во время транспортировки.

При неполном заполнении заводской тары:

а) заряды типа ЗПКС должны укладываться в гнезда ячеек и накрываться мягким прокладочным материалом;

б) заряды типа ЗПК-105/7, ЗПК-105С, ЗПКО-89С, ЗПКО-89СМ и др. должны укладываться рядами. Первый ряд кумулятивными воронками вниз. Следующий ряд укладывается между зарядами 1-го ряда кумулятивными воронками вверх. Далее укладка производится в той же последовательности с предварительной прокладкой мягким прокладочным материалом предыдущих пар рядов;

в) заряды торпед, ПГД, БК должны транспортироваться в закрытых и закрепленных деревянных ящиках. При этом упаковка должна обеспечивать неподвижность зарядов.

Транспортировка пороха осуществляется в заводской таре, а при необходимости – в бумажных пакетах, исключаяющих его просыпание, на расстоянии не менее 0,5 м от других ВМ и СИ.

Для доставки и хранения ВМ и ПВА к местам работ используются специально оборудованные автомобили, согласно требованиям «Правил перевозки опасных грузов автомобильным транспортом», утвержденных Приказом министра транспорта РФ от 08.08.95 № 73.

Взрывчатые материалы к скважинам перевозят преимущественно в передвижных зарядных мастерских (ЛПС).

Средства взрывания (группа совместимости «В») следует размещать в передней части кузова автомобиля в специальном, плотно закрывающемся

и запирающемся ящике (пенале) с войлочными, резиновыми, пенопластовыми или другими мягкими прокладками со всех сторон, в том числе со стороны крышки и дна; ящик (пенал) должен иметь ячейки под каждое изделие СИ. Провода электродетонаторов, взрывных патронов, электровоспламенителей должны быть замкнуты накоротко (центральный провод на корпус). Взрывные патроны, электродетонаторы, электровоспламенители должны размещаться и транспортироваться таким образом, чтобы исключить контакт их проводов с металлическими предметами.

Заряды ВВ (группа совместимости «В») размещают в задней части кузова автомобиля.

Ящики с порохом или пороховыми зарядами при совместной перевозке с другими ВМ размещают на расстоянии не менее 0,5 м от них и прочно закрепляют.

Доставка снаряженных ПВА в заводских условиях или снаряженных в зарядных мастерских осуществляется к месту работ и обратно без установленных в них СИ.

Стреляющие и взрывные аппараты разрешается перевозить к скважинам неокончательно заряженными в транспортировочных устройствах – стеллажах и специальных ящиках, установленных в передвижных зарядных мастерских и каротажных подъемниках. Стеллажи и ящики имеют ячейки с мягкими прокладками и зажимные приспособления. Торпеды перевозят в заводской упаковке; ящики с торпедами устанавливают и укрепляют в передней или средней части кузова.

Запрещается перевозить:

а) окончательно заряженные стреляющие и взрывные аппараты (с установленными в них средствами инициирования, дающими первичный импульс);

б) заряженные, хотя бы неокончательно, пороховые генераторы давления;

в) кумулятивные заряды в стеклянных или ситалловых оболочках, смонтированные на лентах перфораторов;

г) торпеды с неукрепленными зарядами.

Боковые стреляющие грунтоносы допускается перевозить неокончательно заряженными (с установленными электровоспламенителями) при условии, что контакты штепсельного разъема закорочены.

Перевозить ВМ к месту работы разрешается без охраны, но под обязательным наблюдением взрывника. В отдельных случаях порядок охраны устанавливается руководителем организации.

При транспортировке ВМ на места работ в кузове транспортного средства **запрещается** перевозка предметов и материалов, не связанных с производством взрывных работ.

Перевозить персонал отряда или партии, осуществляющий ПВР в скважинах, совместно с неокончательно заряженными аппаратами и ВМ для их заряжания разрешается только в передвижных зарядных мастерских и каротажных подъемниках; перевозить в них других людей запрещено.

Все инструменты, используемые в работе, должны быть надежно закреплены.

Ключи от кузова ЛПС и ящиков с СИ должны находиться у взрывника.

Перевозка ВМ автомобильным транспортом должна производиться по согласованным маршрутам перевозки ВМ. Выбор маршрута перевозки ВМ осуществляется предприятием, организующим их транспортирование.

Маршруты перевозок ВМ подлежат подтверждению с последующим согласованием с территориальным уполномоченным органом при получении специального разрешения на движение по автомобильным дорогам транспортного средства, осуществляющего перевозку опасных грузов (Приказ Минтранса РФ от 4 июля 2011 г. № 179). Разрешение выдается на срок до 6 месяцев.

Скорость передвижения автотранспорта, загруженного ВМ, устанавливается при согласовании маршрута перевозки и указывается в бланке маршрута перевозки ВМ.

Скорость передвижения автотранспорта, не загруженного ВМ, регламентируется дорожными знаками.

Водитель должен иметь при себе: путевой лист, с отметкой: «Автомобиль проверен, исправен и пригоден для перевозки ВМ», водительское удостоверение, свидетельство о допуске водителя к перевозке ВМ (ДОПОГ), свидетельство о допуске транспортного средства к перевозке ВМ, маршрут перевозки опасного груза, аварийную карточку СИО. В путевом листе, выданном водителю, должен указываться также маршрут перевозки и условный номер ВМ (номер по списку ООН), в верхнем левом углу красным цветом выполняется отметка «Опасный груз».

17.3. Общая технология работ

17.3.1. Подготовительные работы на базе

При подготовке отряда или партии к выезду на скважину необходимо: получить и изучить геолого-техническое задание на ПВР: выбрать типоразмер стреляющих или взрывных аппаратов; проверить исправность спуско-подъемного оборудования, приборов, инструмента, кабеля, подъемника, лаборатории перфораторной станции; оформить наряд-путевку на производство ПВР; получить со складов скважинные аппараты, зарядные комплекты и все необходимые материалы; ознакомиться с инструкциями по эксплуатации выбранных аппаратов и с методическими инструкциями, указаниями или рекомендациями по соответствующим видам ПВР; предварительно (не окончательно) зарядить аппараты на базе и подготовить их к доставке на скважину.

Выбор типоразмера аппаратов – важный и ответственный момент, от которого в значительной степени зависит успешное выполнение задания. Скважинный аппарат должен удовлетворять следующим требованиям: обладать достаточной прочностью, термобаростойкостью, газохимической стойкостью, исключающими возникновение преждевременного срабатывания и аварий; обеспечивать эффективность, производительность и экономичность

работ, сохранность элементов конструкции скважины, поперечный габарит аппарата – обеспечивать свободное прохождение к интервалу, в котором намечено проведение операции.

Начальник отряда (партии):

- получает заявку на ПВР, проверяет интервалы перфорации, тип и количество зарядов, плотность перфорации и т. п.;

- определяет необходимое оборудование для выполнения конкретной заявки;

- проверяет соответствие выданного КИП геофизического материала для привязки к заявленным интервалам;

- дает разрешение взрывнику на выписку необходимого количества и наименований зарядов ВВ и СИ.

Взрывник получает в ПДС (у диспетчера) под роспись «наряд-путевку» с регистрацией ее в «Журнале выдачи и регистрации наряд-путевок» и производит выписку ВМ согласно расчету.

Расчет необходимого ВМ на конкретную скважину выполняют лица, назначенные приказом руководителя организации. Выполненный расчет количества ВМ на скважину заносится в «Журнал приема заявок на ПВР» и подтверждается росписью лица, производившего расчет.

После выполнения всех подготовительных работ на базе начальник отряда (партии) дает разрешение на выезд на склад ВМ для получения зарядов ВВ и СИ.

Заведующий складом ВМ (раздатчик ВМ) выдает взрывчатые материалы взрывнику партии на основании наряд-путевки, сверив подписи в ней с образцами, имеющимися на складе.

При получении ВМ на складе взрывник расписывается в наряд-путевке в их получении и в специальном помещении (маркираторной) проверяет СИ: ЭД и ПВ согласно инструкциям на их применение.

При проверке электрического сопротивления и индуктивности электродетонаторы и взрывные патроны помещают в защитное устройство (непробиваемую преграду).

Детонирующий шнур осматривается на равномерность плотности, отсутствие пустот и целостность оболочки.

При получении зарядов ВВ и ПВА взрывник выполняет наружный осмотр. Кумулятивные заряды и торпеды проверяются на целостность оболочки, наличие кумулятивной облицовки, наличие индивидуальных заводских номеров.

Средства инициирования, заряды ВВ и ПВА, не отвечающие требованиям инструкций и руководств по применению, подлежат уничтожению.

СИ перед выдачей со склада ВМ должны быть замаркированы (пронумерованы) способами, допущенными Ростехнадзором.

Полученные на складе ВМ заряды ВВ, СИ и неокончательно снаряженные ПВА загружаются в ЛПС и доставляются на скважину (см. раздел 17.2.3).

17.3.2. Подготовительные работы на скважине

До начала работ отряда или партии скважина и территория буровой должны быть подготовлены работниками предприятия-заказчика согласно действующим техническим условиям на подготовку скважин для производства геофизических и прострелочно-взрывных работ. Отряд может приступить к производству ПВР в скважине только после получения от представителя заказчика акта о подготовленности скважины к этим работам и ознакомления с составом и объемом выполненных при этом мероприятий, с имевшими место затруднениями и препятствиями при спуске шаблона (кривизна, уступы, каверны, цементная корка, смятие колонны и т. п.).

Подготовленность буровой к ПВР на поверхности земли необходимо проверить непосредственным осмотром. Особое внимание следует обратить на состояние площадок для установки подъемника и ЛПС, свободных проходов к устью скважины, подмостков для установки блок-баланса и лубрикатора, на наличие и работоспособность лёгости с крюком, задвижки со штурвалом, водяного или парового (зимой) шланга, подъемной мачты или треноги, достаточного освещения (для ночных работ) и др.

Затем инструктируют работников отряда и буровой бригады о содержании, особенностях ПВР и мерах безопасности. Подъемник и ЛПС устанавливают на подготовленных площадках и заземляют на контур буровой (суммарное сопротивление заземляющего провода и контура заземления не должно превышать 10 Ом). Под колеса подъемника устанавливают жесткие упоры, а на скважинах глубиной более 5 км – упоры типа кронштейна или дополнительно крепят подъемник к специальному якорю. Монтируют и надежно закрепляют систему блоков, устанавливают датчики натяжения и глубин. Проверяют исправность спуско-подъемного оборудования подъемника и средств подачи звуковых (световых) сигналов, сопротивление изоляции и жил кабеля, наличие предупредительной и сигнальной меток на кабеле на расстояниях соответственно 50 и 5 м от кабельного наконечника, надежность крепления его к кабелю.

С целью проверки проходимости скважины производят пробный спуск кабеля с контрольным шаблоном. При этом целесообразно одновременно осуществить операции со скважинными приборами, предусмотренные в техническом проекте: отбивку муфтовых соединений, зон прихвата и глубины забоя, промер кабеля, проверку механизмов и приборов подъемника и др. Спуск шаблона и промер кабеля на скважине выполняют в присутствии представителя заказчика. При возникновении затруднений в спуске шаблона, вызванных наличием пробки (сальника, уступа), запрещается пробивать препятствия шаблоном. В случае непрохождения шаблона работы должны быть прекращены до устранения препятствия, например, спуском инструмента или промывкой скважины присоединяют к нему вблизи устья скважины.

В случае спуска в скважину аппарата на кабеле через лубрикатор и насосно-компрессорные трубы их также предварительно шаблонируют. Подготовку к производству ПВР завершают обозначением условными знаками границы опасной зоны в радиусе не менее 50 м вокруг скважины (рис. 17.1).

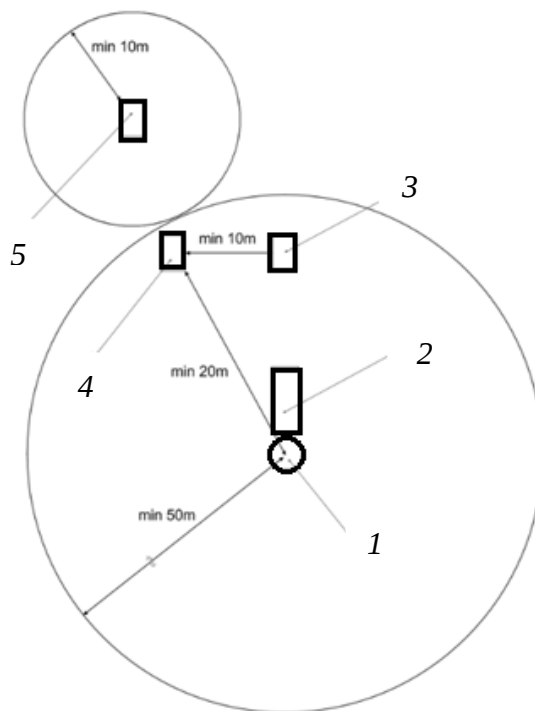


Рис. 17.1. Схема установки оборудования у скважины при выполнении ПВР:
 1 – устье скважины; 2 – мостки; 3 – площадка для установки каротажного подъемника;
 4 – площадка для установки ЛПС при проведении ПВР;
 5 – площадка для установки ЛПС до и после проведения ПВР

Готовность территории и скважины для проведения ПВР подтверждается двухсторонним актом.

Прострелочно-взрывные работы должны проводиться в присутствии представителя организации, в ведении которого находится скважина. Общее руководство работами, в том числе и привлеченными работниками Заказчика, возлагается на представителя геофизической организации – начальника отряда (партии).

Прежде чем взрывники приступят к заряданию стреляющего или взрывного аппарата, руководитель взрывных работ подает предупредительную команду (один продолжительный звуковой или световой сигнал); из опасной зоны удаляют посторонних людей и прекращают работы, не связанные с ПВР.

Зарядание аппаратов производится в ЛПС или на специально подготовленных площадках (мостках) у скважины на столах, оборудованных тисками, цепным зажимом, роликовыми опорами. Порядок сборки и зарядания ПВА изложен в главе 16 (раздел 16.3).

В аппаратах, подготавливаемых к спуску в скважину, проверяют наличие, целостность и положение герметизирующих прокладок, пробок, стопорных винтов, пуль, бойков, расположенных снаружи детонирующих шнуров, электроцепей и т. п., что могло измениться во время транспортирования к скважине.

17.3.3. Спуск аппарата, приведение его в действие и подъем

Для спуска на геофизическом кабеле заряженный аппарат присоединяют к нему вблизи устья скважины. Перед присоединением обязательно проверяют отсутствие напряжения в кабеле, каротажном и буровом оборудовании и принимают меры, исключающие подключение напряжения в момент присоединения и спуска аппарата в скважину.

Спуск аппарата в устье скважины производят с помощью каротажно-перфораторного подъемника. Движение аппарата в скважине, особенно глубокой, контролируют по показаниям динамометра, счетчика глубин или изменениям записываемых кривых потенциалов собственной поляризации, гамма- и радиоактивного каротажа, локатора муфт и других приборов с силой тока не более 50 мА, включаемых после спуска аппарата в скважину на глубину не менее 50 м. С этой же глубины разрешается проверять электроцепь спускаемого аппарата. Следует избегать перепуска кабеля и образования на нем скруток или «жучков». Подобное может произойти в случае неожиданной остановки аппарата, а также если скорость спуска превышает скорость свободного падения аппарата в скважину. В некоторых случаях скорость свободного падения для тонкого кабеля, обладающего сравнительно высокой средней плотностью, может быть больше, чем для аппарата.

Максимальная скорость спуска аппаратов на кабеле не должна превышать:

- 2 м/с (7200 м/час) – для корпусных перфораторов или шаблона;
- 1 м/с (3600 м/час) – для ПКС, ПР, ВП, торпед.

Предельная скорость подъема всех отстрелянных аппаратов (кроме грунтоносов), каркасов и кабельных наконечников с грузом составляет 8000 м/час, а стреляющих грунтоносов с заполненными бойками на тросиках и отказавших аппаратов 4000 м/час. С глубины 100 м до устьевого оборудования подъем отстрелянных перфораторов производится со скоростью не более 250 м/час.

При подходе к верхнему уровню столба жидкости или к переходам и уступам в стволе скважины и в обсадной колонне скорость спуска аппарата снижают в 2 раза. Преодолевать препятствия спуску ударами аппарата воспрещается. При спуске аппарата в некрепленной части скважины нельзя допускать его длительной остановки во избежание прихвата.

Установку аппарата на кабеле в заданном интервале осуществляют по счетчику глубин, меткам на кабеле, муфтам и коротким патрубкам в обсадной колонне, магнитным реперам на ней.

Привязку интервалов перфорации и других видов прострелочно-взрывных работ в скважинах осуществляют методами радиоактивного каротажа.

Привязка интервала перфорации по ГК производится по диаграмме ГК, выданной геологической службой предприятия, или по материалу, предоставленному Заказчиком. Интервал привязочной диаграммы должен перекрывать заявленный интервал на 100 м выше кровли и на 100 м ниже подошвы, когда нижняя граница интервала перфорации находится выше 100 м от забоя.

Для привязки по ГК необходимо иметь: скважинный прибор с каналом ГК, МЛМ, T° и Р; каротажный регистратор для регистрации кривых ГК,

МЛМ, T° и P , с системой протяжки по изменению движения кабеля и прибора от направляющего (мерного) ролика.

При вскрытии нескольких интервалов привязка производится с установкой и последующим контролем боевых меток на кровле каждого интервала перфорации.

Регистрация осуществляется цифровыми каротажными комплексами с вводом точек записи и с обязательной коррекцией глубины по магнитным меткам на кабеле.

При производстве ПВР и контроля перфорации с использованием комплексных приборов обязательно подключение в макете регистрации данных от датчиков термометра, манометра, влагомера, резистивиметра.

Процесс привязки по ГК осуществляется в следующей последовательности:

а) прибор через переходник подсоединяют к каротажному кабелю подъемника перфораторной станции;

б) выполняют спуск прибора на забой скважины, предварительно запитав его и установив необходимый масштаб записи кривой ГК;

в) производят первую запись кривой ГК с отбивкой забоя – если нижний конец интервала ПВР расположен не более 50 м от забоя; если нижний конец интервала расположен более 50 м от забоя, то производят 50-метровый перепуск и ведут запись. На кровле пласта делается контрольная остановка с нанесением *первой метки* на кабеле. Конец записи должен захватить дифференцированный участок кривой ГК (до 50 м выше верхней границы интервала ПВР). Первая запись кривой ГК должна быть не менее 200 м;

г) наложив первую запись кривой ГК к привязочной кривой ГК, делают увязку по разрезу и определяют интервал проведения ПВР, а также наличие зумпфа;

д) измеряют разницу между установленной *первой меткой и кровлей пласта*;

е) если *первая метка* установлена ниже кровли пласта, то производят смещение метки на величину разницы в сторону скважины. Если *первая метка* установлена выше кровли пласта, то смещение производят в сторону подъемника. Наносится *вторая метка, первая метка* срезается;

ж) производят вторую запись кривой ГК с контрольной остановкой на второй метке. Если при наложении второй записи к привязочной кривой наблюдается расхождение между установленной второй меткой и кровлей пласта, то производят повторную операцию по привязке к интервалу перфорации, начиная с пункта Д;

к) при установке ПВА следует ввести поправку ввиду разницы в точках записи кривой ГК и верхним зарядом ПВА (или нахождение ВП и т. д.) по формуле:

$$П = ДП + ТЗ_{ГК} - ВЗ_{ПВА}, \quad (17.1)$$

где ДП – длина переходника; $ТЗ_{ГК}$ – точка записи ГК прибора РК; $ВЗ_{ПВА}$ – длина до первого заряда ПВА.

Если значение Π положительное (+), то поправка принимается в сторону зумпфа, при отрицательном значении Π (–) поправку принимают в сторону подъемника.

Привязка интервала перфорации по локатору муфт производится по требованию Заказчика в случаях, когда вблизи интервала ПВР имеется репер (короткий патрубок) или обсадная колонна вблизи интервала ПВР представлена трубами, различными по длине.

Для привязки по МЛМ необходимо иметь скважинный прибор с ГК и МЛМ, устройство для регистрации кривых ГК и МЛМ с системой протяжки по изменению движения кабеля и прибора от направляющего (мерного) ролика.

Запись кривой ГК и МЛМ производится от забоя и должна включать в себя реперный патрубок, а в случае, когда нижняя граница интервала перфорации находится более чем в 100 м от забоя, делается 50-метровый перепуск.

Процесс привязки осуществляется в следующей последовательности:

1. Скважинный прибор подсоединяют к кабелю перфораторного подъемника и производят спуск его в скважину.

2. Дойдя до нужной контрольной метки при помощи стальной ленты, отмеряют расстояние, соответствующее глубине верхней границы интервала ПВР за вычетом превышения от стола ротора до фланца перфозадвижки.

На кабеле устанавливают метку – 1:

$$M - 1 = \Pi M + \text{ДОМ} - \text{ПР}, \quad (17.2)$$

где ДОМ – домер от контрольной метки до верхней границы интервала перфорации; ΠM – привязочная метка (контрольная метка); ПР – превышение от стола ротора до фланца перфозадвижки.

3. Производят первую запись ГК, МЛМ от забоя с остановкой в процессе записи на установочной метке – 1 с целью отметки ее на диаграмме МЛМ.

4. Увязывают кривые ГК, МЛМ (привязочную и записанную) по реперному патрубку. Делают снос метки – 1 на привязочную кривую МЛМ, предварительно нанеся на неё кровлю – верхнюю границу интервала прострелочно-взрывных работ.

5. Если расхождение отвечает требованию: при длине 1000÷2000 м расхождение до 1,5 м; 2000÷3000 м расхождение до 2,0 м, то вносят поправку: отмеряют полученное расстояние на кабеле в нужную сторону и вяжут новую установочную метку – 2. Метку – 1 срезают.

6. Производят вторую запись ГК, МЛМ с контролем правильности установки метки – 2 (делают в процессе записи остановку с отметкой метки – 2 на диаграмме МЛМ). Вторую запись и привязочную кривую увязывают по реперному патрубку. При правильной привязке установочная метка должна совпадать с намеченной на привязочной диаграмме отметкой.

7. При невыполнении пункта Д вопрос дальнейшей работы по ПВР согласовывают с геологической службой Подрядчика, а в случае подтверждения правильности сноса МЛМ с РК на стандартный каротаж привязку произ-

водят по МЛМ, убедившись по механическому счетчику и промеру в правильности забоя.

После окончания спуска аппарат останавливают несколько ниже заданной глубины вскрываемого интервала, руководствуясь показаниями геофизических исследований с контрольными реперами или, в крайнем случае, показаниями счетчика глубин и метками на кабеле, а затем на малой скорости поднимают и устанавливают в требуемом месте, следя по динамометру за натяжением кабеля.

Установку аппарата производят по метке на кабеле, а затем опускают или поднимают на расстояние, определенное по каротажной, локационной или другой диаграмме. Независимо от глубины интервала ПВР погрешность установки аппарата не должна превышать $\pm(0,3 \div 0,5)$ м.

Установку торпеды против замковых и муфтовых соединений труб, а также против места прихвата труб производят при спуске торпеды вместе с локатором муфт, прихватопределителем и т. п.

Проверяют сопротивление или исправность электровзрывной цепи контрольно-измерительными приборами.

Аппарат приводят в действие по боевой команде руководителя взрывных работ (два продолжительных звуковых или световых сигнала): взрывник включает во взрывную цепь источник тока. В качестве источника тока используют взрывную машинку, осветительную или промысловую сеть (через перфораторную панель), а также генераторную группу подъемника. Аппарат, спущенный совместно с геофизическим прибором, приводят в действие после отключения измерительной панели прибора.

О срабатывании аппарата в скважине судят по приборам наземных панелей (движение стрелки, мигание сигнальной лампочки), выбросу или всплеску жидкости из устья, сотрясению (подбрасыванию) кабеля, звуковому эффекту, изменению сопротивления взрывной цепи.

После срабатывания аппарата, а также в случае отказа сразу отключают кабель от источника тока и приступают к подъему кабеля вначале на малой скорости, затем, убедившись в отсутствии прихвата, постепенно переходят на допустимую скорость. Во время подъема необходимо внимательно следить за показаниями счетчика глубин, натяжением кабеля и метками на нем, чтобы своевременно снизить скорость подъема при прохождении аппарата или наконечника с грузом через места, опасные в отношении прихвата (башмак колонны, переходники, сужения и т. п.). В случае резкого возрастания натяжения кабеля подъем немедленно должен быть прекращен, а кабель спущен в скважину до восстановления нормального натяжения. Подъем возобновляют только после освобождения прихваченного кабеля или аппарата.

С приближением аппарата (прибора, наконечника, груза и др.) к устью скважины на расстояние 100 м скорость подъема должна быть снижена. После появления из скважины первой – предупредительной – метки (или звонка автосигнализатора) переходят на самую малую (первую) скорость, а с появлением второй – сигнальной – метки (или звонка) подъем производят при сброшенном газе. До извлечения аппарата на поверхность необходимо про-

держат его несколько минут в устье скважины, чтобы температура и давление оставшихся в нем газов и жидкости снизились до безопасного уровня. При извлечении аппарата из устья скважины могут присутствовать только руководитель взрывных работ и лица, допущенные к производству этих работ. В это время внешним осмотром устанавливают полноту срабатывания аппарата.

Спуск аппарата на трубах начинают только после того, как на скважину доставлено и смонтировано необходимое оборудование: фонтанная арматура, насосные агрегаты, компрессоры, нагнетательная и выкидная линии, комплект спускаемых труб, контрольно-измерительные приборы и др. Трубы должны быть тщательно промерены и прошаблонированы, фонтанная арматура – опрессована. Аппарат на трубах спускают плавно, без резких остановок и торможений. Внимательно следят, чтобы в трубы не попали посторонние предметы и чтобы время спуска и пребывания аппарата в скважине не превысило допустимого.

Установку аппарата на трубах в заданном интервале можно осуществить путем тщательного промера труб, однако более надежные результаты дают способы, основанные на использовании различных реперов. В данном случае, как и при спуске перфоратора на кабеле, используют магнитные метки, наносимые и регистрируемые с помощью прихватаопределителя. Порядок спуска на трубах кумулятивных торпед типов ТКО и ТКОТ, установки их в скважине на предмете, подлежащем разрушению, и приведения в действие изложен в разделе 13.5.

При привязке интервала перфорации при работах с ПКТ привязочные короткие трубки НКТ длиной $2\div 3$ м необходимо устанавливать не ближе $20\div 30$ м от иницирующего устройства перфоратора.

В горизонтальных скважинах короткие трубки НКТ для привязки к интервалам перфорации устанавливают выше интенсивного набора кривизны.

После полной сборки перфоратора начальник партии предоставляет Заказчику бланк с эскизом сборки перфоратора, где указывается его общая длина, количество и тип зарядов, расстояние от первого, верхнего заряда перфоратора, до переходной муфты на трубы НКТ. Все указанные данные в бланке эскиза сборки перфоратора начальник партии подтверждает своей подписью.

Представитель Заказчика делает точный промер труб НКТ от переходной муфты до короткого привязочного патрубка. Данные промера вносятся на бланк эскиза сборки перфоратора и подтверждаются подписью представителя Заказчика.

Дальнейшие работы по спуску перфоратора ПКТ в скважину проинструктированный персонал бригады ремонта (освоения) скважин производит самостоятельно, при этом скорость спуска перфоратора не должна превышать $0,5$ м/сек, без рывков и ударов, не допуская посадок труб НКТ.

В интервале установки короткой трубки НКТ необходимо выполнить контрольную запись привязки по ГК и МЛМ, интервал записи должен быть не менее 200 м, начиная от короткого привязочного патрубка.

По контрольной привязочной диаграмме, выданной КИП, и диаграмме, полученной в процессе записи в скважине, определяют глубину местоположения короткой трубы НКТ.

Зная расстояние от короткой трубы до первого заряда и местоположение перфоратора в скважине, определяют величину допуска перфоратора для его установки в заданном интервале перфорации.

После выполнения операции допуска перфоратора в заданный интервал необходимо произвести повторную привязку к интервалу перфорации по ГК и МЛМ.

По результатам повторной записи определяют точное местоположение перфоратора в заданном интервале; если возникает необходимость спуска или подъема перфоратора, но не более чем на $1\div 2$ м, то в этом случае запись ГК и МЛМ не производится.

Во всех случаях, без исключений, достоверность привязки к интервалу перфорации контролируется ответственным представителем Заказчика и подтверждается его подписью в привязочной диаграмме.

Установив перфоратор в заданном интервале, оборудуют устье скважины опрессованной фонтанной арматурой и заменяют утяжеленный раствор на облегченный, при необходимости понижают его уровень.

Механизм инициирования аппарата при углах наклона скважин свыше 40° приводят в действие вбрасыванием в трубы резинового шара $\varnothing 45$ мм, который проталкивают, повышая давление над ним с помощью компрессора или насосного агрегата. Иницирование перфоратора при углах наклона до 40° производится штангой типа ШИП.

При прокачке жидкости шар достигает втулки и перекрывает осевой канал переходника. Под действием возрастающего давления срезаются штифты, и втулка сдвигается в сторону корпуса, освобождая ролики. В результате этого ударник выходит из зацепления с корпусом и, разогнавшись под действием гидростатического давления скважинной жидкости, производит удар по УДГ, возбуждая в нем детонацию, которая через усилитель детонации ПКТ.050-01 передается во взрывную цепь перфоратора.

Срабатывание аппарата определяют по звуковому эффекту, толчку нагнетательной или выкидной линии, кратковременному прекращению потока жидкости из нее, показаниям манометра. Время движения шара после его вбрасывания до срабатывания аппарата зависит от состояния внутренней поверхности труб, плотности и вязкости раствора, производительности насосного агрегата или компрессора и составляет примерно $20\div 25$ мин при глубине до 3 км и $35\div 45$ мин при глубине до 5 км.

Работы по перфорации скважин перфораторами ПКТ, спускаемыми на насосно-компрессорных трубах, проводятся по отдельному плану проведения работ, утвержденному Заказчиком и согласованному с Подрядчиком. Персонал буровой бригады, участвующий в спуске и подъеме на трубах аппарата, содержащего ВВ, должен быть проинструктирован ответственным руководителем взрывных работ и буровым мастером о характере предстоящих работ и мерах безопасности. В операциях по спуску аппарата в скважину до глуби-

ны 50 м, а также по подъему последних 50 м труб участвуют только бурильщик и его помощник; остальных членов буровой бригады на это время удаляют на безопасное расстояние.

Во время спуска на трубах, установки в заданном интервале, приведения в действие и подъема аппарата на скважине дежурят ответственные представители исполнителя (геофизического предприятия) и заказчика. Когда перфоратор, спущенный на трубах, после отстрела остается в скважине на длительный срок, например, при ее передаче в эксплуатацию, необходимо обеспечить безопасность при последующем подъеме колонны насосно-компрессорных труб и извлечении перфоратора на случай, если он хотя бы частично отказал. Для этого на лицевую сторону дела с документацией скважины наносят широкую диагональную полосу красного цвета, под которой делают запись о том, что в скважине находится перфоратор на трубах и подъем НКТ следует производить непременно в присутствии представителя геофизического предприятия; указывают дату спуска перфоратора, число секций, состав зарядного комплекта и массу ВВ. Там же делают соответствующую запись после извлечения перфоратора из скважины.

17.3.4. Заключительные работы

После производства ПВР работ взрывник, на которого выписана наряд-путёвка, и руководитель взрывных работ подтверждают в ней своими подписями фактический расход ВМ.

Если после выполнения ПВР остались неизрасходованные ВМ, то остатки вместе с наряд-путёвкой взрывник лично сдает на склад ВМ.

В случае полного использования ВМ порядок сдачи наряд-путёвки устанавливается руководителем организации.

После окончания ПВР в скважине систему блоков демонтируют, оборудование, аппаратуру и приборы подъемника и лаборатории готовят для перевозки на базу, заполняют и подписывают «Акт о выполнении ПВР в скважине», делают необходимые отметки в «Техническом проекте на производство ПВР» и в других документах. В них отмечают основные геологические, промысловые и технические результаты ПВР, а также осложнения, аварии и неэффективные операции.

По возвращении на базу работники отряда сдают на склад остаток ВМ, а в зарядную мастерскую – оставшиеся заряженные аппараты, отказавшие аппараты (кроме торпед) для разрядания, отстрелянные – для проверки и зарядания. Сдачу и приемку отмечают в наряде-путевке и в соответствующих книгах учета. Отчетные документы сдают в управление предприятия. В подъемнике и лаборатории проверяют состояние механизмов, приборов, устройств, инструмента, протирают их, смазывают, приводя в состояние готовности для дальнейшей работы.

Руководители отряда (партии) составляют информационную записку, в которой излагают первичные результаты и оценку выполненных ПВР, а также характерные проявления в скважине: переливание, поглощение, газирование и т. п.

17.4. Контроль и испытания аппаратов и взрывчатых материалов

Взрывчатые материалы подвергают контролю и испытаниям при поступлении на склад (входной контроль), в процессе хранения в случае возникновения сомнения в их доброкачественности (по внешнему осмотру или при неудовлетворительных результатах взрывных работ – неполные взрывы, отказы), а также перед истечением гарантийного срока.

Испытания должны проводиться в лабораториях базисных складов взрывчатых материалов и на полигонах согласно требованиям стандартов, технических условий (инструкций, руководств по применению) на соответствующие взрывчатые материалы в порядке, установленном руководителем организации.

Испытания проводят в соответствии с ведомственной инструкцией, согласованной с территориальным органом Ростехнадзора и утвержденной техническим руководителем организации.

Результаты испытаний оформляют актом с последующей записью в «Журнале учета испытаний взрывчатых материалов».

Испытания ВМ при входном контроле производят на базисных складах, а также на расходных складах, на которые ВМ поступают с заводов-изготовителей. Испытания ВМ в процессе хранения можно производить на складах обоих типов. Для ВМ, прошедших испытания на базисном складе и поступивших на расходный, повторные испытания не производят. Выдача ВМ с истекшим гарантийным сроком хранения разрешается только при положительных результатах испытаний.

В геофизических предприятиях стреляющие и взрывные аппараты, расходные детали к ним и ВМ, поступившие с заводов-изготовителей или с базы снабжения, тщательно осматривают, проверяя сохранность упаковки, качество изготовления и консервации изделий, комплектность поставки и наличие эксплуатационной документации, в числе которой обязательно должны быть паспорт (формуляр) и инструкция по эксплуатации. Необходимо убедиться в том, что маркировка, нанесенная на упаковку и изделия, соответствует сведениям, указанным в паспорте (формуляре).

Качество изготовления незаряженных и снаряженных аппаратов, ВМ и расходных деталей проверяют внешним осмотром выборочно: два-три аппарата, 0,5÷2,0 % расходных деталей и ВМ от партии. Обращают внимание на комплектность поставки, качество консервации, состояние поверхности деталей, зарядов, СИ. Взрывчатые материалы, поступившие в герметичной упаковке, специально для осмотра не распаковывают. Герметичные коробки или пакеты вскрывают только перед запуском изделий в эксплуатацию и в это время их осматривают.

Паспорт (формуляр) на изделия или комплекты, выпускаемые в нескольких различных исполнениях, должен однозначно характеризовать конкретное исполнение изделия, т. е. содержать сведения о фактически использованных материалах, допустимых значениях температуры, давления и т. п. В паспорте также должна быть указана марка фактически использованной

консервационной смазки (масла) и допустимый срок хранения без переконсервации. Там же отражают разрешенные и согласованные в установленном порядке отступления от технической документации, которые не должны влиять на работоспособность изделий, но могут снизить допустимые пределы применения. Изделия, на которые отсутствует инструкция по эксплуатации (памятка по обращению) или полностью заполненный паспорт (формуляр), запрещается использовать при прострелочно-взрывных работах в скважинах. Замеченные дефекты, неисправности и неразрешенные отступления отражают в акте-рекламации, не пригодные к использованию изделия возвращают заводу-изготовителю вместе с актом-рекламацией.

Малозначительные дефекты по согласованию с заводом могут быть устранены на месте. Недоброкачественную консервацию исправляют. Перед эксплуатацией поступившие с заводов-изготовителей или с баз снабжения аппараты, ВМ, расходные и уплотнительные детали целесообразно подвергать контрольным испытаниям, при которых проверяют: возможность и удобство сборки, разборки, зарядки и разрядки аппаратов, взаимозаменяемость частей и деталей, работоспособность и эффективность действия, термостойкость, прочность и герметичность.

Один из основных видов контрольных испытаний – проверка прочности и герметичности корпусных аппаратов. Испытаниям на прочность и герметичность подвергают два-три аппарата из поступившей партии. Если же они предназначены для работы в глубоких скважинах, в осложненных условиях, то испытывают каждый аппарат. Собранный загерметизированный аппарат (без ВМ) или отдельные части его опрессовывают в сосуде высокого давления (СВД) при допустимых для данного аппарата значениях давления и температуры согласно паспорту с выдержкой в течение 1 ч или в скважине, в которой давление и температура на глубине проведения испытаний не превышают допустимых. Для районов с невысоким геотермическим градиентом испытания можно проводить в СВД при нормальной температуре. При испытаниях на прочность и герметичность одновременно проверяют возможность сборки и разборки, взаимозаменяемость отдельных элементов, качество уплотнительных деталей, тщательность выполнения сборки.

После испытаний аппарат разбирают и осматривают. Герметизируемые полости должны остаться сухими, корпус не должен иметь остаточных деформаций, а резиновые кольца – повреждений поверхности. Местное или круговое повреждение резинового кольца может быть вызвано отсутствием заходной фаски или малыми ее размерами, несоблюдением размеров уплотнительных элементов либо наличием заусенцев и острых углов. Если хотя бы один аппарат из партии не выдержал испытаний на прочность и герметичность, испытывают каждый аппарат. Аппараты с устранимыми дефектами исправляют, с неустранимыми – возвращают заводу вместе с актом-рекламацией.

Контрольным испытаниям подвергают и отремонтированные аппараты. Если прошедшие испытания аппараты не предполагается сразу пустить в эксплуатацию, их моют, сушат и покрывают консервационной смазкой. Герметичные торпеды снаряжают на заводе и там же предварительно испы-

тывают их корпуса на прочность и герметичность. В геофизических предприятиях эти испытания не повторяют.

Взрывчатые материалы – заряды (кроме фугасных) и средства инициирования – подвергают контрольным испытаниям выборочно: два–пять изделий из партии. Проверяют термостойкость, работоспособность и герметичность (последнюю только для изделий, работающих непосредственно в жидкости). Заряды и средства инициирования испытывают на герметичность, так же как и аппараты, в СВД или в скважине, но дополнительно взвешивают изделия до и после испытаний. Разность в массе не должна превышать десятых долей грамма.

Термостойкость ВМ проверяют в тех случаях, когда ожидаемая температура в скважине близка к порогу термостойкости изделий, а также при наличии однотипных изделий, различающихся допустимой температурой использования. Испытания ВМ на термостойкость проводят в сухом термостате с выдержкой после выхода на режим в течение 1 ч либо в СВД, либо в скважине. Для испытания в СВД или в скважине негерметичные ВМ помещают в соответствующий аппарат либо в специальную герметизируемую камеру. Эти испытания можно совместить с испытаниями на герметичность самих ВМ или аппаратов. Учитывая возможные погрешности в показаниях измерительных приборов, температура в термостате, СВД или в скважине во время испытаний ВМ должна быть, по крайней мере, на 5 °С ниже порога их термостойкости.

Работоспособность ВМ проверяют следующим образом (рис. 17.2).



Рис. 17.2. Испытаниекумулятивных зарядов на пробивное действие по пакету стальных пластин

Кумулятивные заряды перфораторов испытывают на пробивное действие по пакету стальных (сталь 3) пластин, установленных перед зарядом на расстоянии 50 мм для негерметичных зарядов и 30 мм – для герметичных; можно одновременно отстрелять несколько зарядов, расположенных на расстоянии, соответствующем шагу между ними в перфораторе. Пробивное действие (глубина и диаметр канала) должно соответствовать паспортным данным. Следует учитывать, что в паспорте приведены средние значения для партии, полученные по результатам отстрела 10÷20 зарядов, тогда как пробивное действие отдельных зарядов может быть выше паспортного. Поэтому достоверные результаты контрольных испытаний могут быть получены при отстреле не менее десяти зарядов.

Пороховые заряды пулевых перфораторов и стреляющих грунтоносов испытывают на безотказность срабатывания отстрелом одной секции или двух–пяти стволов аппарата. Заряды должны сгорать полностью; пули или бойки – вылетать из стволов.

Средства инициирования испытывают на безотказность срабатывания от взрывной машинки через кабель или имитатор кабеля. Электродетонаторы (ЭД) должны пробивать в свинцовой пластинке толщиной 5 мм отверстие диаметром не менее диаметра ЭД, электровоспламенители (пиропатроны) – надежно зажигать заряды в пороховых камерах стреляющих аппаратов, обеспечивая полноценный выстрел. Взрывные патроны должны возбуждать детонацию примыкающих ДШ. Полноту детонации и детонационную способность ДШ определяют по прилегающему к нему свинцовому «свидетелю» или по пробитию мишени кумулятивным зарядом, присоединенным ко второму концу ДШ. Взрывание ДШ можно осуществлять электродетонатором, испытания зарядов и СИ – совместить.

17.5. Осложнения, аварии и недоброкачественные результаты работ в скважинах

Осложнения, аварии и недоброкачественные результаты работ при ПВР возникают из-за неудовлетворительного выполнения технических правил и условий подготовки и применения ВМ, аппаратуры, приборов и оборудования, нарушений технологии, а также требований техники безопасности и охраны труда.

Основные осложнения и недоброкачественные результаты, возникающие при выполнении ПВР в скважинах, представлены в табл. 17.3.

Технология и организация работ, а также основные меры безопасности при ликвидации отказов аппаратов приведены в разделе 16.4.

К характерным авариям при ПВР относят:

- 1) прихват (заклинивание) аппарата в месте действия, при спуске, подъеме на кабеле;
- 2) прихват (заклинивание) аппарата в месте действия, при спуске, подъеме на трубах;
- 3) обрыв кабеля выше аппарата и оставление его в скважине.

При прихвате (заклинивании) аппарата при спуске–подъеме на кабеле производят освобождение аппарата натяжением (без обрыва) и расхаживанием кабеля либо обрыв кабеля в месте соединения его с кабельной головкой (ослабленном до 30 – 40 % разрывной прочности кабеля) лебедкой подъемника или буровой установки. В последнем случае кабель наматывают несколькими витками на крюк талевого блока или крепят с помощью троса с зажимами и т. п.

Извлечение из скважины аппарата, оборванного после прихвата или упущенного (без кабеля), осуществляют с помощью шлипса, овершота, правого колокола и т. п., спускаемых на бурильной колонне.

Осложнения и недоброкачественные результаты при ПВР в скважинах

Вид осложнений	Возможные причины	Способы устранения и предупреждения
1	2	3
Непрохождение аппарата до заданной глубины, затяжки кабеля при подъеме	Недостаточный зазор между аппаратом и стенками скважины, обсадной, бурильной или насосно-компрессорной трубы; сужение ствола скважины из-за выпучивания пород; наличие каверны в породе, выступов на внутренней поверхности стенок (заусенцы, застрявшие пули); деформации труб; большое искривление скважины; недоброкачественная проработка и промывка скважины; наличие цементной корки на внутренней поверхности труб; скопление шлама и остатков ранее использованных аппаратов в скважине; утяжеленный и вязкий раствор; образование скруток на кабеле при спуске без достаточного натяжения и контроля за движением аппарата в скважине	Подъем аппарата на поверхность; повторная проработка и промывка скважины; удаление цементной корки подрывом торпеды типа ТДШ; проверка проходимости скважины повторным шаблонированием; наблюдение за движением аппарата по приборам
Самопроизвольное срабатывание аппарата	Превышение допустимых значений температуры и времени пребывания в скважине; внезапная разгерметизация аппарата и последующее резкое повышение давления и температуры в корпусе; смятие либо разрушение корпуса или отдельных деталей; случайное падение постороннего предмета внутрь колонны насосно-компрессорных труб при спуске в них аппарата	Использование аппаратов и ВМ достаточной прочности, герметичности, термостойкости, предварительная опрессовка аппаратов
Отстрел или подрыв аппарата вне заданного интервала	Неточное измерение длины кабеля или колонны труб; спуск кабеля без достаточного натяжения; отсутствие контроля за движением аппарата; перепуск кабеля с образованием скруток; самопроизвольное срабатывание аппарата	Контроль за спуском и правильной установкой аппарата; изоляционные работы в местах прострела или повреждения стенок скважины
Неполное срабатывание аппарата, недоброкачественные результаты работ	Недоброкачественные заряды и средства инициирования или их увлажнение; частичное или полное заполнение жидкостью корпуса аппарата; частичное или полное выгорание зарядного комплекта, вызванное затуханием детонации недоброкачественного отрезка ДШ (разрыв сплошности или местное утонение сердцевины) либо непередачей детонации при срачивании отрезков ДШ; раздутие или разгар ствольных и огнепроводных каналов и пороховых камер пулевых перфораторов и стреляющих грунтоносов, отсутствие или недоброкачественность элементов форсирования выстрела, отрыв пули от обтюлятора после	Использование доброкачественных, соответствующих условиям аппаратов зарядных комплектов и средств инициирования, тщательная сборка и зарядание аппаратов

1	2	3
	заряжания; несоответствие аппаратов, зарядных комплектов и СМ условиям в скважине; несоблюдение технологии работ; недостаточная прочность пуль, бойков, тросов и т. п.	
Отказ аппарата	Обрыв токопроводящей жилы или утечка тока в кабеле; нарушение электрического контакта кабельного наконечника и электропровода; обрыв электрической цепи внутри корпуса аппарата или мостика накаливания СИ; недостаточная мощность (неисправность) источника тока; слабая иницирующая способность детонаторов или воспламенителей; несрабатывание СИ и зарядов; непередача детонации из-за отхода ДШ, неправильного соединения отрезков ДШ с детонаторами и между собой; непередача луча огня из-за недоброкачественного изготовления или засорения огнепроводных каналов; разгерметизация аппарата вследствие недоброкачественного изготовления (сборки), повреждения или большой деформации уплотнительных поверхностей и канавок под уплотнительные кольца, применения недоброкачественных уплотнительных деталей, небрежной сборки; заедание ударного механизма аппаратов, спускаемых на трубах, разрушение резинового шара или застревание его в колонне труб	Подъем аппарата на поверхность для установления и устранения причин отказа или замены другим аппаратом; исправление или замена кабеля; повторный спуск аппарата; повторное вбрасывание резинового шара без подъема аппарата, спущенного на трубах

При невозможности извлечения аппарата на кабеле могут применяться:

- сбивание (проталкивание) аппарата на забой (в зумпф) скважины, кроме бескорпусных кумулятивных перфораторов, путем надавливания на аппарат бурильной колонной с эластичным наконечником;

- сбивание или разрушение аппарата взрывом кумулятивной торпеды осевого действия. Уничтожение бескорпусного кумулятивного перфоратора или торпеды в месте прихвата подрывом торпеды типов ТКО, ТШ и др. (по согласованию с нефтегазопромысловой или нефтегазодобывающей организацией и органом Ростехнадзора).

При прихвате (заклинивании) аппарата при спуске-подъеме на трубах выполняют расхаживание колонны труб буровой лебедкой до освобождения аппарата либо отвинчивание колонны труб от аппарата (по левой резьбе), с последующим извлечением аппарата ловильным инструментом или проталкиванием на забой колонной бурильных труб.

При обрыве кабеля выше аппарата и оставлении его в скважине проводят вылавливание кабеля средствами буровой или промысловой техники (удочкой, спускаемой в скважину на тартальном канате или прочном кабеле,

ершом или «счастливым» крючком, спускаемыми на бурильных или насосно-компрессорных трубах).

Ликвидацию аварий при ПВР проводят как отряды (партии), выполняющие ПВР, так и персонал буровых и промысловых организаций.

При появлении осложнений (затяжек) при проведении ПВР начальник отряда (партии) обязан остановить работы, поставить в известность руководство Заказчика и Исполнителя; дальнейшие работы следует проводить по согласованному сторонами плану работ.

При прихвате геофизических приборов, шаблона или ПВА должны быть приняты меры по остановке подъемника, чтобы не допустить обрыва геофизического кабеля. Следует определить, на какой глубине произошел захват, и дальнейшие работы по ликвидации захвата проводить по согласованному сторонами плану работ.

Возникающие в процессе проведения ПВР осложнения, связанные с захватом кабеля, скважинного прибора, шаблона или ПВА, ликвидируются под руководством начальника геофизического отряда (партии) при участии работников буровой бригады.

При невозможности ликвидации захвата ПВА методом расхаживания кабеля должен быть составлен акт и поставлены в известность технические службы Заказчика и Подрядчика.

Дальнейшие работы проводятся согласно плану ликвидации аварии, утвержденному Заказчиком и Подрядчиком, с использованием технических средств обеих сторон.

До спуска в скважину на все нестандартные сборки рабочего и аварийного инструмента должны составляться эскизы.

Для извлечения из скважины прибора, шаблона или ПВА должен применяться ловильный инструмент, соответствующий конструкции кабельного наконечника. Ловильным инструментом обеспечивает Заказчик по согласованию с Подрядчиком.

Обо всех случаях оставления в скважине ПВА с ВМ должны поставить в известность руководителя взрывных работ Заказчика (главного инженера или лицо, его замещающее), который в свою очередь дает информацию в территориальный орган Ростехнадзора России.

В случае оставления ПВА в скважине ликвидация аварии производится согласно плану ликвидации аварий, утвержденному Заказчиком и Подрядчиком. Ловильные работы ведутся под руководством аварийного мастера Заказчика. В том случае, когда ловильные работы производятся на каротажном кабеле, то перед спуском в скважину ловильного инструмента локатором муфт (МЛМ) определяется точная глубина остановки оборванного ПВА.

При оставлении в скважине ПВА, геофизического кабеля, прибора, шаблона или другого геофизического оборудования составляется первичный акт (в двух экземплярах), который подписывается представителем Заказчика и Подрядчика.

Один экземпляр подписанного акта передается представителю Заказчика на месте проведения работ, второй экземпляр сдается в технический от-

дел (ПТО) организации. Комиссия, назначенная приказом по организации, с участием представителя Заказчика, расследует причины аварии с составлением «Акта об аварии в геофизической организации» в четырех экземплярах.

Поднятая из скважины ПВА, не подлежащая разряжению вследствие деформации корпуса, должна уничтожаться на месте производства ПВР с соблюдением мер безопасности, предусмотренных эксплуатационной документацией.

Порядок уничтожения ВМ на местах работ (руководство, надзор, отчетность) должен быть согласован с территориальными органами Ростехнадзора России.

В случае возникновения признаков газонефтепроявления при проведении ПВР (нарастающий прилив промывочной жидкости и др.) начальник отряда (партии) немедленно должен сообщить представителю Заказчика на месте проведения работ для принятия мер по герметизации устья скважины силами бригады ремонта скважин (бригады освоения), а также сообщить о случившемся руководству Исполнителя.

Решение о прекращении (приостановке) прострелочно-взрывных работ принимает руководитель опасного производственного объекта и представитель геофизической организации.

Дальнейшие работы по ликвидации газонефтепроявления проводятся по плану ликвидации аварий Заказчика.

17.6. Техника безопасности при производстве ПВР

17.6.1. Общие требования

Работники геофизических партий, прибывшие на опасный производственный объект (скважину) для проведения прострелочно-взрывных работ, должны быть ознакомлены руководителем опасного производственного объекта (Заказчиком) с правилами внутреннего распорядка, характерными опасными вредными производственными факторами и признаками их проявления, поведения и обязанностями по конкретным видам тревог, сигналами возникновения аварийных ситуаций, путями эвакуации персонала и техники из опасных зон на время локализации аварии и ликвидации ее последствий, а также по другим вопросам, входящим в объем вводного инструктажа.

Сведения о проведении инструктажа фиксируются в специальном журнале с подтверждением подписями инструктируемого и инструктирующего.

При производстве прострелочно-взрывных работ в скважинах следует руководствоваться требованиями Правил безопасности при взрывных работах, а также Правил безопасности в нефтяной и газовой промышленности.

Прострелочные и взрывные работы следует проводить только в подготовленных скважинах, оформленных актом установленной формы.

Подвезенные к месту взрывных работ ВМ заряженные прострелочные и взрывные аппараты должны храниться в специально отведенном месте. При хранении ВМ, прострелочных и взрывных аппаратов в передвижной зарядной мастерской (лаборатории перфораторной станции) она должна располагаться от устья скважины не ближе 20 м.

Разборка зарядов ВВ, средств инициирования, а также прострелочных и взрывных аппаратов, снаряженных на заводах-изготовителях, **запрещается**.

Каждый прострелочный и (или) взрывной аппарат перед снаряжением должен быть проверен на исправность.

Запрещается отрезать от бухты детонирующий шнур после прокладки его в детонационной цепи аппарата.

Снаряжение и зарядание прострелочных и взрывных аппаратов должны проводиться в соответствии с эксплуатационной документацией:

в передвижных зарядных мастерских, лабораториях перфораторных станций;

в приспособленных помещениях (будка, сарай и т. п.), расположенных не ближе 20 м от скважины;

на открытых площадках, подготовленных для работы в соответствующих погодных условиях; при этом должны устанавливаться столы с неметаллическим (резиновым) покрытием и бортиками. Длина стола должна быть не менее длины снаряжаемого прострелочного и взрывного аппарата или его секции. На столе должны быть зажимы (приспособления) для фиксации прострелочно-взрывной аппаратуры в процессе снаряжения;

на месте снаряжения прострелочно-взрывной аппаратуры могут находиться взрывчатые материалы в количестве, не превышающем необходимого для снаряжения одного аппарата.

Для транспортирования снаряженных и прострелочного, и взрывного аппаратов должны использоваться транспортные средства, имеющие устройства для их крепления. **Запрещается** транспортировать и хранить с установленными в них средствами инициирования.

Проверку целостности (измерение сопротивления или проводимости) смонтированной взрывной сети допускается проводить только после спуска прострелочно-взрывной аппаратуры на глубину не менее 50 м от устья скважины (при морских работах – подводного устьевого оборудования).

Для торпедирования скважины должны использоваться торпеды заводского изготовления. При необходимости допускается применять торпеды, изготовленные на месте по проектам, утвержденным в установленном порядке.

Зарядание торпеды разрешается только по окончании на скважине всех подготовительных работ к торпедированию и проверки скважины шаблоном.

Переносить вручную заряженные прострелочные и взрывные аппараты массой более 10 кг необходимо с применением приспособлений, исключающих их падение.

Средства инициирования должны устанавливаться в прострелочный или взрывной аппарат только непосредственно у устья скважины перед спуском аппарата.

Допускается установка средств инициирования в прострелочный (взрывной) аппарат в лаборатории перфораторной станции (передвижной зарядной мастерской) при применении блокировочного устройства, исключающего случайное срабатывание прострелочно-взрывной аппаратуры,

а также в случаях использования защищенных от воздействия блуждающих токов средств инициирования.

В процессе установки электрических средств инициирования в прострелочно-взрывной аппаратуре необходимо не допускать случайных касаний проводников средств инициирования окружающих металлических предметов.

Запрещается спуск прострелочных и взрывных аппаратов без предварительного шаблонирования ствола скважины с одновременным замером гидростатического давления и температуры бурового раствора, которая не должна превышать предельно допустимую величину для применяемых прострелочно-взрывных аппаратов.

Запрещается проведение прострелочных или взрывных работ в скважинах:

а) во время пурги, грозы, буранов и сильных (при видимости менее 50 м) туманов, за исключением случаев выполнения работ в закрытых помещениях буровых;

б) в сухих газифицирующих и поглощающих раствор скважинах без применения лубрикаторов.

Спуск и подъем прострелочных и взрывных аппаратов в скважине следует проводить только при изолированных концах проводников электровзрывной магистрали (каротажного кабеля).

Прострелочные и взрывные аппараты массой более 50 кг или длиной более 2 м должны подниматься над устьем скважины и опускаться с помощью грузоподъемных механизмов.

Если прострелочный или взрывной аппарат не проходит в скважину до заданной глубины, он должен быть извлечен. При извлечении аппарата у скважины могут находиться только персонал взрывных работ и лица, работающие на подъемном механизме.

Неизрасходованные прострелочные и взрывные аппараты должны быть доставлены в зарядную мастерскую, склад взрывчатых материалов.

Прострелочно-взрывные работы в морских скважинах должны проводиться при благоприятном прогнозе погоды на время, необходимое для их производства.

Допустимые параметры скорости ветра и волнения моря определяются техническими характеристиками морских буровых установок и транспортных средств, используемых для доставки персонала, взрывчатых материалов и каротажно-перфораторных станций.

При получении штормового предупреждения во время производства прострелочных (взрывных) работ спущенные в скважину прострелочные или взрывные аппараты должны быть отстреляны в заданном интервале без промедления.

Взрывной прибор должен подсоединяться к электровзрывной сети только на время взрывания и отключаться от нее сразу после взрыва.

В случае отказа наземные концы электровзрывной сети сначала отсоединяются от геофизического кабеля и только после этого выясняются причины отказа. В необходимых случаях производят их разряжение.

В бескорпусных и прострелочных и взрывных аппаратах в первую очередь, проводник средств инициирования необходимо отключить от токовода и извлечь из прострелочно-взрывной аппаратуры.

В случае невозможности разрядки производят уничтожение прострелочных и взрывных аппаратов.

Тушение возникающих при нефтяных и газовых выбросах на скважинах пожаров с применением взрывных работ должно проводиться в соответствии с требованиями инструкций, согласованных с организацией-экспертом по безопасности работ.

17.6.2. Электробезопасность

При проведении прострелочно-взрывных работ электрооборудование объекта должно отвечать требованиям «Правил устройств электроустановок (ПУЭ)», «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ ЭП)» и «Межотраслевых правил по охране труда при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ -016-2001)».

Подключение геофизического оборудования перфораторной партии должно производиться к сети с напряжением не выше 220 В. Место подключения должно быть оборудовано трехполюсной розеткой с заземляющим контактом и отключающим устройством, а силовой кабель перфораторной партии должен иметь трехполюсную вилку. Место подключения силового кабеля перфораторной партии не должно быть удалено более чем на 40 м от геофизического подъемника.

Силовые кабели каротажной станции и ЛПС должны прокладываться в местах, где нет перемещения людей и грузов, а также в местах, исключающих их повреждение. Высота прокладки силовых кабелей должна быть не менее 0,5 м от поверхности земли и обозначена предупреждающими плакатами «Стоять! Напряжение!».

Все электрические розетки в геофизическом подъемнике и ЛПС должны иметь хорошо видимые надписи на применяемое напряжение.

Все токоведущие части геофизического подъемника и ЛПС, а также геофизическая аппаратура должны быть заземлены на шину, проходящую по кузову автомобилей.

Сопротивление контура заземления геофизического оборудования должно проходить периодическую проверку в установленные сроки и оформляться соответствующим актом.

Для подсоединения отдельных заземляющих проводников геофизического оборудования (подъемника, ЛПС) на металлоконструкции скважины в легкодоступном, хорошо видимом месте знаком «ЗЕМЛЯ» должна быть обозначена точка подключения.

Заземляющий провод (подъемника, ЛПС) должен быть медным, многожильным. Провод не должен иметь повреждений и скруток.

В случае повреждения заземляющего провода, место соединения должно быть надежно соединено и пропаяно.

На местах производства работ подсоединение заземляющих проводов (подъемника, ЛПС) должно производиться к месту, обозначенному знаком «ЗЕМЛЯ», с помощью струбцины или специальной клеммы под болт. Место подсоединения заземляющих проводов должно быть зачищено и иметь надежную металлическую связь.

Начальник перфораторной партии должен быть аттестован по электробезопасности и иметь III квалификационную группу по электробезопасности.

Каждая партия должна быть укомплектована средствами от поражения электрическим током:

- диэлектрическими перчатками;
- инструментом с изолирующими ручками;
- указателем напряжения;
- диэлектрическим ковриком.

Все вышеперечисленные средства защиты должны проходить поверочные испытания в установленные сроки.

Запрещается проведение электросварочных работ в радиусе 400 м от скважины, где проводятся прострелочно-взрывные работы.

Запрещается подсоединение к сети электропитания силовых кабелей, не оборудованных трехконтактной вилкой.

Запрещается проведение прострелочно-взрывных работ без указания в «Акте на готовность скважины» величины сопротивления контура заземления.

17.6.3. Пожарная безопасность

При проведении прострелочно-взрывных работ в скважине выхлопная труба каждого транспортного средства должна быть оборудована искрогасителем.

При перевозке и при работе с взрывчатыми материалами запрещается курение и применение открытого огня ближе 100 м от места нахождения ВМ.

Автомобили, перевозящие ВМ, должны быть укомплектованы:

- тремя огнетушителями вместимостью не менее 5 л каждый;
- трудновоспламеняющейся непромокаемой тканью;
- при перевозке пиротехнических составов, порохов комплектуются лопатой и запасом сухого песка в количестве не менее 50 кг.

На каждом автомобиле, перевозящем ВМ, в комплекте документации должна быть аварийная карточка, заполненная грузоотправителем, по единой форме для грузов каждого подкласса ВВ.

В аварийной карточке, в зависимости от вида ВВ, должны быть указаны коды экстренных мер при пожаре:

- «Воду не применять! Применять сухие огнетушащие средства».
- «Применять водяные струи!».
- «Применять пену или составы на основе хладонов!».
- Э – «Необходима эвакуация людей!».

При обнаружении пожара необходимо:

- немедленно сообщить в пожарную часть по телефону 01, указать точное место пожара, наличие груза в автомобиле (здании, сооружении), характер груза и класс опасности, наличие людей в опасной зоне;

- до прибытия пожарной команды принять меры к эвакуации людей и приступить к тушению пожара первичными средствами пожаротушения, обеспечить встречу прибывающих пожарных частей;

- при возникновении пожара в автомобиле (здании, сооружении) с ВМ по прибытии пожарной команды начальник перфораторной партии (лицо, ответственное за пожарную безопасность) должен предоставить командиру пожарного расчета аварийные карточки на находящиеся в нем взрывчатые материалы для принятия мер по тушению пожара.

При возникновении открытого газового или нефтяного фонтана на скважине работники перфораторной партии обязаны:

- отключить двигатели внутреннего сгорания;
- отключить силовые и осветительные линии;
- прекратить пользоваться стальным инструментом, запрещается производить другие действия, ведущие к образованию искры на объекте;
- прекратить пользование зажигательными предметами;
- принимать участие в тушении пожара под руководством ответственного лица за пожарную безопасность на данном объекте, а по прибытии пожарной команды – выполнять требования начальника пожарного подразделения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебное пособие соответствует учебной программе дисциплины «Технология взрывных работ», разработанной на основании многолетнего опыта преподавания в Уральском государственном горном университете при подготовке дипломированных специалистов, обучающихся по направлению подготовки (специальности) 130400 – «Горное дело», специализации «Взрывное дело».

Учебная программа составлена с учетом требований Ростехнадзора по подготовке дипломированных специалистов с предоставлением права руководства прострелочно-взрывными работами в нефтяных, газовых, водяных и других скважинах после сдачи квалификационного экзамена государственной комиссии и получения «Единой книжки взрывника».

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Взрывчатые вещества и средства инициирования промышленного назначения: каталог. – М.: ГосНИП «Расчет», 2003.

Дубнов Л. В., Бахареви́ч Н. С., Романов А. И. Промышленные взрывчатые вещества. – М.: Недра, 1988.

Корни́лов М. В. Разрушение горных пород взрывом: конспект лекций. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008.

Краткий справочник по прострелочно-взрывным работам / под ред. Н. Г. Григоряна. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990.

Латы́шев О. Г., Петру́шин А. Г., Азанов М. А. Промышленные взрывчатые материалы: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008.

Перечень взрывчатых материалов, оборудования и приборов взрывного дела, допущенных к постоянному применению РФ / Утвержден Приказом Ростехнадзора от 15.09.2011 № 537.

Правила безопасности при взрывных работах / Утверждены Приказом Ростехнадзора от 16.12.2013 № 605.

Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности / Утверждены Приказом Ростехнадзора от 12.03.2013 № 101.

Правила перевозки опасных грузов автомобильным транспортом. – М., 1995.

Прострелочно-взрывная аппаратура: справочник / под ред. Л. Я. Фридляндера. – М.: Недра, 1990.

Прострелочные и взрывные работы в скважинах / Н. Г. Григорян, Д. Е. Помятун, Л. А. Горбенко и др. – М.: Недра, 1980.

Шакиров А.Ф. Каротаж, испытание, перфорация и торпедирование скважин. – М.: Недра, 1987.

**ЗАЯВКА
на прострелочно-взрывные работы**

Заказчик _____ Площадь _____ скважина № _____
 Дата и время выполнения заявки _____
 1. Тип скважины _____
 2. Забой скважины: искусственный _____ м, текущий _____ м.
 3. Внутренний диаметр обсадной колонны _____
 5. Внутренний диаметр насосно-компрессорных труб, мм _____ Башмак НКТ, м _____
 6. Максимальный угол наклона скважины, град _____
 7. Промывочная жидкость:
 Тип _____ Уровень, м _____ Плотность, кг / м³ _____
 Вязкость, с _____ Водоотдача, см³ 30 мин _____
 8. Ожидаемое пластовое давление, МПа _____
 (дебит, газовый фактор)
 9. Температура в интервале ПВР, °С _____
 10. Устьевое оборудование скважины _____
 (буровая установка , А-50 и др.)
 11. Сведения о ранее проведенных ПВР

(дата, интервал, ПВА, плотность перфорации)

12. Объем ПВР _____
 (общее количество отверстий, торпед, взрывных пакеров и др.)

Работа на скважине:

13. Провести шаблонирование шаблоном массой, кг _____, длиной, мм _____, диаметром, мм _____

Комплекс ГИРС	Интервал	Тип ПВА	Интервал ПВР	Плотность перфорации

14. Маршрут следования к скважине _____

15. Прострелочные и взрывные работы проводить в строгом соответствии с требованиями «Правил безопасности при взрывных работах».

« _____ » _____ 20__ г.

Заявку подал _____

(должность, подпись)

Приложение 2

УТВЕРЖДАЮ

«Заказчик»

«___»

200__ г.

УТВЕРЖДАЮ

«Подрядчик»

«___»

200__ г.

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ на прострелочно-взрывные работы в скважине

Дата «___» _____ 20__ г.

Вид работ и цель проведения _____

Площадь _____ Скважина № _____

Взрывник _____ Партия (отряд) № _____

Состав партии _____

Сведения по скважине

1. Тип скважины _____
(дата ввода в эксплуатацию, выхода из бурения)

2. Забой скважины: искусственный _____ м, текущий _____ м.

3. Внутренний диаметр и марка труб обсадной колонны _____

4. Число осадных колонн в интервале работ, шт. _____

Башмак обсадной колонны, м _____

Толщина стенок обсадных колонн в интервале работ, мм _____

5. Внутренний диаметр насосно-компрессорных труб, мм _____ Башмак НКТ, _____

6. Максимальный угол наклона скважины, град _____

Максимальная интенсивность кривизны, град/м _____

7. Сведения о цементировании скважины:

Высота подъема цемента за колонной, м _____

Качество цементирования _____

8. Промывочная жидкость:

Тип _____ Уровень, м _____ Плотность, кг / м³ _____

Вязкость, с _____ Водоотдача, см³ 30 мин _____

9. Интервал работ, м _____

10. Температура в интервале работ, °С _____

11. Гидростатическое давление в интервале работ, МПа _____

12. Ожидаемое пластовое давление, МПа _____

(дебит, газовый фактор)

13. Наличие перетоков жидкости _____

14. Устьевое оборудование скважины _____

(буровая установка, А-50 и др.)

15. Сведения о ранее проведенных ПВР _____

(дата, интервал, ПВА, плотность перфорации)

Данные о ПВА

16. Проектируемое воздействие _____

(количество отв./м или масса заряда)

(применяемые ПВА, заряды, шнур, средства инициирования и т. д.)

17. Объем работ _____
(общее количество отверстий, торпед, взрывных пакеров и др.)
Применяемое геофизическое оборудование:
18. Подъемник _____; каротажная лаборатория _____
(обозначение) (обозначение)
лаборатория перфораторной станции _____; геофизический кабель _____
(обозначение) (обозначение)
- Работа на скважине:
18. Провести шаблонирование шаблоном массой, кг _____, длиной, мм _____, диаметром, мм _____
19. Метод привязки интервала ПВР к геологическому разрезу _____
20. Метод определения фактического положения интервала ПВР _____
21. Работа в темное время суток _____
(допускается, не допускается)
22. Дополнительные меры для обеспечения безопасности в темное время суток _____
- Меры безопасности:
23. Опасная зона в радиусе _____ м от устья скважины до спуска ПВА и _____ м после спуска
24. Место установки лаборатории перфораторной станции _____ м от устья скважины
25. Место установки подъемника _____ м от устья скважины
26. Место сборки ПВА _____
27. Место хранения ВМ на скважине _____
28. Место нахождения рабочих при проведении ПВР _____
29. Способ заземления подъемника, каротажной лаборатории и лаборатории перфораторной станции _____
30. Дополнительные меры безопасности _____
-
31. Прострелочные и взрывные работы проводить в строгом соответствии с требованиями «Правил безопасности при взрывных работах».
32. Изменение проекта прострелочных и взрывных работ допускается только по согласованному решению руководства Заказчика и Подрядчика.
33. Дополнительные мероприятия при аварии или производственных неполадках _____
-

Начальник партии (отряда) _____
(подпись)

Представитель Заказчика _____
(должность, подпись)

Акт
о подготовленности скважины
для производства прострелочно-взрывных работ

_____ (число, месяц, год)

Заказчик _____
(трест, контора, отделение)

Подрядчик _____
(база, экспедиция, партия)

Район, площадь _____

Скважина № _____

1. Подготовленность подъездных путей к скважине и площадок для установки подъемника и передвижной зарядной мастерской-лаборатории _____
2. Освобождение от посторонних предметов участка между ЛПС, подъемником и устьем скважины _____
3. Очистка от глинистого раствора, нефти, мазута рабочих площадок у скважин, подходов к мосткам, мостков и пола буровой _____
4. Исправность буровой лебедки и привода к ней _____
5. Исправность электросети, электрооборудования (сопротивление изоляции, электросети должно быть не меньше 0,5 МОм) _____
6. Наличие щитка с трехфазным рубильником и розеткой _____
7. Наличие воды у устья скважины _____
8. Установка на эксплуатационной колонне задвижки, лубрикатора, превентора, рассчитанная на максимальное давление, и штурвала к задвижке (указать, на какое давление рассчитана задвижка, и другое оборудование устья скважины) _____
9. Проходной диаметр задвижки, мм _____
10. Диаметр и тип долота, интервал и время проработки ствола скважины или обсадной колонны, мм _____
11. Характеристика жидкости в скважине (состав, плотность, вязкость, фильтрация, уровень и др.) _____
12. Состояние прискважинной зоны пласта (загрязненность, степень нарушения естественной проницаемости и т. д.) _____
13. Районирование эксплуатационной колонны в интервале старых фильтров и мест остановки (затяжки) бурового инструмента и шаблона _____
14. Диаметр, длина и масса шаблона, мм, кг _____
15. Наличие уступов, обвалов, каверн, пробок и глубина до них _____
16. Остановки (затяжки) при последнем спуске (подъеме) инструмента и их глубина _____
17. Глубина забоя, м _____
18. Установка подмостков над устьем скважины (для блок-баланса, установки лубрикатора) _____

Представитель Заказчика _____
(геолог, мастер буровой)

Электромонтер _____

Результаты контрольного шаблонирования и готовность спуско-подъемного оборудования _____

Начальник отряда (партии) Подрядчика _____

Представитель Заказчика _____

Учебное издание

Алексей Геннадьевич ПЕТРУШИН

ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫЕ
РАБОТЫ В СКВАЖИНАХ

Учебное пособие

Редакторы изд-ва *И. В. Козлов, Л. В. Устьянцева*
Компьютерная верстка *А. Г. Петрушина, Н. Л. Сайгиной*
Дизайн обложки *Н. Л. Сайгиной*

Подписано в печать 14.03.2015 г.
Бумага офсетная. Формат 60 × 84 1/16. Печать на ризографе.
Печ. л. 14,0. Уч.-изд. л. 17,25. Тираж 100 экз. Заказ

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Опечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники