



ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАБОТЫ В СКВАЖИНАХ



Вторичное вскрытие пластов
и специальные операции

том 5

ОАО «Башнефтегеофизика»

Геофизические исследования и работы в скважинах

В 7 томах

Том 5

**Вторичное вскрытие пластов
и специальные операции**

УФА 2010

УДК 550.3
ББК 26.21
Вт 87

Рекомендовано научно-техническим советом ОАО «Башнефтегеофизика»
и НПФ «ГеоТЭК»

Редакционная коллегия:

Главный редактор – Я.Р. Адиев, генеральный директор ОАО «Башнефтегеофизика», канд. техн. наук; заместитель главного редактора – Г.З. Валеев, зам. генерального директора ОАО «Башнефтегеофизика, главный геолог;
члены редакционной коллегии: Р.А. Валиуллин, д-р техн. наук, профессор;
Р.Б. Булгаков, канд. техн. наук; В.М. Коровин, д-р техн. наук; Ш.Г. Шаисламов, канд. техн. наук; С.Н. Шматченко; Г.Г. Шаисламова (отв. секретарь).

Геофизические исследования и работы в скважинах: в 7 т. Т. 5. Вторичное вскрытие пластов и специальные операции / Сост.: Ш.Г. Шаисламов, С.Б. Миндияров. – Уфа: Информреклама, 2010. – 228 с., ил.

ISBN 978-5-904555-14-6 (т. 5)
ISBN 978-5-904555-12-2 (общий)

© ОАО «Башнефтегеофизика», составление, 2010
© ООО «Информреклама», оформление, 2010



Российская геофизика пришла в XXI век, пройдя большой и тернистый путь. Начавшийся в прошлом столетии научно-технический прогресс, затронул все сферы геофизики. Основой прогресса послужили новейшие открытия в фундаментальных науках и наступившая эра компьютерных технологий. Именно эти ключевые факторы коренным образом изменили

нефтегазовую геофизику. Ушли в далекую историю аналоговые каротажные станции, на смену «ручной» интерпретации пришла компьютерная обработка и интерпретация скважинных материалов, с появлением комплексных цифровых приборов изменились технологии проведения каротажа. В целях сокращения времени на принятие решений по скважине были успешно внедрены в повседневную практику современные системы связи, в том числе и спутниковые технологии. Повысился общий уровень достоверности и представительности выдаваемых геофизических заключений. В то же время объективные реалии современной геофизики таковы, что идет постоянный процесс расширения круга решаемых задач. В этих условиях задача подготовки и переподготовки кадров выходит на первый план. При этом мы столкнулись с отсутствием современной учебно-методической и специальной литературы в области геофизики, что и послужило поводом к подготовке данного издания. Пособия составлены ведущими специалистами ОАО «Башнефтегеофизика» и коллегами из Башкирского государственного университета, НПФ «Геофизика», ВНИИГИС, которые изложили материал в свете своего научно-производственного опыта и понимания проблем геофизики. Главной целью настоящего издания было, не претендуя на роль первооткрывателей, подготовить и издать учебно-методические пособия, которые охватили бы все сферы нефтегазовой геофизики и отображали бы новейшие достижения в отрасли. Учебные пособия предназначены для подготовки (адаптации, переподготовки) специалистов, получивших образование в ВУЗах и ССУЗах геофизического или близкого профиля. Надеемся, что изложенная информация будет полезной широкому кругу специалистов, а также студентам, магистрантам и аспирантам соответствующих специальностей. Издания не планируется использовать для коммерческого распространения.

*Главный редактор,
генеральный директор
ОАО «Башнефтегеофизика»,
кандидат технических наук*

Я.Р. Адиев

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАБОТЫ В СКВАЖИНАХ

в 7 томах

Сводное оглавление издания

Том 1. Промысловая геофизика

Том 2. Исследования геологического разреза скважин

Том 3. Исследования действующих скважин

Том 4. Контроль технического состояния скважин

Том 5. Вторичное вскрытие пластов и специальные операции

Том 6. Программно-управляемые и информационно-измерительные
системы для ГИРС

Том 7. Геолого-технологические исследования в скважинах

Оглавление

Введение	7
Глава 1. Понятие о взрыве и взрывчатом веществе	10
§ 1. Общие понятия о взрыве и взрывчатом веществе.....	10
§ 2. Классификация взрывчатых веществ	37
§ 3. Хранение взрывчатых материалов.....	50
§ 4. Перевозка взрывчатых материалов.....	59
§ 5. Испытание и уничтожение взрывчатых материалов.....	64
Глава 2. Вторичное вскрытие пластов.....	67
§ 1. Взрывные способы вторичного вскрытия	73
§ 2. Невзрывные способы вторичного вскрытия	110
§ 3. Бесперфорационное вскрытие пласта.....	116
Глава 3. Методы отбора грунтов, скважинных жидкостей и разобщения пластов	124
§ 1. Методы отбора грунтов	124
§ 2. Методы отбора скважинных жидкостей.....	133
§ 3. Методы разобщения пластов	135
Глава 4. Взрывные работы при ликвидации аварий (торпедирование).....	145
§ 1. Применение взрыва при ликвидации аварий в бурении.....	145
§ 2. Разрушение аварийного металла на забое и ускорение бурения скважины	147
§ 3. Профилактика и ликвидация прихватов в скважинах...	155
§ 4. Выбор заряда при отвинчивании, встряхивании и обрыве труб	162
§ 5. Порядок проведения работ при ликвидации прихвата труб.....	169
§ 6. Другие методы использования взрыва при ликвидации аварий	172
Глава 5. Взрывные методы интенсификации притока.....	174
§ 1. Общие сведения	174

§ 2. Фугасное торпедирование	180
§ 3. Пороховые генераторы давления.....	182
§ 4. Заряды гидроразрыва пласта ЗГРП	191
§ 5. Очистка призабойной зоны пласта.....	194
Глава 6. Контрольные операции в скважинах	203
§ 1. Ориентирование бурового инструмента при направленном бурении	203
§ 2. Определение места прихвата различных труб в скважине.....	210
§ 3. Контроль правильности интервалов фактической перфорации	211
§ 4. Привязка глубин при перфорации, торпедировании, ИПТ и других работах	213
§ 5. Контроль процесса цементирования.....	215
§ 6. Отбивка забоя	219
§ 7. Шаблонирование ствола скважины.....	220
Список принятых сокращений	221
Список используемой литературы	223
Предметный указатель.....	225

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших этапов строительства скважины является вскрытие пересекаемых ею продуктивных пластов, подлежащих испытанию при разведке или освоению для промышленной эксплуатации. Различаются два основных этапа вскрытия пластов: вскрытие пласта бурением, начиная с момента входа долота в кровлю пласта и до достижения долотом его подошвы, вскрытие пласта перфорацией после крепления ствола скважины обсадной колонной и цементирования затрубного пространства.

В разведочных скважинах после вскрытия предполагаемых продуктивных пластов бурением производят их испытание или опробование без крепления ствола скважины с помощью различных испытателей (опробователей) пластов, спускаемых на трубах или на кабеле. Однако часто производят крепление и вторичное вскрытие пластов путем поинтервальной перфорации скважины для окончательных испытаний, особенно в тех случаях, когда трудно перекрыть различные горизонты при испытаниях в открытом стволе. В эксплуатационных (в том числе нагнетательных) скважинах вскрытие продуктивных пластов, закрепленных обсадной колонной, производят перфорацией и в редких случаях торпедированием.

Перфорацию скважин широко применяют и для дополнительного вскрытия пластов (дострелов) в целях восстановления или повышения добычи, при переходе на эксплуатацию вышележащих горизонтов, а также при подготовке к гидравлическому разрыву пласта, солянокислотной обработке и другим методам воздействия на прискважинную зону.

Прострелочно-взрывные работы классифицируются следующим образом (по видам операций и техническим средствам):

- перфорация стенок скважин стреляющими аппаратами –кумулятивными, пулевыми и снаряжными (торпедными) перфораторами – для вскрытия и повышения отдачи или приемистости пластов;

- разрыв пластов с помощью скважинных аппаратов – пороховых генераторов давления – и торпедирование скважин в целях повышения отдачи или приемистости пластов;

- отбор образцов пород боковыми стреляющими грунтоносами для изучения геологического разреза скважин:

- отбор проб жидкостей и газов опробователями пластов с перфорацией канала для вызова притока при испытании или опробовании скважин;

- торпедирование бурильного и эксплуатационного инструмента с помощью торпед фугасного и направленного действия при ликвидации различных аварий и ликвидации скважин;

- перфорация колонн бурильных или насосно-компрессорных труб перфораторами для восстановления циркуляции жидкости в скважине;

- установка мостов в скважинах для разделительного тампонажа с помощью взрывных пакеров.

Качественное вскрытие пластов перфорацией (наряду с первичным вскрытием пластов бурением) имеет важное, а подчас решающее значение для правильной оценки продуктивности разведочных скважин и, следовательно, для определения истинных запасов нефти и газа на открытом месторождении, осуществления максимально возможной отдачи или приемистости продуктивных пластов, сокращения сроков сооружения и освоения скважин, достижения максимальной эффективности методов повышения отдачи или приемистости пластов, эффективного использования скважины в течение долгих лет ее эксплуатации.

Авторы выражают признательность профессору А.В. Лягову, профессору А.Ш. Янтуруину, генеральному директору ООО «Лайнер» М.М. Валиеву за помощь, оказанную ими при составлении учебного пособия.

ГЛАВА 1. ПОНЯТИЕ О ВЗРЫВЕ И ВЗРЫВЧАТОМ ВЕЩЕСТВЕ

§ 1. Общие понятия о взрыве и взрывчатом веществе

Взрывной процесс – это быстрое физическое или химическое превращение, сопровождающееся переходом потенциальной энергии в механическую. Работа, совершаемая при химическом взрыве, обусловлена быстрым расширением газообразных продуктов.

Существенным признаком взрыва, который служит непосредственной причиной его разрушительного действия, является скачок давления, образованного ударной волной (УВ) в среде, окружающей место взрыва.

Ударная волна – область сжатия, распространяющаяся в среде со сверхзвуковой скоростью с резким скачком давления, плотности и температуры.

Взрывы, вызванные химическими превращениями взрывчатых веществ (ВВ), характеризуются следующими факторами:

1) Экзотермичность процесса – выделение тепла, обеспечивающее самораспространение процесса, разогрев газообразных продуктов и их расширение.

Теплота взрыва является важнейшим критерием работоспособности ВВ. Чем больше теплота взрыва и выше скорость его распространения, тем больше разрушительное действие взрыва. Для современных ВВ, нашедших наиболее широкое распространение в технике, теплота взрыва колеблется в пределах от 3,7 до 7,5 МДж/кг.

2) Высокая скорость распространения процесса, когда переход к



конечным продуктам взрыва происходит за сотысячные или миллионные доли секунды и при этом достигается очень высокая объемная концентрация и плотность энергии. Скорость детонации (скорость распространения взрыва) ВВ колеблется от 1,5 до 9,0 км/с;

3) Газообразование – расширение продуктов детонации (ПД), находящихся в момент взрыва в чрезвычайно сжатом состоянии, с переходом потенциальной энергии ВВ в кинетическую энергию и механическую работу. Объем газообразных ПД при атмосферном давлении составляет примерно от 600 до 800 л на 1 кг ВВ, максимальное давление ПД достигает нескольких десятков гигапаскалей.

Одновременное сочетание указанных факторов обеспечивает явление нормального взрыва.

Классификация взрывных процессов

В зависимости от внешних условий, характера ВВ и других факторов основными формами химического превращения ВВ являются следующие:

1. Медленное термическое разложение, характеризующееся тем, что все разлагающееся вещество находится при одинаковой температуре. Скорость разложения зависит от внешней температуры. При температуре, близкой к температуре самовоспламенения ВВ, происходит так называемый тепловой взрыв, характеризующий порог термической стойкости ВВ. Порог термостойкости – максимальная температура, которую может выдержать заряд ВВ определенных размеров и формы в течение заданного времени в данных условиях. По условиям применения при прострелочно-взрывных работах в скважинах заряды ВВ должны сохранять свои взрывчатые характеристики после выдержки при максимальной температуре их применения в течение требуемого времени (от одного часа до двух–шести суток в зависимости от вида аппаратуры и характера выполняемых работ) и самопроизвольно не детонировать в течение 24 ч.

2. Горение – химическое превращение, протекающее со скоростью от сантиметров до десятков и сотен метров в секунду. Скорость горения существенно зависит от внешнего давления, возрастая с его повышением. Горение является характерным видом взрывчатого превращения порохов и других горюче-окислительных систем.

3. Взрыв – процесс, характеризующийся резким скачком давления (ударом расширяющихся газов по окружающей среде), вызывает дробление и сильные деформации преграды на относительно небольших расстояниях.

4. Детонация представляет стационарную форму взрыва, распространяющегося со скоростью до 9 км/с, при которой достигается максимальное разрушительное действие. Возможны устойчивые детонационные процессы с малой скоростью (от 1,5 до 2,0 км/с). Эти процессы могут быть затухающими.

Горение передается по массе ВВ путем теплопроводности, диффузии и излучения, взрыв и детонация – путем сжатия вещества ударной волной. При горении и взрыве существует фронт химического превращения – узкая зона, в которой происходит химическая реакция.

Эффективность взрыва

Эффективность взрыва оценивается работоспособностью, бризантностью, метательной способностью и другими параметрами, которые зависят от детонационных и энергетических характеристик ВВ (давления продуктов детонации, скорости детонации, детонационной способности, теплоты и объема газообразных продуктов взрыва и др.).

Работоспособность (фугасность) определяется потенциальной энергией ВВ. Возрастает с увеличением теплоты взрыва, удельного объема и теплоемкости газообразных продуктов детонации (ПД). Оценивается по расширению объема полости в свинцовом корпусе после взрыва в нем заряда массой 10 г.



Бризантность – разрушительное действие в месте контакта ВВ со средой, являющееся результатом резкого удара продуктов детонации о преграду. Оценивается величиной обжатия стандартного свинцового цилиндра при взрыве наложенного на него цилиндрического заряда ВВ равного диаметра, массой 50 или 25 г.

Определяется бризантность детонационным давлением (ГПа):

$$P_D = \frac{\rho_{\text{ВВ}} D^2}{(k+1)}, \quad (1.1)$$

где $\rho_{\text{ВВ}}$ – плотность ВВ, г/см³; D – скорость детонации, км/с; k – показатель изоэнтропы.

Для конденсированных, в том числе термостойких ВВ $P_D = (2 \div 3)$ ГПа, $k = (2,8 \div 3,5)$.

Изоэнтропа определяет зависимость давления в продуктах детонации от изменения их плотности:

$$P = P_n \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^k, \quad (1.2)$$

где P – давление в ПД при их плотности ρ , г/см³; P_n – начальное среднее давление в ПД, примерно соответствующее $0,5P_D \approx 0,125\rho_{\text{ВВ}}D^2$; ρ_0 – начальная плотность продуктов детонации (примерно равная $1,25\rho_{\text{ВВ}}$).

Скорость детонации ВВ (м/с) мало зависит от внешнего давления и может быть вычислена по формуле:

$$D = \sqrt{2(k^2 - 1)Q_V}, \quad (1.3)$$

где Q_V – теплота взрыва ВВ, Дж/кг.

При использовании зарядов ВВ в оболочке бризантность считается тем большей, чем больше радиус разлета осколков оболочки.

Начальная скорость разлета осколков оболочки (а также элементов кумулятивной струи, боковой поверхности детонирующих шнуров и т.д.) определяется метательным действием взрыва, которое оценивается коэффициентом нагрузки:

$$\beta = m/M,$$

где m – масса ВВ; M – масса метаемого тела.

Взаимодействие продуктов детонации с преградой

Поведение жидких или твердых тел, находящихся под действием высоких давлений, определяется уравнением состояния – связью между давлением и плотностью:

$$P - P_0 = A \left[\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^n - 1 \right], \quad (1.4)$$

где P – давление в точке тела или жидкости плотностью ρ , ГПа; P_0 и ρ_0 – начальные давление и плотность; A – определяется по формуле (1.5);

$$A = \frac{\rho_0 c_0^2}{n}, \quad (1.5)$$

где c_0 – скорость звука в материале (км/с) при плотности ρ_0 (г/см³), n – экспериментальная величина (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Значения коэффициентов уравнения состояния для некоторых материалов

Среда	A , ГПа	n
Вода	0,311	7,15
Сталь	21,9	5,50
Медь	30,8	4,80
Алюминий	20,1	4,20
Свинец	8,8	5,30

Начальные давления и импульс ПД при взаимодействии с преградой зависят от формы заряда, материала преграды и др. (табл. 1.2).

Максимальное начальное давление в ПД определяется уравнением:

$$P_{\max} = 0,5 \rho_{\text{вв}} D^2 \quad (1.6)$$

При направлении разлета ПД под углом α к нормали давление на фронте детонационной волны равно:

$$P_\alpha = P_{\max} \cos \alpha \quad (1.7)$$



При действии ПД на реальные преграды их давление по сравнению с давлением в случае идеально жесткой преграды снижается и зависит от соотношения плотности и сжимаемости материала преграды (табл. 1.3).

Таблица 1.2

**Средние давления и удельный импульс ПД при действии
на плоскую идеально твердую преграду (разлет ПД
по нормали к поверхности заряда)**

Форма заряда	Начальное среднее давление P_w , ГПа	Удельный импульс i , 10^{-3} , ГПа·с
Сферическая	$0,125\rho_w D^2(r_3/R)^2$	$0,5\rho_w D r_3^3/R$
Цилиндрическая против боковой поверхности против торца	$0,125\rho_w D^2 r_3/R$ $0,25\rho_w D^2 r_3/R$	$0,5\rho_w D r_3^2/R$ $\rho_w D r_3/R$
Плоская	$0,25\rho_w D^2 b/R$	$\rho_w D b^2/R$

Примечание – R – расстояние от центра оси или торца заряда до точки измерения, м;
 r_3 – радиус заряда, м; b – половина толщины заряда, м.

Таблица 1.3

**Максимальное начальное давление на различные преграды
при взрыве зарядов ВВ (в ГПа)**

Материал преграды	Гексоген $\rho_w = 1,77$ г/см ³ ; $D = 8,64$ км/с	Тротил $\rho_w = 1,64$ г/см ³ ; $D = 6,94$ км/с
Идеально твердый	61	40
Медь	55	33
Сталь	54	31,5
Алюминий	41	24,5
Вода	22	12,5

Особенности действия взрыва в воздухе и воде

С воздушными взрывами, как методом выполнения производственных работ, геофизики-промысловики практически не встречаются. Взрывы зарядов, размещенных на грунте и на некоторой высоте над поверхностью земли, используются геофизиками для возбуждения сейсмического сигнала.

Вместе с тем, рассматривая условия безопасности работ при уничтожении отказавших, извлеченных из скважины зарядов, проектировании складов ВВ или помещений, где выполняют работы с ВВ, перевозке и хранении ВВ, определяя безопасные расстояния, мы в той или иной мере постоянно связаны со взрывом в воздухе.

При взрыве заряда в воздухе образующиеся продукты обладают более высокой, чем окружающая среда, плотностью и на первых этапах распространения движутся практически вместе с ударной волной, осуществляя ее подпитку. На этом этапе они определяют действие взрыва. На расстоянии от 10 до 20 радиусов заряда происходит отрыв ударной волны от продуктов взрыва, увеличивающийся по мере удаления ее от точки взрыва. В момент отрыва избыточное давление фронта волны около 1,5–2 МПа, скорость распространения от 1,1 до 1,4 км/с.

Для приведенных расстояний $1 \leq \bar{R} \leq 15$ М.А. Садовским даны эмпирические формулы для вычисления параметров ударной волны, распространяющейся в воздухе. По М.А. Садовскому, избыточное давление (МПа) находится по формуле:

$$\Delta P_{\phi} = 0,084/\bar{R} + 0,27/\bar{R}^2 + 0,7/\bar{R}^3, \quad (1.8)$$

а фаза сжатия, с:

$$\tau_{сж} = 1,5 \cdot \sqrt[4]{G} \cdot \sqrt{R} \cdot 10^{-3}, \quad (1.9)$$

где G – масса заряда в тротиловом эквиваленте.

Изменение давления в фазе сжатия равно:

$$P_{\tau} = P_1 \left(1 - \frac{\tau}{\tau_{сж}}\right) \exp\left(-\frac{\tau}{\tau_{сж}}\right). \quad (1.10)$$

Удельный импульс фазы сжатия (МПа·с/м²) для $\bar{R} > 0,5$ равен:

$$I = 3,5G^{2/3}/\bar{R}. \quad (1.11)$$

Формулы справедливы для неограниченного воздушного пространства и подчиняются обобщенному геометрическому закону подобия.

Если заряд лежит на грунте или вблизи него, то практически вся энергия, за исключением нескольких процентов, уходит в воздух.



Можно считать параметры взрыва такого заряда эквивалентными параметрам взрыва заряда удвоенной массы в воздухе. В этом случае формулы (1.8, 1.9, 1.11) для наземного взрыва имеют вид:

$$\Delta P_n = 0,106/\bar{R} + 0,43/\bar{R}^2 + 1,4/\bar{R}^3; \quad (1.12)$$

$$\tau_{сж} = 1,7 \cdot \sqrt[6]{G} \cdot \sqrt{R} \cdot 10^{-3}; \quad (1.13)$$

$$I = 5,4G^{2/3}/\bar{R}. \quad (1.14)$$

Взрыв заряда, расположенного у уступа, также способствует усилению волны. Последнее обстоятельство учитывается в ЕПБВР при определении безопасных расстояний. Пользуясь приведенными в первой главе уравнениями и зная исходные данные параметров воздуха (давление, плотность), можно рассчитать скорость фронта ударной волны, скорость потока воздуха за фронтом и изменение плотности воздуха во фронте.

В отличие от воздуха, вода обладает высокой плотностью, малой сжимаемостью, и образовавшаяся при взрыве ударная волна сразу отрывается от продуктов взрыва. Взрыв в жидкости сопровождается образованием пузыря из нагретых и сжатых до высокого давления газов, в результате расширения которых в окружающей среде образуются ударные волны. Избыточное давление ΔP (МПа) на фронте УВ на расстоянии R от центра сферического заряда тротила радиусом R_0 в воде (по Н.С. Санасаряну), равно:

$$\Delta P = 19,1 \cdot 10^3 \left(\frac{R_0}{R} \right)^{2,55} \quad \text{при} \quad 1 < \frac{R}{R_0} < 2;$$

$$\Delta P = 8,39 \cdot 10^3 \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 \quad \text{при} \quad 2 < \frac{R}{R_0} < 7,$$

а для удлиненного цилиндрического заряда:

$$\Delta P = 19,1 \cdot 10^3 \left(\frac{R_0}{R} \right)^{1,7} \quad \text{при} \quad 1 < \frac{R}{R_0} < 3;$$

$$\Delta P = 3,43 \cdot 10^3 \left(\frac{R_0}{R} \right)^{1,2} \quad \text{при} \quad 3 < \frac{R}{R_0} < 15.$$

С повышением начального гидростатического давления на 1 МПа (в пределах до 120–150 МПа) давление УВ увеличивается в среднем на 0,4 %, скорость частиц воды на фронте УВ уменьшается на 0,5 %, скорость УВ увеличивается на 0,7 %.

Характер изменения параметров УВ в жидкости в зависимости от гидростатического давления показан на рис. 1.1.

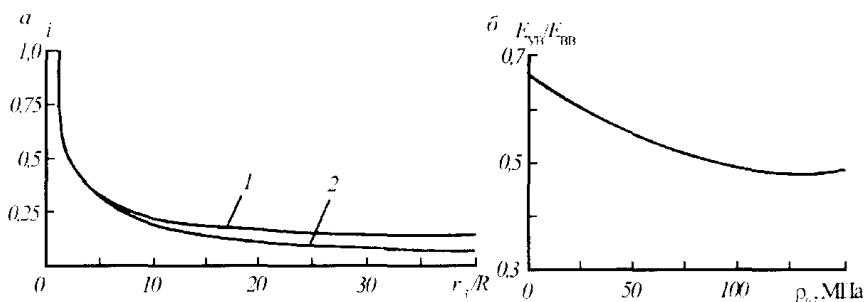


Рис. 1.1. Изменение параметров ударных волн в жидкости с увеличением гидростатического давления:

a – удельного импульса i в функции относительного расстояния r/R
(1 – $P_0 = 0,1$ МПа, 2 – $P_0 = 100$ МПа);

b – относительной начальной энергии ударных волн $E_{ув}/E_{вв}$ от давления P_0

В начальный момент в ударную волну, распространяющуюся в воде, уходит больше половины энергии взрыва. Для заряда из прессованного тротила на расстоянии 10 радиусов за счет потерь энергия волны уменьшается до 32 %, а 1 000 радиусов – до 24 % от общей энергии взрыва. В начальный момент распространения ударной волны давление во фронте в жидкости достигает 13 ГПа, плотность воды повышается в 1,7 раза, а начальная скорость перемещения фронта составляет 5 500 м/с. Но уже на расстоянии 10 радиусов от заряда давление волны снижается до 100–150 МПа.

Процессы, сопутствующие расширению и сжатию продуктов взрыва при подводном взрыве, имеют большое значение для его практического использования. На рис. 1.2 кривой (1) схематически показано измене-



ние давления во времени в газовом пузыре, образованном продуктами взрыва. На участке AO продукты взрыва имеют давление P , превышающее гидростатическое P_2 , и интенсивно расширяются. Кривой 2 показан характер изменения скорости v движения жидкости на поверхности пузыря. На участке AO она растет, достигая максимума в точке O . На участке OB за счет кинетической энергии, запасенной окружающей полость жидкостью, пузырь продолжает расширяться до момента полного ее расходования. К этому времени давление в пузыре становится значительно ниже гидростатического. На этапе BC под действием гидростатического давления жидкость начинает двигаться в обратном направлении, сжимая газовый пузырь, пробегает границу давления равного гидростатическому и, продолжая движение, но уже замедляясь, повышает давление в пузыре (CD). Пульсация повторяется несколько раз, способствуя переводу энергии сжатых газов в энергию возбуждаемых ими волн. При взрыве заряда тротила в неограниченном водоеме в ударную волну уходит 53 %, а при первой и второй пульсациях – 14 и 7 % общей энергии взрыва. При рассмотрении картины действия подводного взрыва обычно ограничиваются учетом первой и второй пульсаций.

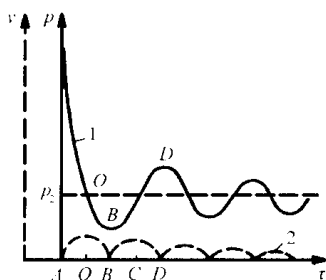


Рис. 1.2. Пульсация продуктов взрыва в жидкости

При пульсации пузырь перемещается вверх. В скважине, если взорван достаточно большой заряд (десятки килограмм и более), момент его выхода на поверхность легко фиксируется, поскольку сопровождается выбросом жидкости. Время выхода газов на земную поверхность зави-

сит от глубины скважины и может меняться в пределах от единиц до десятков минут. Поднимающиеся газы, подходя к устью, расширяются и, захватывая и вытесняя жидкость, выбрасывают ее из ствола. Высота столба выбрасываемой жидкости может достигать 10 м и более. Это обстоятельство нужно учитывать, выполняя взрывные работы. Пульсация продуктов взрыва и их движение по стволу могут иметь существенное значение и для тех случаев, когда в скважине проводятся циклические воздействия, поскольку продукты первого взрыва могут стать гасителями волны, возбуждаемой последующими взрывами.

Картина при взрыве в заполненной жидкостью скважине (ее можно рассматривать как волновод) обладает существенными отличиями от таковой при взрыве в неограниченном водоеме. Волна распространяется с меньшим коэффициентом затухания. Она несет большой запас энергии, сохраняя высокое давление и удельный импульс на значительных удалениях от точки взрыва. Первые исследования процесса выполнялись в скважинах, обсаженных шести- и восьмидюймовыми трубами, заполненными водой. Взрывались заряды, эквивалентные по энергии 3–5 кг нитроглицерина.

Опыты дали картину распределения максимальных давлений в волне в зависимости от расстояния до заряда (см. рис. 1.3). Замеры выполнялись крешерными датчиками, что позволяет считать фактическое давление в волне более высоким, чем замеренное. Как следует из графика, максимальное давление, превышающее на расстоянии до 1 м от заряда 200 МПа, на расстоянии 10 м падает до 50 МПа. В дальнейшем спад стабилизируется (0,2 МПа на 10 м), и на устье, на удалении 1700 м от точки взрыва, давление составляет 16–18 МПа. Сама волна вследствие условий распространения имеет отличный от ударной волны вид, без резкого нарастания и спада давления, и большую протяженность во времени. Профиль волны, распространяющейся в жидкости, заполняющей трубу, изображен на рисунке 1.3 б. Высокие давления и большая энергия, которую она несет, могут вызывать повреждения колонн на значительных удалениях от точки взрыва.

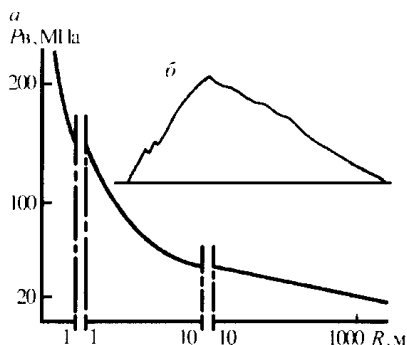


Рис. 1.3. Распределение максимальных давлений в волне, распространяющейся при взрыве в жидкости, заполняющей скважину

Хорошо проверенная практика выбора зарядов для торпедирования обсадных колонн позволяет утверждать, что для мощных ВВ с энергией равной или большей, чем у гексогена, заряд массой 5 кг, а для менее мощных – 7 кг обеспечивает сохранность колонны вне зоны взрыва. При этом инициирование взрыва осуществляется в верхней части торпеды. Повреждения, как правило, связаны с ослабленными местами – участками плохого цементаж или границей цементирования колонны, участками корродированных труб и др. Примером могут быть результаты опыта, выполненного в модели скважины – длинной зацементированной трубке небольшого диаметра, заполненной водой, где взрывался электродетонатор. Против электродетонатора сплошность трубы нарушается системой вертикальных трещин, частично проникающих в цемент, выше и ниже труба сохраняется целой. Но если на некотором удалении от заряда трубку зацементировать некачественно, оставив заполненную водой или, что еще хуже, воздухом полость, то эта часть трубки при прохождении волны разрушается. Существенно заметить, что за участком разрушения или участком перфорированной колонны давление в волне, распространяющейся по жидкости, резко падает. При рассмотрении взрывов в скважинах нужно также иметь в виду, что затухание в необсаженном стволе из-за многократных отражений от неровностей породы, а также в газированных жидкостях, заполняющих

ствол, где энергия расходуется на сжатие и разогрев газовых включений, происходит намного интенсивней, чем в скважине, заполненной водой.

На границе двух сред при переходе ударной волны из одной среды в другую происходит скачкообразное изменение ее параметров. В зависимости от акустической жесткости среды $\rho_0 c_0$ в них может возникнуть либо отражение УВ, либо волна разрежения.

Для оценочных расчетов амплитуд прямой и отраженной волны через границу двух сред (без учета их сжимаемости) можно использовать формулы акустического приближения:

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{2\rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2}; \quad \frac{a'_1}{a_2} = \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2},$$

где a_1 и a'_1 – амплитуды соответственно прямой и отраженной волн в первой среде; a_2 – амплитуда волны во второй среде; ρ_1 и c_1 , ρ_2 и c_2 – соответственно плотность среды и скорость распространения волны в первой и второй средах.

Взрывы в грунтах и твердых породах

Взрывные работы в условиях земной поверхности различаются по глубине расположения заряда, характеру разрушения и перемещения породы. Их можно разделить на сопровождающиеся образованием воронки выброса и проходящие без какого-либо нарушения структуры породы на поверхности над зарядом. Первые носят название взрывов на выброс, вторые – камуфлетных. Промежуточный между ними – заряд рыхления, при котором порода над взорванным зарядом вспучивается и растрескивается, но не отбрасывается. На рисунке 1.4 показаны типичный вид воронки (*а*), образовавшейся в результате действия взрыва на выброс, и результаты действия взрыва заряда рыхления (*б*) и камуфлетного взрыва (*в*).

При взрыве в твердых средах характер и размеры разрушения породы определяются энергией заряда, свойствами породы и линией



наименьшего сопротивления ω – расстоянием от заряда до ближайшей границы порода–воздух. Отношение радиуса образовавшейся воронки r_b и ω называется показателем действия взрыва: $n = r_b/\omega$. Воронка с $n = 1$ называется воронкой нормального, с $n > 1$ – усиленного, а с $n < 1$ – ослабленного выброса. При выполнении расчетов за основу берут воронку нормального выброса. Ее объем: $V_n = (\pi/3)r_b^2\omega \approx K_b\omega^3$. Массу G заряда для получения воронки заданного объема рассчитывают по формуле:

$$G = K_b\omega^3, \quad (1.15)$$

где K_b – коэффициент, зависящий от свойств грунта (масса заряда, необходимая для выброса 1 м³ данной породы).

Для расчета воронок усиленного и ослабленного действия используют формулу:

$$G = K_b\omega^3 f(n), \quad (1.16)$$

где $f(n) = 0,4 + 0,6n^3$, при $n = 1$ $f(n) = 1$.

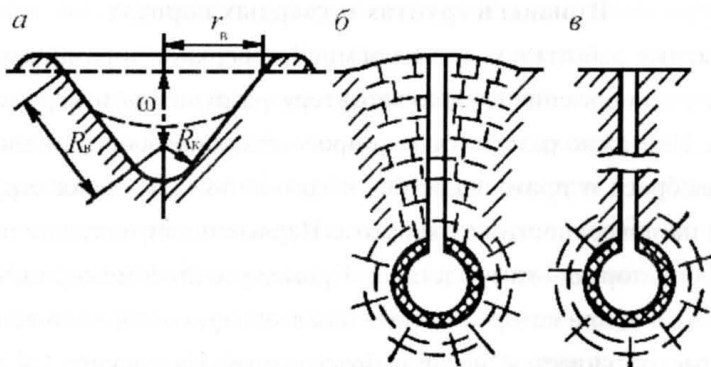


Рис. 1.4. Действие взрыва на грунт при разных глубинах заложения заряда

Хотя подавляющее число проводимых геофизиками взрывов в скважинах следует отнести к камуфлетным, выполняемым вдали от земной поверхности или границы порода–воздух, тем не менее и среди них возможны случаи, когда существование близкой границы будет влиять

на процесс. Это может встретиться при работах в нефтяных шахтах, при подземной добыче угля и руды. Но поскольку в последних работах геофизики, как правило, не участвуют (кроме отдельных операций, например дегазации пласта), ограничимся рассмотрением камуфлетного взрыва, выполняемого на достаточно большой глубине, не связывая его с добычей нефти и газа.

При взрыве в грунте вокруг заряда образуется каверна, радиус которой R_k (м) может быть оценен по формуле:

$$R_k = K_k \sqrt[3]{G}, \quad (1.17)$$

где $K_k = (0,4 \div 0,7)$ в зависимости от свойств породы; G – масса заряда, кг (в тротиловом эквиваленте).

Формула дана для сферического заряда, при переходе к цилиндрическому радиус каверны $R_{цк}$ может быть найден по формуле:

$$R_{цк} = (0,3 \div 0,7) \frac{\sqrt{G}}{l + d_c}, \quad (1.18)$$

где l – длина заряда и d_c – диаметр скважины, м.

Грунт в общем случае представляет собой трехфазную систему, твердый скелет которой заполнен жидким и газовым наполнителями. Соотношение последних может меняться до полного исключения одного из них. Пористость грунтов достигает 30–50 % объема, и сжатие идет в первую очередь за счет уменьшения пористости. В водонасыщенных грунтах, расположенных ниже уровня грунтовых вод, воздух находится в изолированном состоянии в виде отдельных пузырьков, и его содержание незначительно. В грунтах, расположенных выше уровня грунтовых вод, объемное содержание воздуха в порах может превышать содержание воды. В отличие от водонасыщенного, возвращающегося после снятия напряжений к исходному состоянию, неводонасыщенный грунт при разгрузке сохраняет остаточную деформацию.

При взрыве в грунт уходит волна, сжимая и вызывая его перемещение в направлении своего распространения. По структуре она от-



личается от ударной волны, распространяющейся в жидкости более плавным нарастанием давления. Ее скорость сильно зависит от содержания воздуха в породе, падая с его ростом. Область перемещения грунта ограничена радиусом зоны пластических деформаций. При взрывах на выброс его можно отождествлять с образующей воронки выброса R_0 (рис. 1.4 а).

Основная энергия взрыва (свыше 50 %) расходуется на преодоление трения при пластическом течении грунта, до 30 % на его нагрев и сжатие, 5–20 % остается в продуктах взрыва, и лишь небольшая часть уходит в энергию возбуждаемой взрывом упругой волны. По Г.М. Ляхову, давление P_r в волне на расстоянии R может быть вычислено по формуле:

$$P_r = K_2 \left(\frac{\sqrt[3]{G}}{R} \right)^\mu, \quad (1.19)$$

где K_2 и μ – коэффициенты, зависящие от свойств грунта; G – тротиловый эквивалент заряда.

Особенно сильно меняется величина K_2 в зависимости от содержания газов в порах породы. Оно определяет профиль волны, возбуждаемой взрывом в грунте, и темп ее затухания. В зоне размещения заряда образуются полость – каверна, за ней уплотненная порода – зона пластических деформаций и за ее границей – зона упругих деформаций. В водонасыщенном грунте полость немного пульсирует аналогично пульсации газового пузыря в жидкости. Продукты детонации, проникая на некоторую глубину в поры породы, примыкающей к стенке каверны, вытесняют жидкость, осушая ее. Применение значительных взрывов в рыхлых породах с целью добычи нефти бесперспективно, но с их помощью решаются другие задачи, в частности в строительстве. Взрывы в грунтах широко используют геофизики при выполнении сейсморазведочных работ. Для повышения эффективности возбуждения сейсмического сигнала заряд стремятся помещать под зону малых скоростей, ниже стабильного уровня грунтовых вод.

При взрывах в твердой породе, представляющих наибольший интерес при выполнении работ по интенсификации притока жидкости или газа, как и при взрывах в грунтах, вокруг заряда образуется каверна, за пределами которой располагается зона пластических деформаций. Далее следует область упругих деформаций.

На рисунке 1.5 схематически показано действие взрыва заряда в твердой породе. Порода в зоне, непосредственно примыкающей к заряду, сжимается, дробится и уплотняется, образуя каверну с радиусом, равным двум–четырем диаметрам цилиндрического заряда. В опытах, поставленных для получения практических рекомендаций, заряд брали из ВВ, эквивалентного нитроглицерину, длиной, превышающей шесть диаметров скважины. Исследования проводились при гидростатических давлениях от 20 до 30 МПа. При оценке величины каверны следует иметь в виду, что приведенные выше цифры могут быть завышенными, поскольку интервал взрыва, где размещался длинный цилиндрический заряд массой, достигавшей нескольких тонн, после взрыва разбуривался, при этом часть раздробленной и уплотненной породы, образовавшей стенку каверны, частично разрушалась. Коэффициент 2–4 помимо учета большого различия в свойствах породы мог учитывать и это обстоятельство.

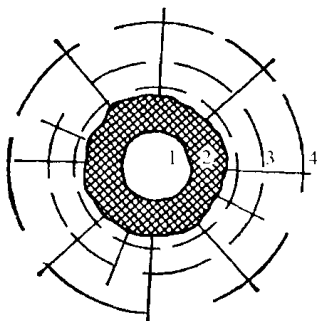


Рис. 1.5. Схема действия взрыва в твердых породах

Горные породы сравнительно хорошо выдерживают сжатие и хуже — растяжение. Продукты взрыва, действуя на породу, образующую ствол,



вызывают расширение ствола. В ближней зоне (рис. 1.5) вокруг каверны (1) порода разрушается и уплотняется, образуя зону уплотнения (2). За этой зоной благодаря продолжающемуся расширению полости и смещению породы в радиальном направлении возникают напряжения, приводящие к образованию радиальных, а на этапе уменьшения давления в полости – и кольцевых трещин зоны (3). На участке (4) волна ослабевает, превращаясь в упругую. В благоприятных условиях развитию образовавшихся трещин, и в первую очередь радиальных, может способствовать задавливание в них высоким давлением, действующим в течение некоторого времени при взрыве в этом районе, жидкости, продуктов взрыва и даже обломков породы, чему препятствует возникновение зоны уплотнения вокруг каверн. Механизм задавливания аналогичен механизму гидравлического разрыва пласта с использованием цементируемых агрегатов, с той только разницей, что время задавливания ограничено. Поскольку высокая бризантность взрыва способствует дроблению породы и образованию уплотненной и малопроницаемой корки на стенке каверны, более «мягкое» воздействие при гидроразрывах с меньшими давлениями и продолжительным задавливанием газов и жидкостей в трещины будет эффективнее при создании трещин и благоприятных условий для движения жидкости и газа из пласта в скважину.

Кумулятивное действие заряда ВВ – это значительное повышение действия взрыва в определенном направлении. Кумулятивный эффект (КЭ) достигается при наличии в заряде выемки той или иной формы – конической, сферической, параболической, ступенчатой и др. Покрывание поверхности выемки в заряде тонкой металлической облицовкой во много раз увеличивает КЭ (рис. 1.6 а). Под действием давления ПД заряда облицовка обжимается и ее элементы последовательно смыкаются с образованием кумулятивной струи (КС), которая образуется за счет течения металла с внутренней поверхности облицовки. В КС сконцентрирована основная часть энергии активной части кумулятивного заряда (КЗ).

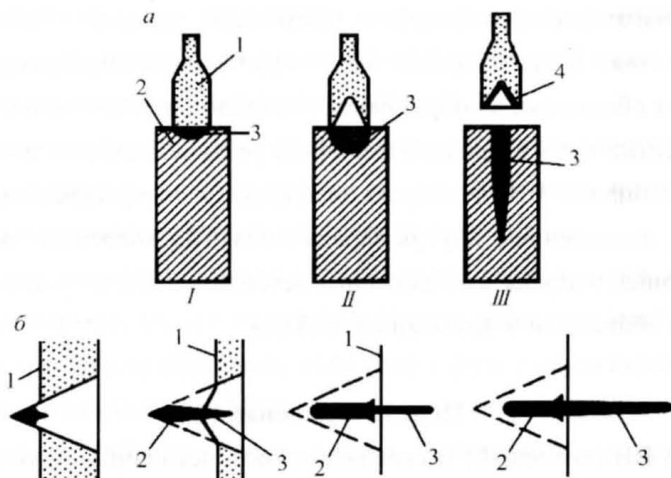


Рис. 1.6. Кумулятивное действие взрыва заряда ВВ:

а – действие на стальную мишень сплошного заряда (I), заряда с кумулятивной выемкой (II) и такого же заряда при наличии облицовки кумулятивной выемки (III):

1 – заряд, 2 – мишень, 3 – выемка или канал, образовавшиеся в мишени после взрыва, 4 – металлическая облицовка;

б – последовательные стадии формирования кумулятивной струи:

1 – положение фронта детонации, 2 – пест, 3 – струя

Активная часть КЗ примыкает непосредственно к кумулятивной выемке и характеризуется распространением ПД в направлении КС, в отличие от пассивной части заряда, продукты детонации которой разлетаются, не производя полезной работы. С целью ограничения разлета ПД и усиления КЭ заряд может быть помещен в толстостенную оболочку.

Скорость головной части КС от 6 до 8 км/с, масса составляет от 6 до 11 % от всей массы облицовки. Остальная часть облицовки в результате обжата превращается в пест, движущийся в хвосте КС со скоростью 0,5–0,8 км/с, не принимающий участие в КЭ (рис. 1.6 *б*) и часто закупоривающий пробитое отверстие.

КС обладает высокой плотностью и пробивной способностью. Вдоль нее действует градиент изменения скорости, благодаря чему длина КС увеличивается, что повышает ее пробивную способность.



Для изготовления облицовок применяют главным образом медь, мягкую сталь и др., с целью предотвращения пестообразования используют облицовки из порошковых металлов и биметаллов.

Эффективность КЗ можно повысить увеличением плотности и скорости детонации ВВ, подбором оптимальной конфигурации заряда и выемки, помещением внутрь заряда линзы из инертного материала, изменяющей направление движения детонационной волны, характеристиками облицовки и другими способами.

Передача детонации

Заряд ВВ (активный) может возбуждать детонацию другого заряда (пассивного), находящегося на некотором расстоянии. В подавляющем числе случаев применения взрыва детонационная цепь состоит из средства взрывания, взрыв которого возбуждается простым начальным импульсом – поджиганием, наколом, и основного заряда, как правило, большего по массе, взрыв которого вызывается взрывом средства взрывания, при необходимости усиливаемым промежуточным детонатором. Если между этими элементами или двумя частями заряда имеется промежуток, заполненный любым невзрывчатым материалом, то говорят о передаче (не путать с распространением) детонации. При рассмотрении этой цепи принято называть активным первый заряд (1), подрываемый средствами взрывания (рис. 1.7 а), пассивным – второй (2), расположенный от первого на некотором расстоянии, называемом расстоянием передачи детонации. Даже донышко взрывного патрона может рассматриваться как существенная преграда, препятствующая передаче детонации от патрона к пассивному заряду. На передачу детонации влияют свойства ВВ и масса активного заряда, а также свойства ВВ и размеры пассивного заряда. Расстояние растет с увеличением массы активного и размера торцевой поверхности пассивного заряда. Условия, в которых осуществляется передача детонации, также влияют на расстояние пере-

дачи. Оно увеличивается при взрывах в трубах и каналах, играющих роль волноводов. Материал, на котором лежит пассивный заряд, может также влиять на расстояние передачи детонации.

Большое значение при конструировании прострелочно-взрывной аппаратуры и определении условий ее применения имеет понимание механизмов возбуждения взрыва при передаче детонации.

Возбуждать детонацию могут интенсивная ударная волна, возникающая при взрыве, разлет продуктов взрыва периферийной части заряда или материала оболочки, действие струи кумулятивных зарядов, поток горячих газов. Можно говорить и о преимущественном действии какого-либо из перечисленных механизмов в рассматриваемом конкретном случае передачи детонации. Для иллюстрации сказанного остановимся на двух описанных в литературе опытах по передаче детонации.

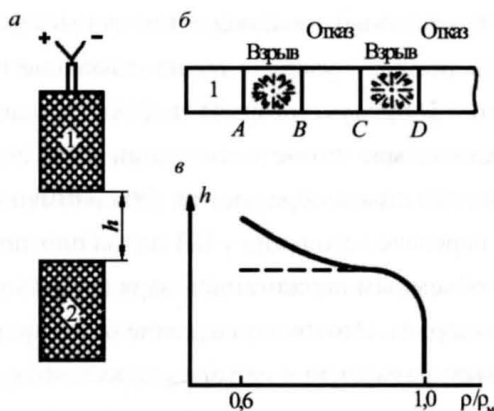


Рис. 1.7. Схематическое изображение результатов опытов по передаче детонации

В первом (опыт Патри) – в трубке (рис. 1.7 б) размещались два заряда – активный (1) и на разных расстояниях от него пассивный, причем в качестве пассивного бралась гремучая ртуть. В результате в интервале AB пассивный заряд взрывался, BC – наблюдались отказы, CD – снова наблюдались взрывы, за CD повторно начинались отказы. Лю-



бое размещение заряда за точкой D сопровождалось отказом передачи детонации. На рисунке 1.7 *в* приведена полученная во втором опыте (Г.В. Димза) зависимость расстояния передачи детонации h от активного заряда к зарядам гексогена разной плотности от его плотности ρ/ρ_m (ρ_m – плотность монокристаллического гексогена). Зависимость особенно заметна в области малых (насыпных) и максимальных, близких к монокристаллической, плотностей.

Результаты первого опыта объясняются так. На близких расстояниях (AB) ударная волна от взрыва активного заряда уверенно возбуждает взрыв гремучей ртути. Однако начиная с точки B давление в волне снижается так, что при ее прохождении взрыв пассивного заряда уже не возбуждается, и вещество разбрасывается. Начиная с точки C волна настолько ослабевает, что не может разбросать BB . Идущие вслед за волной продукты взрыва поджигают гремучую ртуть, которая взрывается. Таким образом, в этом опыте наблюдаются два механизма возбуждения взрыва при передаче – ударная волна и горячие продукты взрыва. Начиная с точки D продукты взрыва подходят к пассивному заряду настолько охлажденными, что не в состоянии даже поджечь его. При рассмотрении второго опыта обращает на себя внимание большая чувствительность к передаче детонации у ВВ малой плотности. Последнее можно связать с объемным поджиганием заряда горячими продуктами взрыва активного заряда. Это предположение было проверено в той же серии опытов путем размещения на торцах пассивных зарядов бумажных чашечек с миллиметровым слоем воды, отсекавшим поток горячих газов. Результаты изображены на графике (рис. 1.7 *в*) пунктирной прямой. Из них следует, что при отсекании горячих продуктов взрыва в широком диапазоне плотностей пассивного заряда его чувствительность к передаче детонации практически не меняется. Резкое снижение чувствительности к передаче детонации наблюдается у зарядов, плотность которых приближается к плотности монокристалла. Возбужде-

ние их взрыва происходит при давлениях в 0,5–10 ГПа, отвечающих сильной ударной волне. В подобных случаях большое, а иногда и решающее значение приобретают такие факторы, как толщина доннышка взрывного патрона, слой выплавившегося флегматизатора из ВВ, размеры оболочки изделия (например, детонирующего шнура) и др. Если в условиях земной поверхности с зарядами, плотность которых приближается к монокристаллической, мы встречаемся редко (обычно от 0,6 до 0,9 от идеальной; например, гексоген в кумулятивных зарядах имеет плотность 1,6 г/см³ при плотности монокристалла 1,81 г/см³), то в скважинах при полной пропитке заряда жидкостью, что наблюдается на больших глубинах, такой случай становится рядовым. Вещества, полностью пропитанные жидкостью, под высоким давлением по своей чувствительности к передаче детонации приближаются к монокристаллическим.

Вещества малой плотности обладают более высокой чувствительностью к передаче детонации, чем, в частности, пользуются при проектировании зарядов для перфораторов, размещаемых в индивидуальных оболочках. Для этого с целью облегчения передачи детонации в том месте заряда, где надо возбудить взрыв, помещают шашку ВВ малой плотности, иногда из того же ВВ.

Когда возбуждение взрыва ВВ связано с его разогревом ударным сжатием до высоких температур, при которых возникает детонация, а это возможно при малых расстояниях между активным и пассивным зарядами, важную роль начинает играть время, в течение которого завершается реакция. Поскольку снижение давления сопровождается падением температуры, определяющее значение приобретают параметры падающей ударной волны, распространение волны разгрузки по пассивному заряду и движение отраженных волн по заряду. Так, увеличивая диаметр и длину пассивного заряда, помещая его на стальную пластину, можно улучшить условия передачи детонации к нему.

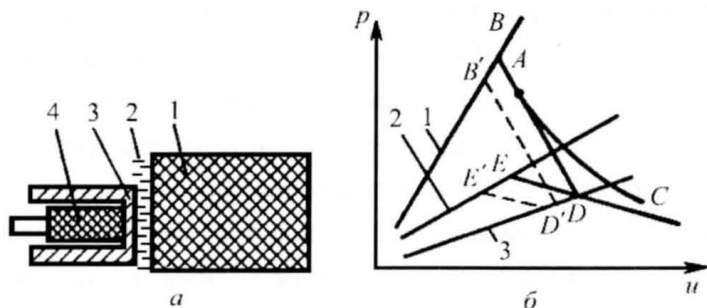


Рис. 1.8. Схема определения давления в пассивном заряде при передаче детонации

Схематически картину передачи детонации иллюстрирует рисунок 1.8 *а*. Где 1 – пассивный заряд ВВ, 2 – разделяющая среда (в скважине вода, нефть, глинистый раствор), 3 – доньшко патрона и 4 – заряд патрона. Кривая *BAC* – изоэнтропа продуктов взрыва, 1, 2, 3 – соответственно ударные адиабаты материала корпуса, ВВ пассивного заряда, воды. Точка *A* характеризует состояние продуктов взрыва в детонационной волне, распространяющейся по ВВ патрона. Исходя из условий динамической совместимости, давление в материале корпуса и продуктах взрыва должно быть одинаковым. При ударе о дно по металлу и набегающим продуктам взрыва пойдет волна сжатия, поднимающая давление в них до значений, характеризуемых точкой *B*. Распространяясь, через корпус волна выходит в воду – среду с меньшим акустическим сопротивлением. Расширение ударно-сжатого материала корпуса патрона (*BD*) можно в приближении рассматривать как зеркальное изображение кривой (1). Пересечение прямой *BD* с ударной адиабатой воды (3) (точка *D*) даст давление и массовую скорость волны в жидкости. Построение может быть продолжено до входа волны в пассивный заряд. Окончательный ответ о возможности возбуждения взрыва пассивного заряда в этих условиях будет получен после сравнения давления инициирования волной заряда из данного ВВ с тем давлением, которое реализуется в нем в рассматриваемом случае.

Схема, естественно, не учитывает потерь при распространении волны в преградах. Пунктирное построение показывает, как это может сказаться на конечном давлении волны, действующей на заряд.

Чувствительность ВВ к внешним воздействиям.

Чувствительность ВВ – способность его реагировать на внешние воздействия возникновением процесса взрывного превращения. Такими воздействиями могут быть тепловой, механический, взрывной или иной импульс.

Мерой чувствительности к тепловому импульсу принято считать температуру вспышки $T_{всп}$ ВВ массой 0,05 г при скорости нагрева 20 °С в минуту и времени задержки вспышки 5 с.

Термостойкость заряда определяется максимальной температурой, которую он может выдержать в течение заданного времени. Порог термостойкости ВВ зависит от его структуры, а также от величины и формы заряда, герметизации, условий теплоотвода, внешнего давления и времени выдержки при высокой температуре. С учетом практического использования ВВ в качестве критерия оценки термостойкости устанавливается температура, при которой потеря массы ВВ при выдержке в течение шести часов не превышает 2 %. Определяется также температурно-временная зависимость, при которой заряды из термостойких ВВ не должны изменять свои взрывные свойства. При уменьшении времени нахождения заряда ВВ в условиях повышенной температуры порог термостойкости их увеличивается; изменение может быть рассчитано по уравнению:

$$\Delta T_1 = \Delta T \ln \left(\frac{t_0}{t_1} \right),$$

где ΔT_1 – повышение порога термостойкости (°С) при уменьшении времени термостатирования от t_0 до t_1 ; $\Delta T = (10 \div 15)^\circ\text{C}$ для большинства ВВ.

При герметизации зарядов или при контакте их с жидкостью при воздействии давления термостойкость всех ВВ снижается на 15–20 %.



На номограмме (рис. 1.9) показана зависимость термостойкости гексогеносодержащего состава от диаметра заряда и времени воздействия температуры в воздушной среде.

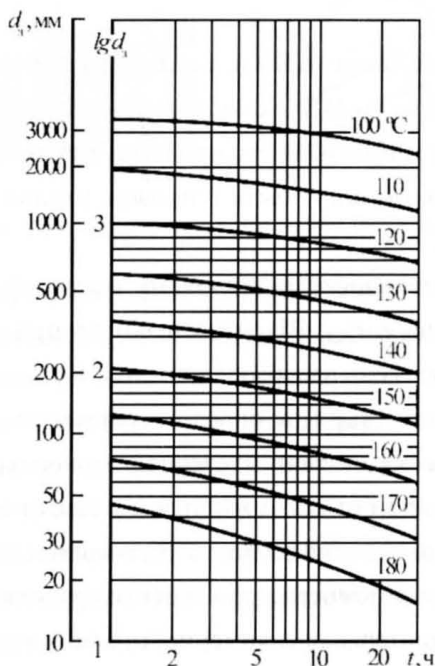


Рис. 1.9. Номограмма для определения термостойкости зарядов из гексогеносодержащего состава в воздушной среде в зависимости от диаметра заряда d_z и времени выдержки t при данной температуре. Шифр кривых – температура окружающей среды

Чувствительность ВВ к удару характеризуется энергией удара, необходимой для возбуждения взрыва. Для инициирующих ВВ определяется верхним и нижним пределом – соответственно минимальной высотой падения груза, при которой получается 100 % взрывов ВВ, снаряженных в специальный капсюль, и максимальной высотой, при которой происходит 100 % отказов. Верхний предел определяет условия безотказного действия капсюля, нижний – условия безопасности при обращении. Для бризантных ВВ (и порохов)

устанавливается частота взрыва (в процентах) при падении груза с определенной высоты.

Стандартные условия испытаний:

- масса груза: 10 кг;
- высота падения груза на вертикальном копре: 25 см;
- число испытаний: 25;
- навеска ВВ, размещается между роликами в специальном приборчике: 0,05 г.

Чувствительность к наколу характерна для инициирующих ВВ и составов, определяется верхним и нижним пределами срабатывания при сбрасывании ударяющегося по жалю груза, которое располагается по центру гильзочки, куда запрессовано ВВ.

Чувствительность к трению, наиболее характерная для оценки безопасности применения ВВ, определяется энергией удара маятника копра, вызывающей взрыв. Навеска ВВ (0,01–0,02 г) зажимается между роликами с заданным давлением. Изменяя высоту падения маятника с постоянным грузом (1,5 кг), определяют частоту срабатывания ВВ в зависимости от давления прижатия его между роликами. Чем выше давление прижатия при заданной частоте взрывов, тем менее чувствительно ВВ к трению.

Чувствительность ВВ к взрывному импульсу (восприимчивость к детонации или ударно-волновая чувствительность ВВ) может характеризоваться величиной минимального заряда ИВВ, обеспечивающего детонацию, либо параметрами передающей инициирующей ударной волны (ИУВ) – давлением, скоростью и др., вызывающей безотказную детонацию зарядов. Чем меньше навеска ИВВ или параметры ИУВ, тем более чувствительно ВВ к взрывному импульсу.



§ 2. Классификация взрывчатых веществ

Взрывчатые вещества – химические соединения и составы – подразделяются на следующие группы: инициирующие ВВ, бризантные ВВ, пороха (метательные составы) и горюче-окислительные системы, пиротехнические составы.

Инициирующие (первичные) взрывчатые вещества (ИВВ) применяются для инициирования взрывных процессов. Их отличительными свойствами являются способность взрываться под влиянием незначительных внешних воздействий и быстрота нарастания скорости взрывного превращения до максимума. Применяются в воспламенительных устройствах, детонаторах, взрывателях и т.п. в индивидуальном виде либо в смеси и могут быть избирательно чувствительными к начальному импульсу (тепловому, наковальному, ударному и др.). Основные из них: гремучая ртуть, тетразен, тринитрорезорцинат свинца, азиды металлов и др. Все инициирующие вещества и составы высокочувствительны к механическим воздействиям.

Бризантные (вторичные) взрывчатые вещества (БВВ), в отличие от ИВВ, обладают большей устойчивостью к внешним воздействиям. Детонация БВВ осуществляется с помощью соответствующих ИВВ. Для прострелочно-взрывных работ в скважинах при изготовлении зарядов перфораторов и торпед, взрывных устройств и детонирующих шнуров используют промышленные БВВ – ТЭН, тротил, составы и сплавы (например тротил-гексоген), а также термостойкие ВВ (вещества, выдерживающие воздействие повышенных температур в скважинах) – гексоген, октоген, тринитробензол, гексанитrostильбен, гексанитродисульфит, составы на их основе и др.

Пороха (метательные ВВ) и топливно-окислительные системы, основным видом взрывчатого превращения которых явля-

ется горение, при ПВР в скважинах используются для метания пуль и снарядов перфораторов, бойков грунтоносов, для термогазохимического воздействия на пласт, гидроразрыва пласта, приведения в действие взрывных пакеров и тампонажных снарядов и других целей.

Некоторые системы являются детонационноспособными, что должно учитываться при их применении.

Воспламенение производится с помощью специальных устройств (электровоспламенителей, пиропатронов и др.).

Пиротехнические составы – механические смеси, применяющиеся в сигнальных устройствах, воспламенителях.

Характеристика взрывчатых веществ

Как источник энергии, ВВ характеризуются теплотой взрыва, удельным объемом, составом и температурой ПД.

Температура взрыва T_v – максимальная температура ПД. Для большей части ВВ она составляет 3 000–4 000 °С.

Состав ПД – продукты взрывчатого превращения, в основном, органических соединений, состоящих из углерода, кислорода, водорода и азота. Наиболее характерные продукты взрывчатого превращения: CO_2 , CO , C , H_2O , H_2 , N_2 , NO , O_2 ; в незначительных количествах образуются CH_4 , C_2N_2 и др.

Детонационная способность ВВ. Устойчивое распространение детонации возможно лишь при диаметре заряда не меньше критического $d_{\text{кр}}$. С увеличением диаметра скорость детонации повышается и достигает своего максимального значения (рис. 1.10) при некотором предельном диаметре ($d_{\text{пр}}$). Чем больше плотность зарядов и меньше размеры частиц ВВ, тем выше детонационная способность и ниже $d_{\text{кр}}$. Критический диаметр изменяется при изменении агрегатного состояния вещества, внешней температуры, наличия оболочки, термического разложения ВВ и других факторов.

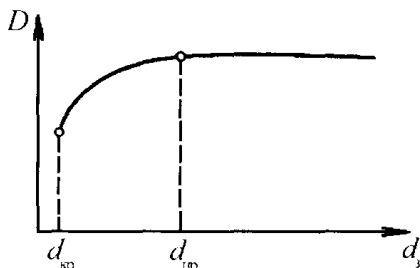


Рис.1.10. Зависимость скорости детонации от диаметра заряда ВВ

Повышение температуры приводит вначале к снижению $d_{кр}$, однако длительная выдержка при предельной температуре в результате разложения ВВ и флегматизации его продуктами распада увеличивают $d_{кр}$. Скорость детонации при воздействии на заряд повышенной температуры повышается, а затем в результате объемного расширения и термического разложения, приводящих к снижению его плотности, снижается. Проникновение жидкости в поры заряда в условиях повышенных гидростатических давлений приводит к увеличению скорости детонации, однако детонационное давление существенно не изменится. С повышением плотности зарядов скорость детонации однородных ВВ увеличивается (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Соотношения $d_{кр}$, $d_{пр}$ и скорости детонации некоторых ВВ при различных плотностях заряда

Взрывчатое вещество	$\rho_{вв}$, г/см ³	$d_{кр}$, мм	$d_{пр}$, мм	D , км/с
1	2	3	4	5
Азид свинца	1,0	0,01	—	2,65
	2,6	—	—	4,48
	4,0	—	—	5,13
ТЭН	1,0	1,0-1,5	—	5,60
	1,37	—	—	6,97
	1,50	—	—	7,42
	1,62	—	1,0	7,92
Тротил	1,0	8,0-10,0	—	—
	1,30	—	—	6,03
	1,50	—	—	6,60
	1,61	3,0	8,0	7,0

Продолжение таблицы 1.4

1	2	3	4	5
Гексоген	1,25	—	—	6,60
	1,50	—	—	7,64
	1,60	1,0–1,5	5,0	8,00
Октоген	1,65	1,0	4,0	8,40
	1,75	—	—	8,80
ГНДС	1,30	3,5	—	—
	1,65	2,0	—	7,20
	1,72	1,5	3,0	7,50

Характеристика порохов и топливно-окислительных систем

Пороха – многокомпонентные ВВ, характеризующиеся устойчивым горением при высоком давлении. Иногда их называют метательными ВВ. В промышленной геофизике пороха применяются в пулевых и снарядных перфораторах, грунтоносах, взрывных пакерах, пороховых генераторах давления и другом оборудовании. Набор широк – от черного (дымного) до порохов, применяющихся при температурах выше 200 °С. Различны в зависимости от изделия, в которых они применяются, и требования к скорости горения пороха, форме заряда и его баллистическим характеристикам.

Энергетические свойства порохов определяются теплотой и объемом газообразных продуктов, выделяющихся при сгорании 1 кг пороха. С теплотой сгорания и составом продуктов горения связаны температура горения T_{Γ} и важная характеристика – сила пороха.

Калорийность (теплота сгорания) Q_v – количество тепла, выделяющегося при сгорании 1 кг пороха в постоянном объеме.

Температура горения T_{Γ} определяется теплотой сгорания; для приблизительного расчета T_{Γ} баллистических нитроглицериновых порохов можно использовать формулу (1.20).

$$T_{\Gamma} = 0,5Q_v + 430, \quad (1.20)$$

где Q_v – измеряется в кДж/кг.



Сила пороха – работа расширения продукта сгорания (1 кг пороха), нагреваемого при атмосферном давлении от нуля до T_r , т.е.:

$$f = RnT_r \quad (1.21)$$

где R – универсальная газовая постоянная; n – количество молей газообразных продуктов, образовавшихся при сгорании 1 кг пороха.

Скорость горения пороха:

$$u = u_1 P_B^v,$$

где u_1 – коэффициент скорости горения (является функцией Q_v); P_B – внешнее давление; v – показатель, зависящий от природы пороха (для порохов, применяемых при ПВР, при плотности заряжения $\Delta = 0,5 - 1,25$ г/см³; $v \approx 1$); в этом случае $u = u_1 P_B$.

Скорость горения пороха определяется его физико-механическими характеристиками, давлением в камере сгорания, скоростью газового потока на поверхности горения, начальной температурой. На скорость горения оказывает также влияние состав пороха и технология его изготовления.

Максимальное давление P_{\max} продуктов горения при полном сгорании пороха в замкнутом объеме определяется уравнением:

$$P_{\max} = \frac{\Delta f}{1 - \alpha \Delta}. \quad (1.22)$$

Для порохов, образующих твердый остаток, при расчете P_{\max} вместо Δ следует применять:

$$\Delta' = \frac{\omega}{V_K - V_T},$$

где ω – масса заряда; V_K – объем камеры; V_T – объем твердого остатка.

С увеличением плотности заряжения растут максимальное давление продуктов горения (в различной степени для порохов разных марок) и скорость метаемого тела (пули, бойка и др.). Рост гидростатического давления (давления внешней среды) приводит к увеличению P_{\max} , однако снижает скорость метаемого тела. При сгорании порохов в некоторых видах ПВА $P_{\max} = (1,5 \div 1,9)$ ГПа.

Дымный порох – механическая смесь угля, серы и селитры, изготовленная в виде полированных зерен серовато-черного цвета. Энергия сгорания 2,8 МДж/кг, объем газообразных продуктов 280 л/кг. Основное горючее – уголь, но и сера, играя роль цемента, связывающего уголь с селитрой, также является горючим. Гигроскопичен, что связано с наличием в его составе калиевой селитры. Содержание влаги в порохе не должно превышать 1 %; если оно превышает 2 %, то воспламенение идет с трудом, при 15 % влажности порох не воспламеняется. Легко поджигается лучом огня и искрой. Чувствителен к удару и трению. Груз в 10 кг, падающий с высоты 45 см на заряд пороха, воспламеняет его в 100 % случаев. При снаряжении черным порохом геофизической аппаратуры, в частности взрывных пакеров, особенно нужно избегать случайного попадания частиц пороха между трущимися поверхностями, которое может привести к разогреву, способному поджечь заряд.

Черный порох – не единственный смесевой состав, нашедший применение при геофизических работах. Применяют также комбинации окислителей (нитратов, перхлоратов) с горючими, зачастую играющими и роль связующего, – пластмассами, смолами, каучуками и другими органическими веществами. Некоторые из этих композиций обладают достаточно высокой термостойкостью. Пороха, содержащие перхлораты, чувствительны к механическим воздействиям. При обращении с ними требуется соблюдать повышенную осторожность.

При сгорании порохов, созданных на основе перхлоратов, в составе продуктов сгорания образуется нагретая соляная кислота, которая, попадая в пласт и реагируя с породой, способствует улучшению качества трещин и, соответственно, проницаемости пласта. Последнее обстоятельство является важным фактором, повышающим эффективность применения пороховых генераторов давления и термогазохимической обработки скважин.



Средства инициирования

Средства инициирования (СИ) делятся на средства воспламенения, детонирования и передачи детонации.

Средства воспламенения и детонирования используются для того, чтобы вызвать горение или детонацию порохов и ВВ. Действие же их вызывается простым начальным импульсом – лучом огня, нагревом, наколом и т. д. Входят как важнейший элемент в состав прострелочно-взрывной аппаратуры, в значительной мере определяя безопасность и надежность работы с ней. Обладая рядом специфических особенностей, они требуют от оператора и руководителя взрывных работ хорошего знания конструкции изделий и правил обращения с ними, включая порядок проверки пригодности и уничтожения средств детонации.

Воспламенение взрывчатых веществ обеспечивается применением различных электрозапалов, электровоспламенителей и пиропатронов, действие которых иногда усиливается дополнительными пороховыми зарядами. Детонация зарядов взрывчатых веществ возбуждается взрывом капсюлей-детонаторов (КД), электродетонаторов (ЭД), капсюлей-детонаторов накового действия, а также взрывных патронов. Обязательным элементом последних служат электродетонаторы. Применяются и специальные взрыватели. Для передачи детонации от одного заряда к другому, расположенному на удалении, используются детонирующие шнуры, которые в торпедах из детонирующего шнура (ТДШ) или при ведении взрывных работ в сейсморазведке методом ЛДШ служат самостоятельным зарядом.

Распространенными средствами воспламенения являются электровоспламенители и электрозапалы. Простейший электровоспламенитель представляет собой гильзу, закрытую с одного конца пробкой, через которую пропущены два проводника, соединенные мостиком накаливания, на который в виде капельки нанесен чувствительный к нагреву быстрогорящий порох или пиротехнический состав. При пропускании

тока мостик нагревается, капля воспламеняется и дает луч огня. В зависимости от назначения конструкции электровоспламенителей могут меняться. Существуют также капсюли-воспламенители, срабатывающие от удара бойка. Простейший из них – капсюль винтовочного или ружейного патрона, срабатывание которого при ударе бойка вызывает воспламенение порохового заряда патрона. Комбинация электровоспламенителя с капсюлем-детонатором, о которой речь пойдет ниже, называется электродетонатором.

Из средств детонации наиболее применимы капсюли-детонаторы и электродетонаторы.

Капсюли-детонаторы – комбинированные заряды инициирующего и бризантного ВВ, размещенные в гильзе. Срабатывают от луча огня электровоспламенителя или огнепроводного шнура. Различаются по размерам и массе заряда. Широко используются в промышленности.

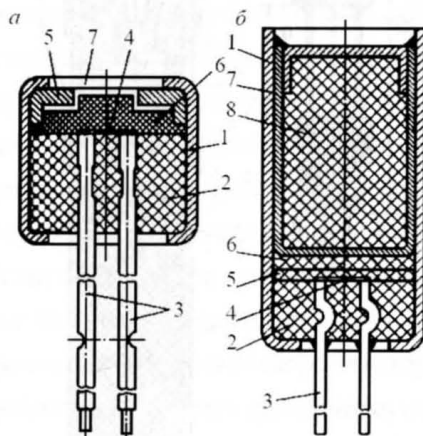


Рис. 1.11. Термостойкие электровоспламенители и электродетонаторы

a – электровоспламенитель повышенной термостойкости ЭВ-ПТ:

1 – колпачок, 2 – пластмассовая колодочка, 3 – выводные провода,
4 – мостик, 5 – чашечка, 6 – воспламенительный состав, 7 – кружок из фольги;

б – термостойкий электродетонатор ТЭД:

1 – колпачок, 2 – пластмассовая колодочка, 3 – выводные провода,
4 – мостик, 5 – воспламенительный состав, 6 – азид свинца, 7 – чашечка,
8 – бризантное ВВ (гексоген или октоген)



В некоторых образцах прострелочно-взрывной аппаратуры применяются капсули-детонаторы накольного действия, срабатывающие при ударе по ним бойка. Изделия удобны потому, что они не требуют, как электродетонаторы, кабеля, по которому подают ток для возбуждения взрыва. Последнее зачастую сложно, а иногда невозможно, например при проведении прострелочно-взрывных работ перфораторами на трубах.

Электродетонаторы в ряде случаев являются простой комбинацией электровоспламенителя с капсулем-детонатором. Они обладают высокой надежностью в работе.

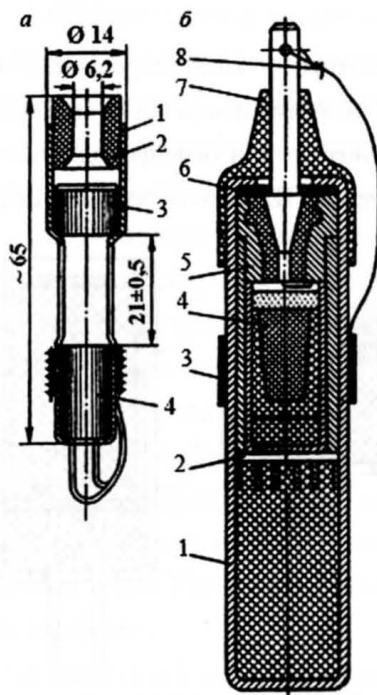


Рис. 1.12. Взрывные патроны

а – негерметичные ПВ-ПД:

- 1 – оболочка металлическая, 2 – резиновая втулка, 3 – промежуточный детонатор,
4 – термостойкий электродетонатор;

б – герметичные ПГ:

- 1 – гильза, 2, 6 – прокладки, 3 – изоляционная лента, 4 – узел инициирования,
5 – узел герметизации, 7 – резиновое уплотнение, 8 – проводник

Взрывные патроны, предназначенные для использования в скважинах, могут существенно различаться в зависимости от оборудования и условий, в которых их применяют. Наиболее распространена конструкция патрона, включающая корпус, электродетонатор и промежуточную пашку ВВ. В зависимости от условий применения взрывные патроны могут быть герметичными и негерметичными. Взрывной патрон, предназначенный для возбуждения взрыва зарядов, размещенных в герметичном корпусе, из факторов, действующих в скважине, должен учитывать лишь влияние температуры на возбуждение взрыва заряда, хотя в этом случае ее влияние меньше, чем на заряд, находящийся непосредственно в жидкости. При работах с корпусными перфораторами всегда существует опасность того, что во время спуска перфоратора через резьбовые соединения или уплотнения в него может попасть жидкость, и часть зарядов окажется в жидкой среде. Тогда при взрыве ударная волна, распространяясь по жидкости от взорвавшегося заряда к стенке перфоратора, деформирует ее и, раздув, запрессует перфоратор в обсадную колонну, вызвав трудно ликвидируемую аварию. Поэтому дополнительным требованием к патрону становится исключение возможности его срабатывания при попадании в перфоратор воды. Последнее достигается конструкцией патрона и размещением его в нижней части корпуса, хотя последнее создает некоторые неудобства в обращении с перфоратором.

Огнепроводные шнуры, представляют собой своеобразный «чулок» с зарядом из пороха с фиксированной скоростью горения, чаще 1 см/с. При геофизических работах в скважинах практически не используются.

В отличие от огнепроводных, детонирующие шнуры находят широкое применение при работах в глубоких скважинах как средство подрыва группы зарядов или как самостоятельный линейный заряд со сравнительно небольшой массой ВВ на единицу длины. Применяются они и в сейсморазведке для возбуждения сейсмического сигнала в качестве линейных зарядов с небольшой массой ВВ.

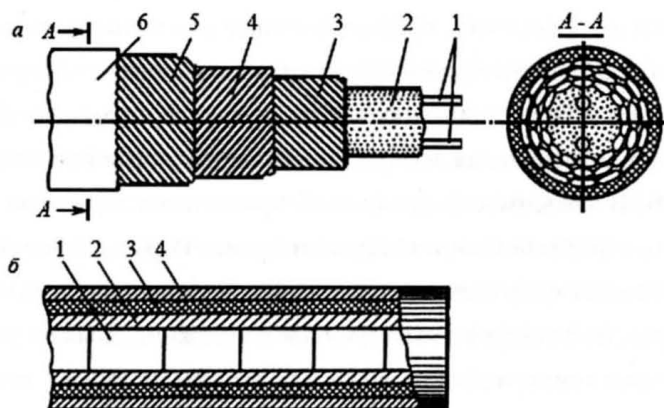


Рис. 1.13. Детонирующие шнуры

а – в эластичной оболочке (ДШВ, ДШТ):

- 1 – направляющие нити, 2 – сердцевина шнура, 3–5 – спиральные оплетки,
6 – внешняя изолирующая оболочка;

б – таблеточные детонирующие шнуры:

- 1 – взрывчатая сердцевина из прессованных таблеток,
2 – обертка из фторопластовой пленки, 3 – чулочная оплетка из стеклянных нитей,
4 – внешняя изолирующая оболочка

Все изделия из ВВ, используемые в геофизике, имеют сроки хранения от двух до пяти лет, в течение которых гарантируется их работоспособность. Продление срока хранения должно быть подтверждено проверкой состояния изделия, выполняемой в установленном порядке по разработанным для этого методикам.

Ограничения обычно связаны со сроками использования вспомогательных материалов, резин, клеев и др. Сами ВВ, особенно термостойкие, могут храниться значительно дольше, не изменяя заметно свойств.

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. 1.5) и подклассы (табл. 1.6).

Таблица 1.5

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
<i>G</i>	Пиротехнические вещества и изделия, содержащие их
<i>N</i>	Изделия, содержащие чрезвычайно нечувствительные детонирующие вещества
<i>S</i>	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

Таблица 1.6

Классификация взрывчатых материалов по подклассам

Подкласс	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



Промышленные взрывчатые вещества по условиям применения разделяются на классы, указанные в таблице 1.7.

Таблица 1.7

Классификация взрывчатых веществ по условиям применения

Класс взрывчатых веществ	Группа взрывчатых веществ	Вид взрывчатых веществ и условия применения	Цвет отличительной полосы или оболочек патронов (пачек)
1	2	3	4
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 либо отсутствует выделение горючих газов или взрывчатой угольной (сланцевой) пыли, либо применяется инертизация призабойного пространства, исключающая воспламенение взрывоопасной среды при взрывных работах	Красный
III		Предохранительные взрывчатые вещества для взрывания только по породе в забоях подземных выработок, в которых имеется выделение горючих газов, но отсутствует взрывчатая угольная (сланцевая) пыль	Синий
IV	—	Предохранительные взрывчатые вещества для взрывания: по углю и (или) породе или горючим сланцам в забоях подземных выработок, опасных по взрыву угольной (сланцевой) пыли при отсутствии выделения горючих газов; по углю и (или) породе в забоях подземных выработок, проводимых по угольному пласту, в которых имеется выделение горючих газов, кроме выработок с повышенным выделением горючих газов; для сотрясательного взрывания в забоях подземных выработок угольных шахт	Желтый
V	—	Предохранительные взрывчатые вещества для взрывания по углю и (или) породе в выработках с повышенным выделением горючих газов, проводимых по угольному пласту, когда исключен контакт боковой поверхности шпурового заряда с газовойздушной смесью, находящейся либо в пересекающих шпур трещинах массива горных пород, либо в выработке	Желтый

Продолжение таблицы 1.7

1	2	3	4
VI	-	Предохранительные взрывчатые вещества для взрывания: по углю и (или) породе в выработках с повышенным выделением горючих газов, проводимых в условиях, когда возможен контакт боковой поверхности шпурового заряда с газовоздушной смесью, находящейся либо в пересекающих шпур трещинах горного массива, либо в выработке: в угольных и смешанных забоях восстающих (более 10°) выработок, в которых выделяется горючий газ, при длине выработок более 20 м и проведении их без предварительно пробуренных скважин, обеспечивающих проветривание за счет общешахтной депрессии	Желтый
VII	-	Предохранительные взрывчатые вещества и изделия из предохранительных взрывчатых веществ V–VI классов для ведения специальных взрывных работ (водораспыление и распыление порошкообразных ингибиторов, взрывное пересечение деревянных стоек при посадке кровли, ликвидация зависания горной массы в углеперепускных выработках, дробление негабаритов) в забоях подземных выработок, в которых возможно образование взрывоопасной концентрации горючего газа и угольной пыли	Желтый
Специ- альный (С)	-	Непредохранительные и предохранительные взрывчатые вещества и изделия из них, предназначенные для специальных взрывных работ, кроме забоев подземных выработок, в которых возможно образование взрывоопасной концентрации горючего газа и угольной (сланцевой) пыли	
	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



Продолжение таблицы 1.7

1	2	3	4
	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

§ 3. Хранение взрывчатых материалов

Организация хранения ВМ

Организации, ведущие взрывные работы (работы с взрывчатыми материалами), обязаны иметь склады и иные специальные места хранения взрывчатых материалов, которые должны сооружаться или приспособляться по проектам, утвержденным в установленном порядке, и эксплуатироваться в соответствии с требованиями Единых правил безопасности при взрывных работах.

По месту расположения относительно земной поверхности склады взрывчатых материалов разделяются на поверхностные, полууглубленные, углубленные и подземные.

К поверхностным относятся склады, основания хранилищ которых расположены на уровне поверхности земли; к полууглубленным – склады, здания хранилищ которых углублены в грунте ниже земной поверхности не более чем на карниз; к углубленным – у которых толщина грунта над хранилищем составляет менее 15 м, и к подземным – соответственно более 15 м.

В зависимости от срока эксплуатации склады разделяются на постоянные – 3 года и более, временные – до трех лет и кратковременные – до одного года, считая эти сроки с момента завоза взрывчатых материалов.

По назначению склады взрывчатых материалов разделяются на базисные и расходные.

Вместимость базисных складов. Общая вместимость базисных складов взрывчатых материалов не ограничивается и должна устанавливаться с учетом того, что вместимость отдельного хранилища не должна превышать 420 т взрывчатых материалов (нетто) и 600 т для аммиачной селитры (АС).

Вместимость поверхностных и полууглубленных складов. Общая вместимость всех хранилищ постоянного расходного склада не должна превышать: взрывчатых веществ – 240 т, детонаторов – 300 тыс. шт., детонирующего шнура – 400 тыс. м, огнепроводного шнура и средств его поджигания – не ограничивается. Для организаций с сезонным завозом взрывчатых материалов при их хранении в контейнерах или хранилищах общая вместимость постоянных расходных складов может не ограничиваться.

Общая вместимость всех хранилищ временного расходного склада взрывчатых материалов не должна превышать: взрывчатых веществ – 120 т, детонаторов – 150 тыс. шт., детонирующего шнура – 200 тыс. м, огнепроводного шнура и средств его поджигания – не ограничивается.

Общая вместимость всех хранилищ кратковременного расходного склада взрывчатых материалов не должна превышать: взрывчатых веществ – по проекту, детонаторов – 75 тыс. шт., детонирующего шнура – 100 тыс. м, огнепроводного шнура и средств его поджигания – не ограничивается.

Предельная вместимость каждого хранилища взрывчатых веществ постоянных расходных складов взрывчатых материалов не должна превышать 120 т, временных – 60 т, кратковременных – по проекту.

Вместимость углубленных и подземных расходных складов. Общую вместимость подземного (углубленного) расходного склада и вместимость отдельных камер (ячеек) необходимо определять про-



ектом. При этом на угольных и сланцевых шахтах вместимость склада без учета емкости раздаточных камер не должна превышать семи-суточного запаса взрывчатых веществ и пятнадцатисуточного запаса средств инициирования.

Вместимость камеры в складах камерного типа не должна превышать 2 т взрывчатых веществ, а в складах ячейкового типа в каждой ячейке разрешается хранить не более 400 кг взрывчатых веществ. Предельная вместимость отдельной раздаточной камеры в подземных выработках не должна превышать 2 т взрывчатых веществ и соответствующего количества средств инициирования, а отдельного участкового пункта хранения – 1 т взрывчатых веществ и соответствующего количества средств инициирования.

В научно-исследовательских институтах, лабораториях и учебных заведениях взрывчатые материалы разрешается хранить в сейфах (в каждом не более 10 кг взрывчатых веществ или 500 детонаторов и по 300 м детонирующего и огнепроводного шнуров). Допускается хранение взрывчатых материалов в одном помещении, но в разных сейфах. Сейфы должны размещаться на расстоянии, исключающем передачу детонации.

При выполнении взрывных работ на морях, реках, озерах и водохранилищах разрешается хранить взрывчатые материалы на судах, специально оборудованных для этой цели.

На работах передвижного характера (сейсморазведка, расчистка трассы для лесных дорог и т.п.) допускается хранение взрывчатых материалов на специально оборудованных автомобилях, прицепах, повозках и санях (передвижные склады). Такой склад взрывчатых материалов может быть самоходным и несамоходным.

При проведении взрывных работ по охране объектов от повреждения ледоходом и паводковыми водами допускается кратковременное (не более 30 суток) хранение взрывчатых материалов на специальных

площадках. Для производства массовых взрывов, геофизических и других разовых работ срок кратковременного хранения взрывчатых материалов не должен превышать 90 суток. При этом во всех случаях взрывчатые материалы необходимо размещать на деревянном настиле высотой не менее 20 см от земли и под навесом или брезентовым покрытием.

Сроки, место и порядок временного хранения взрывчатых материалов на площадках при мелиоративном строительстве могут устанавливаться руководителями строительных организаций по согласованию с органами Ростехнадзора и внутренних дел, но во всех случаях не должны превышать двух лет при ежегодной перерегистрации площадок и приемке их в эксплуатацию.

Допускается хранить взрывчатые вещества в зарядных машинах на специально выделенной площадке на территории склада взрывчатых материалов или стационарном пункте подготовки или изготовления взрывчатых веществ, при этом срок хранения не должен превышать двух суток.

Взрывчатые материалы, доставленные к местам работ, должны находиться в сумках, кассетах или в заводской упаковке, а также в спецмашинах и контейнерах. При этом во всех случаях взрывчатые вещества и средства инициирования при хранении необходимо размещать отдельно, на расстоянии, исключающем передачу детонации. Нахождение лиц, не связанных со взрывными работами, в местах хранения взрывчатых материалов не допускается.

Общие правила хранения ВМ

Взрывчатые материалы различных групп совместимости должны храниться отдельно.

Допускается совместное хранение:

- дымных (группа совместимости *D*) и бездымных (группа со-



вместимости *C*) порохов в соответствии с требованиями к наиболее чувствительным из них;

- огнепроводного шнура, средств его зажигания 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*).

Допускается заменять при хранении взрывчатые вещества средствами инициирования и наоборот, а также одни взрывчатые материалы другими при той же группе совместимости с учетом коэффициентов по теплоте взрыва.

Стойкость взрывчатых веществ. Тепловой взрыв

Различают физическую и химическую стойкость ВВ. Первая связана с физическими процессами, протекающими в них при хранении и применении. Если в составе ВВ есть летучие компоненты, например у оксиликвитов – взрывчатых смесей, приготавливаемых на месте применения путем пропитки пористого органического горючего жидким кислородом, то в ожидании подрыва за счет испарения могут меняться состав и, соответственно, взрывные свойства смесей. Для таких ВВ можно говорить о «времени жизни» заряда, измеряемом иногда десятками минут, за пределами которого он теряет способность взрываться.

Но не все ВВ, содержащие жидкие компоненты, нестойки. Так, смеси на основе концентрированной азотной кислоты (температура кипения 86 °С) с соответствующими горючими, например нитробензолом, будут обладать большим временем жизни, хотя для хранения они мало пригодны. Более высокую физическую стойкость, позволяющую длительное хранение, и широкое практическое применение имеют смеси

(растворы), содержащие твердые и жидкие с высокой температурой кипения взрывчатые вещества. В качестве последних чаще всего применяются нитроэфиры. Примером такой системы являются нитроглицериновые пороха. ВВ, содержащие нитроглицерин, называются динамитами и применяются в промышленности.

Если один из компонентов взрывчатого вещества жидкий, то при хранении может наблюдаться экссудация – выделение жидкого вещества из ВВ. Особенно это опасно, если выделяющееся вещество взрывчатое и чувствительно к удару, например нитроглицерин. Экссудация капелек нитроглицерина из динамитов или нитроглицериновых порохов увеличивает опасность обращения с ними. Такие ВВ подлежат уничтожению.

Большое значение для применения ВВ, содержащих соли азотной кислоты, имеет гигроскопичность последних. Назовем два из них – черный порох, в состав которого входит азотнокислый калий (KNO_3), и аммониты, содержащие аммиачную селитру (NH_4NO_3). Селитры, например аммиачная, довольно хорошо поглощают влагу из воздуха. В результате увлажнения ВВ слеживаются, меняется их состав, ухудшаются взрывные характеристики, снижается, вплоть до отказов, чувствительность к возбуждению детонации. Взрывные свойства могут меняться настолько сильно, что даже последующие высушивание и измельчение не восстанавливают начальных свойств ВВ, так как при высушивании в результате перекристаллизации кристаллы селитры могут изменить свой размер.

Для защиты от увлажнения патроны из аммонитов покрывают тонким слоем парафина или лаком, используют и пленки из синтетических материалов. С этой же целью на заводах выпускают аммиачную селитру в виде гранул, поверхность которых покрыта водоотталкивающими веществами. Такая селитра используется, в частности, при изготовлении дешевых взрывчатых веществ – игданитов.



Обычно взрывчатые вещества способны храниться годами, не претерпевая значительных химических изменений. Стойкость – одно из условий их безопасного применения. Химическая стойкость ВВ связана с тем, что реакции в них при нормальных условиях протекают медленно. В составе ВВ есть все для осуществления реакции. Но молекулы начинают реагировать тогда, когда им сообщают дополнительную энергию (энергию активации), необходимую для приведения их в реакционноспособное состояние. Если она незначительна, то активных молекул будет много, и ВВ будет обладать низкой стойкостью. Разложение в нем пойдет быстро. Процессу способствует образование продуктов разложения, ускоряющих реакцию.

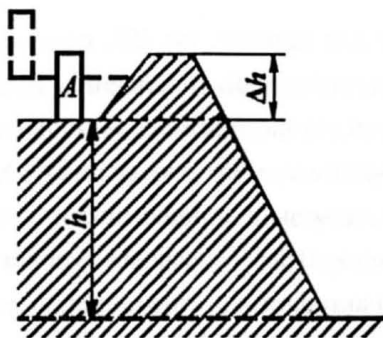


Рис. 1.14. Схема, поясняющая роль энергии активации

Чтобы понять роль энергии активации, представим себе лыжника A массой G , стоящего на горе высотой h . Потенциальную энергию лыжника Gh , которую он получил, забравшись на гору, можно сравнить с потенциальной энергией взрыва. Но, как следует из рисунка 1.14, лыжник, для того чтобы съехать с горы, нуждается в затрате дополнительной энергии $G\Delta h$, которая позволит ему преодолеть барьер, отделяющий площадку от склона. У ВВ таким барьером является энергия активации; лишь приобретая ее, молекула становится реакционноспособной. Как у лыжника условием спуска с горы является преодоление барьера, так и у ВВ условием осуществления

реакции будет сообщено молекуле энергии активации. Чем она выше, тем меньше вероятность того, что при случайном подводе энергии в результате удара, трения или другим путем возникнут нежелательные в этих условиях горение или взрыв. Подняв лыжника на промежуточную площадку (положение, показанное пунктиром), что аналогично нагреву заряда ВВ, мы упрощаем для него условия преодоления барьера, а применительно к ВВ уменьшаем энергию, необходимую для осуществления реакции.

Средний уровень энергии, которой располагают молекулы ВВ в обычных условиях, много ниже энергии активации E_a , иначе вещество не могло бы храниться. Но реакция во взрывчатом веществе постоянно идет. Это объясняется тем, что отдельные молекулы способны и в этих условиях получать достаточную энергию. Число таких молекул увеличивается с ростом и уменьшается с понижением температуры. Соответственно, если реакция сопровождается выделением тепла, то его количество будет пропорционально скорости реакции и массе заряда. Со временем концентрация вещества, остающегося в объеме, падает, поскольку часть его успевает прореагировать.

Рассмотрим хранение большой массы ВВ на складах при обычных температурах. Даже при тех малых скоростях реакции, которые отвечают условиям хранения, оно будет сопровождаться выделением тепла. Тепло отводится в окружающую среду, что возможно только при перепаде температур. ВВ, находящееся в штабеле, особенно в его центральной части, откуда отвод тепла наиболее затруднен, имеет более высокую температуру, чем окружающая среда. При правильно организованном складировании разогрев будет настолько незначительным, что практически не ускорит разложение вещества, поскольку теплоотвод в окружающую среду сразу превысит теплоприход. Но хранение больших масс ВВ в условиях, когда удельная поверхность (поверхность, приходящаяся на единицу массы) мала и теплоотвод затруднен (большой штабель, куча), с точки зрения возможности самовоспламенения всегда опаснее, чем в ограниченных по раз-



меру, хорошо вентилируемых штабелях. Неверная организация хранения взрывчатых веществ и изделий из них может привести к их самовоспламенению. В Единых правилах безопасности при ведении взрывных работ (ЕПБ) – основном документе, определяющем обращение со взрывчатыми материалами, порядок размещения ВВ на стеллажах и в штабелях регламентирован с учетом этих требований. Даже при хранении больших количеств невзрывчатых, но горючих материалов, например угля или торфа, в затрудненных условиях теплоотвода могут возникнуть условия самовоспламенения, если хранение плохо организовано и не контролируется.

Реакции, протекающие в ВВ при хранении, как указывалось, могут сопровождаться появлением химически активных продуктов, способных ускорять разложение. К ним, в частности, относятся окислы азота. Для локализации их вредного действия к порохам, в состав которых входят наименее стойкие из практически применяемых ВВ – нитроэфиры, при изготовлении на заводе добавляют стабилизаторы (например, дифениламин), действие которых основано на химической нейтрализации образующихся активных веществ.

Из всех ВВ, используемых геофизиками для работ в скважинах, наибольшую опасность с точки зрения осложнений при хранении могут представлять некоторые сорта порохов, особенно если они хранились длительно и в больших количествах.

Чтобы обеспечить безопасность хранения, ВВ должны периодически, через установленные промежутки времени, проверяться на химическую стойкость. Последнее выполняется в специальных лабораториях, располагающих необходимым оборудованием. Частота проведения контрольных анализов зависит от типа и состояния ВВ. В практике промышленных работ необходимость в этом встречается редко.

Если ВВ смесевое и состоит из окислителя и горючего, то в определенных условиях, например в присутствии воды, между компонентами может возникнуть реакция, приводящая к образованию более опасных

в обращении и высокочувствительных соединений. Взрывчатые вещества, в том числе и индивидуальные, могут реагировать с материалами оболочек, лаками, замазками, и реакции способны приводить к образованию более опасных в обращении веществ. Например, при взаимодействии взрывчатого вещества – пикриновой кислоты $C_6H_3N_3O_7$ – с соединениями свинца может образоваться высокочувствительное опасное соединение пикриновой кислоты – пикрат свинца.

§ 4. Перевозка взрывчатых материалов

Организация перевозки ВМ

Перевозка взрывчатых материалов осуществляется в соответствии с Правилами перевозки опасных грузов автомобильным транспортом. Взрывчатые материалы должны перевозиться только специальными и (или) специально приспособленными для этих целей транспортными средствами, которые должны быть изготовлены в соответствии с действующими нормативными документами (тех. заданием, тех. условиями на изготовление, испытания и приемку) для полнокомплектных специальных транспортных средств и технической документацией на переоборудование (дооборудование) транспортных средств, используемых в народном хозяйстве. Запрещается перевозка взрывчатых веществ на автоприцепах, автобусах общего назначения и автомобилях с пассажирами. Транспортные средства должны оборудоваться номерными, опознавательными знаками и таблицами системы информации об опасности в соответствии с требованиями Правил перевозки опасных грузов автомобильным транспортом и правил дорожного движения.

При перевозке взрывчатых материалов автомобильным транспортом грузоотправитель (грузополучатель) должен получить разрешение на перевозку от органов внутренних дел по месту его нахождения.



Для получения разрешения на перевозку взрывчатых материалов грузоотправитель (грузополучатель) подает в органы внутренних дел по месту приема груза к перевозке заявление, с указанием в нем наименования опасного груза, количества предметов и веществ, маршрута перевозки, лиц, ответственных за перевозку, и (или) лиц, охраняющих груз в пути следования.

К заявлению прилагаются следующие документы:

- аварийная карточка системы информации об опасности;
- маршрут перевозки, разработанный автотранспортной организацией и согласованный с грузоотправителем (грузополучателем) и подразделениями ГАИ МВД России;
- свидетельство о допуске транспортного средства к перевозке опасных грузов.

При разработке маршрута транспортировки автотранспортная организация должна руководствоваться следующими основными требованиями:

- вблизи маршрута транспортировки не должны находиться важные крупные промышленные объекты;
- маршрут транспортировки не должен проходить через зоны отдыха, архитектурные, природные заповедники и другие особо охраняемые территории;
- на маршруте транспортировки должны быть предусмотрены места стоянок транспортных средств и заправок топливом;
- маршрут транспортировки не должен проходить через крупные населенные пункты. В случае необходимости перевозки опасных грузов внутри крупных населенных пунктов, маршруты движения не должны проходить вблизи зрелищных, культурно-просветительных, учебных, дошкольных и лечебных учреждений.

Для согласования маршрута транспортировки опасных грузов автотранспортная организация обязана не менее чем за 10 суток до начала

перевозки представить в территориальные подразделения ГАИ МВД России следующие документы:

- разработанный маршрут перевозки по установленной форме в трех экз.;
- свидетельство о допуске транспортного средства к перевозке опасных грузов;
- инструкцию по перевозке взрывчатых материалов, представленную грузоотправителем (грузополучателем);
- разрешение на транспортировку грузов, выданное органами МВД Российской Федерации по месту нахождения грузоотправителя (грузополучателя).

К перевозке опасных грузов допускаются водители, имеющие непрерывный стаж работы в качестве водителя транспортного средства данной категории не менее трех лет и свидетельство о прохождении специальной подготовки по утвержденным программам для водителей, осуществляющих перевозку опасных грузов (ДОПОГ).

Водитель, осуществляющий перевозку опасного груза, должен иметь при себе следующие транспортные документы:

- путевой лист с указанием маршрута перевозки с отметкой «Опасный груз», выполненной красным цветом в верхнем левом углу и указанием в графе «Особые отметки» номера опасного груза по списку ООН;
- свидетельство о допуске водителя к перевозке опасных грузов (ДОПОГ);
- аварийную карточку системы информации об опасности;
- товарно-транспортную накладную (наряд-накладную, наряд-путевку);
- маршрут перевозки;
- адреса и телефоны должностных лиц автотранспортной организации, грузоотправителя, грузополучателя, ответственных за перевозку дежурных частей органов ГАИ МВД России, расположенных по маршруту движения.



Перевозка взрывчатых веществ осуществляется при обязательном сопровождении транспортного средства ответственным лицом (экспедитором), выделяемым грузоотправителем-грузополучателем, имеющим право на охрану или производство работ с указанными взрывчатыми веществами.

Лицо, ответственное за перевозку взрывчатых веществ (сопровождающий экспедитор), должно находиться в кабине автомобиля, перевозящего взрывчатые вещества, а при движении колонной – в первом автомобиле.

При перевозке опасных грузов водителю запрещается отклоняться от установленного и согласованного с ГАИ МВД России маршрута и мест стоянок, а также превышать установленную скорость движения.

Запрещается проезд транспортного средства с взрывчатыми веществами на расстоянии ближе 300 м от очагов пожаров и ближе 80 м от «факелов» нефтегазовых промыслов.

Застигнутое грозой в пути транспортное средство с взрывчатыми материалами должно быть остановлено на расстоянии не менее 200 м от жилых строений или леса и не менее 50 м от других стоящих транспортных средств. В этих случаях обслуживающий персонал, кроме охраны, должен быть удален от транспортного средства на расстояние не менее 200 м.

Перевозка транспортных средств с взрывчатыми веществами на пароме через водные преграды должна осуществляться при отсутствии на пароме других транспортных средств и людей.

Общие правила перевозки ВМ

Взрывчатые материалы различных групп совместимости должны перевозиться отдельно.

Допускается совместная перевозка автомобильным транспортом взрывчатых материалов групп *B, C, D, E, G, N* и *C* при выполнении следующих требований:

- взрывчатые материалы одной группы совместимости, но разных подклассов можно перевозить совместно при условии применения к ним в целом мер безопасности как к взрывчатым материалам, имеющим подкласс 1.1;

- взрывчатые материалы групп совместимости *C*, *D* и *E* можно перевозить совместно при выполнении требований, установленных для подкласса с меньшим номером, отнесенного к группе совместимости *E* (если перевозится груз этой группы) или *C* (при отсутствии взрывчатых материалов группы *E*);

- взрывчатые материалы группы совместимости *N*, как правило, не должны перевозиться с взрывчатыми материалами других групп совместимости, кроме *S*. Однако, если взрывчатые материалы группы совместимости *N* перевозятся с взрывчатыми материалами групп совместимости *C*, *D* и *E*, то все они должны рассматриваться как имеющие группу совместимости *D*.

Совместная перевозка различных классов взрывчатых материалов на одном транспортном средстве (в одном контейнере) разрешается только в пределах правил допустимой совместимости, представленных в таблице 1.8.

Таблица 1.8

Таблица совместимости при перевозках взрывчатых материалов

Наименование подклассов	Подкласс №	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
Опасность взрыва массой (весь груз)	1.1	+	-	-	-	-	-
Не взрывающиеся массой	1.2	-	+	-	-	-	-
Опасность пожара с незначительным взрывчатым действием	1.3	-	-	+	+	+	+
Не дающие разрушений упаковок	1.4	-	-	+	+	+	+
Взрывающиеся массой и нечувствительные к детонации	1.5	-	-	+	+	+	+
Не взрывающиеся массой и нечувствительные к детонации	1.6	-	-	+	+	+	+



§ 5. Испытание и уничтожение взрывчатых материалов

Все взрывчатые материалы должны подвергаться испытаниям организациями-потребителями в целях определения пригодности для хранения и применения:

- при поступлении на склад взрывчатых материалов организации-потребителя (входной контроль);
- при возникновении сомнений в доброкачественности (по внешнему осмотру или при неудовлетворительных результатах взрывных работ – неполные взрывы, отказы);
- 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 руководством организации.

Запрещается применять и хранить взрывчатые материалы с истекшим гарантийным сроком без предварительных испытаний.

Уничтожение взрывчатых материалов, в том числе не отвечающих требованиям стандартов и технических условий, должно проводиться по письменному распоряжению руководителя организации (шахты, рудника, карьера и т.п.) взрыванием, сжиганием или растворением в воде согласно требованиям стандартов и технических условий.

О каждом уничтожении взрывчатых материалов необходимо составлять акт с указанием количества и наименования уничтоженных взрывчатых материалов, причин и способа уничтожения. Акт составляется в двух экземплярах, которые предназначаются складу взрывчатых материалов и бухгалтерии организации.

Место для уничтожения взрывчатых материалов необходимо оборудовать согласно проекту, утвержденному руководителем организации. При этом должна быть определена опасная зона.

Уничтожение взрывчатых материалов должно выполняться взрывниками под руководством заведующего складом взрывчатых материалов или лица технического надзора, назначенного руководителем организации (шахты, рудника, карьера и т.п.).

Уничтожение взрыванием следует проводить при помощи доброкачественных взрывчатых материалов: патронированные взрывчатые вещества подлежат уничтожению пачками, а детонаторы, детонирующие шнуры и пиротехнические реле – в любой упаковке зарытыми в землю или другими способами, исключающими разброс невзорвавшихся изделий.

Уничтожению сжиганием подлежат взрывчатые материалы, не поддающиеся взрыванию. Запрещается уничтожать сжиганием детонаторы и изделия с ними.

Безопасные расстояния при сжигании взрывчатых материалов должны рассчитываться как при взрывании соответствующего количества взрывчатых веществ.

Сжигание взрывчатых материалов разрешается проводить только в сухую погоду в количествах, установленных руководством (инструкцией) по применению.

Взрывчатые вещества, огнепроводные шнуры и детонирующие шнуры необходимо сжигать раздельно, причем на костре разрешается сжигать за один прием не более 20 кг. При уничтожении сжиганием порохов они должны рассыпаться дорожками шириной не более 30 см при толщине слоя до 10 см и расстоянии между ними не менее 5 м. Одновременно разрешается поджигать не более трех дорожек с порохами.

Патроны взрывчатых веществ при сжигании необходимо раскладывать в один слой так, чтобы они не соприкасались.

Пороха, заключенные в оболочки, должны уничтожаться в порядке, установленном техническими условиями на эти изделия.



Запрещается сжигать взрывчатые материалы в их таре. Перед сжиганием взрывчатых веществ необходимо убедиться в отсутствии в них средств инициирования. Непригодные к дальнейшему использованию ящики, коробки, бумага, мешки и т.п., в том числе со следами экссудата, после осмотра и очистки от взрывчатых веществ и средств инициирования должны сжигаться отдельно от них.

Для поджигания костра с взрывчатыми материалами необходимо с подветренной стороны прокладывать огнепроводный шнур или дорожку из легковоспламеняющегося материала длиной не менее 5 м. После поджигания взрывник должен немедленно удалиться в укрытие или за пределы опасной зоны.

Поджигание может проводиться только после окончания всех подготовительных работ и вывода людей в безопасное место.

Костер должен быть таким, чтобы в него не приходилось подкладывать горючий материал во время сжигания взрывчатых материалов. Запрещается осмотр места сжигания до полного прекращения горения костра с взрывчатыми материалами.

Растворением в воде разрешается уничтожать только неводоустойчивые взрывчатые вещества на основе аммиачной селитры, не содержащие нитроэфира и гексогена.

Растворение допускается проводить в бочках и иных аналогичных сосудах, при этом не допускается загрязнение окружающей среды. Нерастворимый осадок должен собираться и уничтожаться сжиганием.

По окончании уничтожения взрывчатых материалов персонал, выполнявший соответствующие операции, в том числе руководитель работ, обязан убедиться в полном уничтожении изделий с взрывчатыми веществами.

Освободившаяся тара должна быть тщательно очищена от остатков взрывчатых веществ.

Непригодная к использованию тара и тара со следами экссудата должна быть уничтожена.

ГЛАВА 2. ВТОРИЧНОЕ ВСКРЫТИЕ ПЛАСТОВ

Задачей вторичного вскрытия пласта является установление надежного канала связи между обсаженной скважиной и продуктивными пластами.

Для осуществления процесса перфорации в нефтепромысловой практике получили распространение стреляющие перфораторы, которые подразделяются на пулевые, кумулятивные и торпедные (см. рис. 2.1).

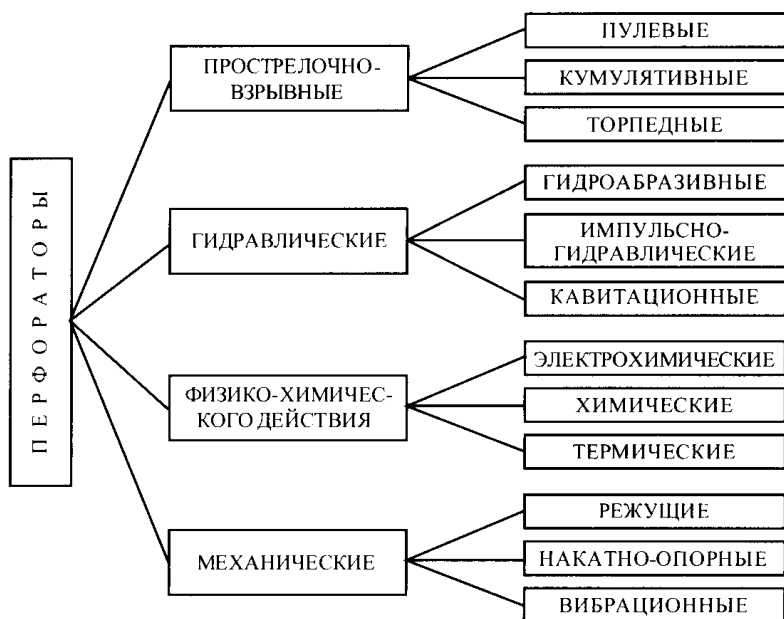


Рис. 2.1. Классификация перфораторов

Наиболее распространена кумулятивная перфорация, с помощью которой осуществляется более 90 % работ по вскрытию пластов в скважинах



с забойной температурой до 270 °С и давлении до 150 МПа. При кумулятивной перфорации, сопровождающейся высокой скоростью движения струи (продуктов взрыва), создается огромное направленное пробивное усилие. Скорость движения струи составляет 9 000 м/с, а ударное воздействие достигает 20 000–30 000 МПа. Ударная волна из-за резко различающихся жесткости и пластичности материалов обсадной колонны и цементного камня ухудшает сцепление цемента с обсадной колонной и может вызвать образование трещин большой протяженности в цементном кольце. В результате может наблюдаться преждевременное обводнение продукции скважины, для предупреждения которого нижние перфорационные каналы иногда выполняют на 4–6 м выше водонефтяного контакта. Для профилактики трещинообразования в некоторых регионах (Пермская область) используются специальные гасители взрывной волны.

При кумулятивной перфорации частицы цементного камня, перфорационной среды, обломки меди, свинца и т.п. попадают в перфорационные каналы и кольматируют их стенки. Кроме того, из-за упруго-пластической деформации стенки самих каналов уплотняются. Все это приводит к снижению проницаемости стенок перфорационных каналов.

Общим недостатком прострелочно-взрывной аппаратуры является возникновение и воздействие больших ударных нагрузок на обсадную колонну и цементный камень, приводящих к нарушению их целостности, а также повышенные требования по технике безопасности при проведении перфорационных работ, хранении и транспортировке взрывчатых материалов.

С начала 60-х годов на отечественных промыслах и за рубежом начал применяться метод гидроабразивной (гидропескоструйной) перфорации. Метод основан на гидроабразивном эффекте, при котором жидкость, содержащая твердые абразивные частицы, под высоким давлением прокачивается через специальный аппарат – гидроперфоратор, снабженный соплами (гидромониторными насадками), и прорезает отверстия в колонне,

цементном камне и породе пласта. При этом глубина перфорационных каналов при точечной гидроабразивной перфорации в условиях скважины может достигать 100–150 мм при скоростях истечения струи из насадок 150–200 м/с и более. Продолжительность образования одного перфорационного канала достигает 40 и более минут. Общая протяженность канала до 500 мм. Известны и случаи успешной перфорации двойных обсадных колонн. Сохраняются целостность цементного камня и герметичность за-колонного пространства. При использовании в качестве рабочей среды жидкостей на углеводородной основе исключается снижение проницаемости прискважинной зоны пласта (ПЗП) от загрязнения (водным) ин-фильтратом промывочной жидкости. Т.е. дебит скважины может возрасти вплоть до 2-, 3-кратной величины. Кроме того, при использовании порш-невых насосов для закачки жидкости в скважину низ колонны периоди-чески перемещается в продольном направлении с частотой, эквивалентной частоте пульсации жидкости, и вместо отверстий могут образовываться щели высотой до нескольких десятков сантиметров. Это дополнительно снижает гидравлическое сопротивление ПЗП (из-за уменьшения потерь давления на дифракционное искривление линий тока жидкости).

Исполнение гидроперфоратора в виде зонда (гибкого шланга) с на-садкой позволяет создавать перфорационные каналы (при точечной пер-форации) большей протяженности. Так, стендовые и промысловые ис-пытания, проведенные в объединении «Краснодарнефтегаз», показали, что таким путем в пласте можно получать каналы глубиной более 1 м.

Однако гидроабразивная перфорация применяется недостаточно широко из-за отсутствия высокопроизводительной и надежной техни-ки, интенсивного износа рабочих полостей насоса и НКТ абразивной струей жидкости, высокой стоимости работ, аварийности и ограниче-ния по глубинам. В основном этот метод перфорации используют в тех случаях, когда другие способы перфорации (пулевая, кумулятивная) оказались неэффективными.



В ИФИНГе (Ивано-Франковском институте нефти и газа) разработан метод струйной электрохимической перфорации обсадных колонн, основанный на электрохимическом взаимодействии системы «источник энергии–электролит–обсадная труба». Электрохимическое (анодное) растворение металла происходит при «течении» определенной плотности электрического тока между катодами и стенкой обсадной трубы через специальные сопла.

На использовании энергии пороховых газов основан импульсный гидравлический перфоратор. На заданной глубине по кабелю подают электрический импульс, от которого воспламеняется заряд пороха, давление взрыва передается жидкости. Последняя, устремляясь в конусообразный канал, пробивает специальное уплотнение и образует канал в породе.

С начала 80-х годов в Республике Татарстан применяется способ вскрытия продуктивного пласта с использованием заглушек из легко удаляемого материала. В основу технологии положен способ вскрытия продуктивных пластов без использования специальных перфораторов, который за счет различной активности металлов и их сплавов на воздействие химических веществ позволяет избирательно по времени осуществлять процессы вторичного вскрытия залегающих на разной глубине продуктивных пластов. Для изготовления заглушек применяют магниевые и цинковые сплавы, а в качестве химически активного вещества – техническую соляную кислоту.

Данный способ не нашел достаточно широкого применения в результате:

- низкой эффективности вскрытия слабопроницаемых и загрязненных пластов;
- эксцентричного расположения обсадной колонны в скважине;
- сложности привязки к интервалу перфорации.

Ведутся работы по созданию устройств для термической перфорации, принцип действия которых основан на использовании лазерной

технологии с передачей энергии по световодам из гибких оптических волокон. После спуска устройства в скважину потоки света, пройдя по световодам (специальным трубкам), в точках падения плавят и испаряют материал обсадной колонны, цементного кольца и горную породу. Публикаций по промышленной апробации устройств, содержащих лазерный блок, пока не имеется.

В последнее время активизировались работы по созданию перфораторов механического типа с рабочим (режущим) элементом в виде: сверла или коронки, фрезы (продольно или поперечно размещенной) дисковой, фрезы конической (пальцевой) концевой, зубчатой цепи и т.д. Привод рабочего органа может быть механическим, электрическим (ВНИИГИС), гидравлическим, пневматическим, за счет создания давления в колонне труб, от возвратно-поступательного движения или вращения колонны или др. По сравнению с широко применяемыми методами перфорации (кумулятивной, пулевой, гидropескоструйной) перфораторы механического типа обладают следующими преимуществами:

- исключение деформации и разрушения обсадных труб (отсутствие взрывной волны);
- возможность создания перфорационных каналов с сохранением целостности цементного камня (без образования трещин в цементном кольце);
- предотвращение загрязнения (кольматации) вскрываемых радиальных каналов;
- многократно меньшее гидравлическое сопротивление прискважинной зоны пласта и, соответственно, более высокая возможная производительность скважины;
- возможность избирательного вскрытия по глубине маломощных пластов и пропластков;
- более высокая степень безопасности, т.к. не используются взрывчатые вещества;
- возможность проведения перфорационных работ в любое время суток.



Из механических перфораторов наиболее широкое распространение на отдельных промыслах получил ПС-112 (ВНИИГИС, г. Октябрьский). Аппаратура ПС-112 способна производить в стенке скважины каналы диаметром 15 мм и глубиной до 55 мм (последние модификации – незначительно больше).

К «шадающим» (механическим) методам перфорации относится также способ для создания перфорационных щелевых каналов, включающий выполнение щелевого канала накаткой с последующим механическим разрывом прокатанной части. Осуществление этого способа обуславливается использованием специального устройства, режущий элемент которого выполнен в виде симметрично расположенных по отношению к оси скважины накатных роликов с дополнительной распорной поверхностью, сопряженной у основания с формообразующей частью накатного ролика.

В целом, анализ существующих методов и устройств по вторичному вскрытию пластов показывает, что в настоящее время наряду с традиционными методами перфорации скважин перспективным направлением работ является создание перфораторов механического типа со сверлящим или фрезерующим рабочим органом, с гибкими элементами связи силового привода со сверлом или фрезой. Применение в качестве силового привода гидравлических малогабаритных забойных винтовых двигателей позволит буровым и нефтегазодобывающим предприятиям производить перфорационные работы в скважинах без привлечения геофизической службы.

Для различных типов коллекторов и конструкций скважин лучше иметь наборы различных типоразмеров кумулятивных, гидроабразивных и механических перфораторов.

§ 1. Взрывные способы вторичного вскрытия

Пулевая перфорация

Пулевая перфорация – один из первых способов вторичного вскрытия пластов, который был запатентован в США в 1926 г. Действие пулевых перфораторов основано на метании пуль за счет энергии расширения пороховых газов, согласно законам баллистики стрелкового оружия, уточненным применительно к условиям работы в скважинах. Первый отечественный пулевой перфоратор был предложен в 1931 г., однако полное признание метод получил в 1933–35 гг., когда в Баку и Грозном стали применять разработанные и усовершенствованные К.А. Вернаковым, С.Я. Литвиновым, Г.Н. Строцким и др. пулевые перфораторы. В 1938 г. М.Я. Беркович и Ю.А. Колодяжный создали перфоратор, выстреливающий разрывными снарядами. В послевоенные годы Л.А. Горбенко, А.П. Чичвариным, М.Л. Золиным и др. предложены пулевые перфораторы повышенной пробивной способности с вертикально-криволинейными стволами.

С внедрением кумулятивных перфораторов применение пулевых резко сократилось. Существенную роль в этом сыграло уменьшение диаметров обсадных колонн, вызвавшее укорачивание стволов пулевых перфораторов и, как следствие, снижение скорости и пробивной способности пуль. Это же обстоятельство способствовало созданию пулевого перфоратора с вертикально-криволинейным стволом (ПВН), выстреливающего пульей в направлении оси скважины с отклонением ее в конце полета в сторону пласта с помощью искривленного участка ствола. Благодаря тому что у перфоратора практически нет ограничений на длину ствола, а потери энергии на участке искривления сравнительно невелики, удается сообщать выстреливаемой пуле массой 100 г скорость до 600–900 м/с, обеспечивая ее глубокое проникновение в породу. При выстреле из перфораторов с горизонтально расположенными стволами скорость пуль значительно ниже, что, естественно, ограничивает их пробивную способность.



Пулевые перфораторы можно разбить на две группы – с горизонтально и с вертикально расположенными стволами. В свою очередь, у первых можно выделить перфораторы с селективным, полуселективным и залповым выстреливанием пуль.

Пулевые перфораторы применяются в ограниченных случаях, главным образом:

- при вскрытии в скважинах 1-, 2-, 3-колонной конструкции высокопроницаемых коллекторов, сложенных слабосцементированными рыхлыми песчаниками;
- для создания в плотных породах сети микротрещин после предварительного вскрытия пласта кумулятивными перфораторами (с целью вызова притока, например в газовых скважинах, или увеличения дебита);
- для установки в пластах радиоактивных пуль с целью использования в процессе контроля за обводнением пласта;
- при глубокой закольматированности стенок скважины, при массивном цементном кольце, перед гидроразрывом или кислотной обработкой ПЗП и т.д.

Обычно используются пулевые перфораторы с вертикально криволинейными стволами, средней мощности типов ПВН, ПВК, ПВТ, АРВ.

Отличительной особенностью таких перфораторов от кумулятивных является:

- значительная длина приствольных каналов (расположенных вдоль корпуса и переходящих в открытые криволинейные желоба), что ограничивает плотность перфорации от 2 до 4 отв/м (АРВ-120 – 7-ю) за один спуск в скважину;
- большие размеры перфорационных каналов (диаметром от 20 до 25 мм при длине от 145 до 200 мм), что позволяет снизить требуемую плотность перфорации до 1–4 отв./м;
- невысокая степень засорения скважины – на уровне кумулятивных корпусных перфораторов типа ПК;

- возможность образования трещин в колонне, в цементном камне и в стенках скважины (на уровне, между корпусными и бескорпусными кумулятивными), при отстреле пуль в одну сторону длина трещин в колонне тем больше, чем ниже прочность цементного камня и больше диаметр пуль;
- в мягком, маловыдержанном цементе образуются круглые отверстия без трещин, а в крепком, выдержанном – значительные трещины и раскалывание, что опасно вблизи водонефтяного контакта;
- большая величина трещин вокруг канала в высокопрочной породе;
- более резкое, чем от кумулятивной струи, снижение длины перфорационного канала с ростом прочности породы на сжатие;
- большая величина заусенцев на внутренней поверхности колонны после перфорации, что мешает последующему спуску таких устройств, как пакеры;
- возможность рикошетирувания пуль при угле встречи их с породой – 60–65°;
- средняя, между кумулятивными корпусными и бескорпусными, производительность – вскрытие 2–6 м пласта за один спуск в скважину, с плотностью от 1 до 4 отв./м;
- большие сложность заряжания и неудобство (большая масса) обслуживания.

Торпедная перфорация

В небольшом объеме для вскрытия пласта применяют торпедную перфорацию. Сложенный прочными породами продуктивный пласт может не перекрываться обсадной колонной и эксплуатироваться открытым стволом. Такая ситуация возникает при торпедировании зарядами большой мощности, когда после взрыва скважину обсаживают только до интервала торпедирования, оставляя последний открытым.

Разрушение колонны с раздутием и созданием в металле трещин, как правило вертикальных, уходящих через цементное кольцо в породу, без вы-



рыва отдельных кусков металла из обсадных труб использовалось и продолжает в ограниченном объеме использоваться для вскрытия пласта фугасным торпедированием. Работы проводят чаще всего в условиях, когда сложно использовать другие способы вскрытия, например из-за невозможности, по габаритам, спуска перфоратора на интервал применения. Тогда торпедирование может стать единственным способом выполнения работы. Иногда его применяют в условиях, когда другие методы не обеспечили притока. В последнем идут на риск значительных повреждений колонны, применяя большие заряды. Работы выполняют редко, но тем не менее известны случаи получения после них притоков из ранее безуспешно вскрывавшихся обычными средствами перфорации пластов, в том числе и с больших глубин.

Таблица 2.1

Выбор заряда для вскрытия пласта торпедированием

Затрубная среда	Отношение диаметра заряда к выбранному диаметру трубы	Результат действия взрыва на трубу, цементное кольцо и породе
Вода	0,08–0,14	Разрушение трубы с вырыванием отдельных кусков металла
Цементное кольцо и породе средней прочности	0,2	Небольшое раздутие трубы и первые вертикальные трещины в трубе, цементном кольце и породе
То же	0,3–0,35	Раздутие трубы, сетка трещин в трубе, цементном кольце и породе.
То же	> 0,4	Радиус и число трещин в породе увеличиваются. Раздутие трубы и сетка трещин в металле и породе продолжают увеличиваться. Куски металла вырываются из трубы

При торпедировании с целью вскрытия пласта цементное кольцо против расположения торпеды сознательно повреждается. Массу заряда торпеды из гексогена и аналогичных по удельной энергии ВВ рекомендуется брать не превышающей 5, а тротила и аналогичных ВВ – 7 кг. Волна, распространяющаяся при взрыве по жидкости, заполняющей ствол, способна при больших зарядах наносить повреждения трубам на значительном удалении

от торпеды. При выборе заряда из гексогена плотностью $1,6 \text{ г/см}^3$ можно пользоваться таблицей 2.1, оправдавшей себя при торпедированиях в Башкортостане и Татарстане (песчаники средней прочности, глубины от 1,5 до 2 км), проводимых с целью вскрытия и освоения нагнетательных скважин. Торпеды размещались в стволе на расстоянии от 0,4 до 0,5 м друг от друга, и их положение при взрыве легко проверялось последующей кавернометрией. Колонна против заряда после взрыва заметно деформировалась.

Длина торпеды определяется мощностью продуктивного интервала и предельной массой заряда. При длинах торпед в интервале 1–6 диаметров ствола радиус трещин в пласте увеличивается, имея максимум против центра торпеды. В дальнейшем возрастает лишь длина участка ствола, на который выходят максимальные по протяженности трещины. В трещиноватых породах картина действия взрыва значительно сложнее.

Число торпед n для вскрытия пласта мощностью h (м) можно найти из выражения:

$$n = \frac{h - 0,8}{l + 0,4},$$

где l – длина торпеды, м, определяется предельной массой заряда; 0,4 – расстояние между торцами соседних зарядов.

При плохом цементировании повреждение колонны в результате взрыва может быть значительным. Поэтому целесообразно до проведения работ проконтролировать качество цементирования методами ГИС и лишь после этого принимать решение о проведении работы.

В основном для этих целей используются торпеды ТШТ. Одно из основных ограничений по их применению связано с массой используемого заряда из-за боязни повреждений ударной волной взрыва обсадных труб и цементного кольца в зоне размещения торпеды и повреждений волной, распространяющейся в жидкости, заполняющей ствол, ослабленных участков обсадных труб. Когда работы ведутся в скважине, где продуктивный пласт представлен прочными породами и не обсажен, ограничение на применение



ние становится менее существенным. Отсутствие колонны в зоне взрыва исключает объект повреждения, а открытый ствол с выступами и неровностями породы – больше глушитель, чем волновод для распространяющейся волны. Потери при многократных отражениях от его неровной поверхности способствуют быстрому затуханию волны. Если заряд удален от башмака обсадной колонны, то можно говорить о сравнительно безопасном применении в таких скважинах зарядов, по массе в 2–3 раза превышающих рекомендованные для торпедирования обсаженных интервалов. Их взрыв можно проводить, не прибегая к специальным мерам защиты ствола.

Кумулятивная перфорация

По способу герметизации зарядов кумулятивные перфораторы делятся на две основные группы: корпусные и бескорпусные. Корпусные кумулятивные перфораторы в свою очередь подразделяются на две подгруппы: многократного использования и однократного использования.

Корпус перфоратора многократного использования, рассчитанный на действие многократных взрывов зарядов, имеет сравнительно толстые стенки и изготавливается из высокопрочных марок сталей. Корпус перфоратора однократного использования имеет сравнительно тонкие стенки, рассчитанные лишь на действие наружного гидростатического давления.

В бескорпусных кумулятивных перфораторах заряды, заключенные в герметичные оболочки, крепят в каркасах, лентах и т.п. Бескорпусные кумулятивные перфораторы подразделяются на частично разрушающиеся (с извлекаемой лентой, или каркасом) и полностью разрушающиеся (из скважины извлекают только кабель с наконечником и головкой перфоратора).

Корпусные кумулятивные перфораторы в зависимости от их конструкции и технологии работ могут спускаться в скважину на электрическом кабеле или на трубах. Взрывание зарядов кумулятивных перфораторов чаще всего бывает групповым (залповое) от детонирующего шнура, но может быть полуселективным (отдельными группами) и селективным (отдельными зарядами).

Кумулятивный перфоратор состоит из механической части (корпус, головка, наконечник, каркас, груз и т.п.) и зарядного комплекта с расходными деталями – кумулятивные заряды, детонирующий шнур, взрывной патрон, электропровод, детали герметизации и др.

Кумулятивные перфораторы и зарядные комплекты к ним изготавливают на специализированных заводах. Допускается изготовление силами мастерских при геофизических предприятиях отдельных деталей и узлов механической части перфораторов, а также герметизации при условии обеспечения точного их соответствия действующим чертежам и техническим условиям. Категорически запрещено разбирать, переделывать или изготавливать своими силами заряды, взрывные патроны и детонирующие шнуры.

Корпусные кумулятивные перфораторы имеют следующие основные особенности:

1. Взрывчатые материалы не находятся в контакте с жидкостью, заполняющей скважину, и испытывают только действие температуры без давления. Вместе с тем, большой свободный объем в корпусе облегчает удаление из ВВ при их нагреве продуктов разложения. Благодаря этому упрощается проблема повышения пределов применения по температурам и давлениям (на больших глубинах применяются только корпусные кумулятивные перфораторы).

2. Действие разлетающихся продуктов взрыва и осколков оболочки зарядов воспринимает на себя почти полностью корпус перфоратора. Вследствие этого применение корпусных неразрушающихся кумулятивных перфораторов особенно предпочтительно в тех случаях, когда имеется опасность нежелательного или недопустимого повреждения обсадной колонны и затрубного цемента.

Корпусные кумулятивные перфораторы, спускаемые в скважину на электрическом кабеле.

Корпусные кумулятивные перфораторы ПК многократного использования (рис. 2.2) состоят из толстостенного цилиндрического полого



корпуса, в котором установлены кумулятивные заряды, головки, содержащей электроввод, и наконечника, в котором помещен взрывной патрон.

Кумулятивные заряды располагаются перпендикулярно к оси корпуса и закрепляются в нем различными способами. Против кумулятивной выемки каждого заряда в корпусе перфоратора имеется сквозное отверстие, герметизируемое уплотнительной пробкой.

Заряды располагаются на таком расстоянии друг от друга, чтобы взрыв одного заряда не вызвал разрушения или преждевременного срабатывания соседнего заряда до его нормальной детонации от детонирующего шнура. Вместе с тем расстояние между зарядами определяется избранной для данного типа перфоратора средней плотностью перфорации (числом пробиваемых каналов на 1 м вскрываемого интервала), а также условиями прочности корпуса. Обычно расстояние между осями зарядов в перфораторах этого типа составляет 75–85 мм. Оси соседних зарядов смещены одна относительно другой на угол 90° , чтобы в скважине простреливалась равномерная сетка отверстий и была снижена вероятность образования трещин в обсадной колонне и цементном кольце.

Поскольку скорость распространения взрыва по детонирующему шнуру велика (6 000–7 500 м/с), срабатывание всей группы зарядов в перфораторе происходит практически мгновенно – одним залпом (общее время, приходящееся на взрывание гирлянды из десяти зарядов, составляет 150 мкс).

Кумулятивные заряды должны быть прочно закреплены в корпусе, чтобы они не сместились со своей позиции, так как это может привести к прострелу кумулятивной струей дорогостоящего корпуса перфоратора и к преждевременному выходу его из строя. Хвостовой конец корпуса заряда фиксируется в углублении – гнезде, высверленном в стенке корпуса перфоратора точно по оси сквозного гнездового отверстия.

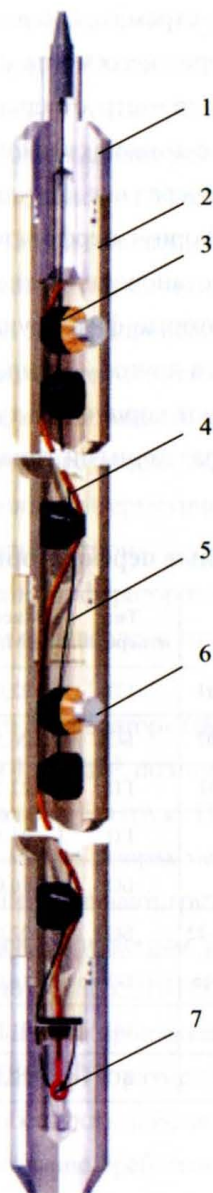


Рис. 2.2. Устройство корпусного кумулятивного перфоратора многократного использования
 1 – головка перфоратора, 2 – корпус перфоратора; 3 – кумулятивный заряд,
 4 – детонирующий шнур, 5 – взрывная магистраль, 6 – заглушка, 7 – электродетонатор



Сквозное отверстие стремятся делать как можно меньшего диаметра, но так, чтобы через него могла пройти кумулятивная струя, не задевая стенок. Малый диаметр отверстия позволяет делать герметизирующую его пробку с тонкой стенкой, создающей меньшее сопротивление прохождению через нее кумулятивной струи.

Заряды вставляют в корпус перфоратора со стороны его торца с помощью специальных установочных клещей. Заряды в гнезде крепят посредством втулок, которые фиксируются с одной стороны в сквозном отверстии корпуса, а другой – опираются на манжету заряда.

В практике применяют корпусные кумулятивные перфораторы ПК различных размеров и различными типами зарядов (табл. 2.2)

Таблица 2.2

Корпусные кумулятивные перфораторы многократного применения

Марка перфоратора	Тип заряда	Тип отверстия	Масса ВМ, г	Диаметр входного отверстия, мм	Глубина пробития, мм
ПК 105-Э	ЗПК 105-АТ-01	ГП	22,0	12,0	750
	ЗПК 105-АТ-02	БО	26,5	19,0	350
ПК105.20КЛ	ЗПК 105DN-01	ГП	22,7	11,5	800
	ЗПК 105-7	ГП	21,5	11,3	385
ПК95.10КЛ	ЗПК 95DN	БО	16,0	13,0	460
КПМ 105	ЗКПМ 105ПП-22	БО	22,0	12,0	750
КПМ 95	ЗКПМ 95ПП-16	БО	16,0	12,0	550
ПК105СМ, ПК105СМ02	ЗПК105С	ГП	21,0	9,9	722
	ЗПК105СА	БО	22,0	18,48	271

ГП – глубокое пробитие

БО – большое отверстие

Устройство перфораторов ПК всех размеров в основном одинаковое. Головка, корпус и наконечник свинчиваются между собой на резьбах. Длина каждого корпуса рассчитана на установку 10–12 зарядов.

Отдельные корпуса могут свинчиваться между собой, составляя один удлиненный корпус, вмещающий 20(24) или 30(36) зарядов. Герметизация резьбовых соединений между головкой, корпусами и наконечником осуществляется с помощью кольцевых резиновых уплотнений.

Корпус перфоратора ПК изготавливают из высокопрочной хромоникель-молибденовой стали марки ОХНЗМ, а головку и наконечник – из прочной хромистой стали 40Х. Все эти детали термически обрабатываются. В головке по оси имеется гнездо под электропровод, на верхнем ее конце нарезана наружная резьба для присоединения к кабельному наконечнику.

В наконечнике перфоратора имеется полость для размещения взрывного патрона, а также для стекания в нее жидкости, которая может проникнуть в перфоратор при нарушении его герметичности. В эту же полость попадают остатки зарядов и взрывпатрона, а также остатки резиновых гнездовых пробок, всасываемых в перфоратор после взрыва. Наконечник имеет обтекаемую форму. В нем просверлено отверстие для присоединения грузов к перфоратору.

Объемная масса снаряженного перфоратора ПК вместе с кабельным наконечником составляет в среднем $4,5 \text{ кг/дм}^3$, поэтому в большинстве случаев перфораторы ПК спускают в скважину без груза. При большой плотности и вязкости жидкости в скважине и малых зазорах между перфоратором и обсадной колонной к перфоратору подвешивают грузы необходимой массы.

Соответственно температурам, ожидаемым в скважине, применяют детонирующие шнуры ДШВ (до 100°C), ДШТ-165, ДШТ-180 и ДШТ-200. Взрывание детонирующего шнура производят от взрывного патрона предохранительного действия ПВПД-Н, размещенного в нижней части перфоратора, в наконечнике. Особенность действия такого патрона заключается в том, что он должен безотказно срабатывать только в том случае, когда не нарушена герметизация перфоратора или когда в него проникло лишь небольшое количество жидкости из скважины, не вызывающее нарушения в работе перфоратора.



При нарушении герметизации перфоратора, когда хотя бы один заряд окажется окруженным жидкостью, взрыв заряда вызовет повреждение или разрушение корпуса. Взрыв в жидкой среде группы зарядов может привести к заклиниванию корпуса перфоратора в обсадной колонне.

Корпусные кумулятивные перфораторы однократного использования типа ПКО характеризуются тем, что их корпус представляет собой сплошную трубу, не имеющую отверстий для прохода кумулятивных струй (рис. 2.3, табл. 2.3).

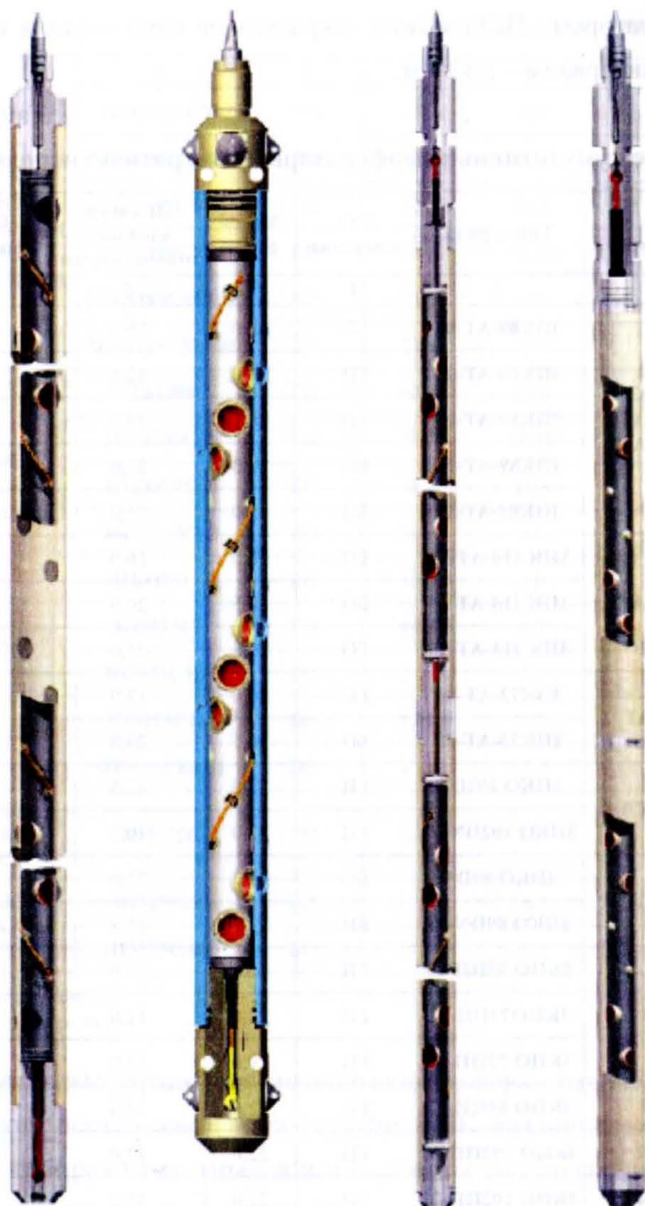
Поскольку корпус перфоратора ПКО должен выдерживать, кроме наружного давления столба жидкости в скважине, действие только одного группового взрыва зарядов, то его стенки могут быть тоньше, чем у перфораторов ПК. Вследствие этого величина кумулятивных зарядов в перфораторах ПКО может быть больше при одинаковом наружном диаметре перфоратора.

Другими преимуществами перфораторов ПКО являются: отсутствие вылетающих из перфоратора деталей герметизации гнезд (пробок, дисков), засоряющих скважину, а также более простая сборка и меньшая масса. «Пробивание» кумулятивными струями отверстий в корпусе перфоратора позволяет контролировать полноту и качество работы всех зарядов.

Перфораторы ПКО требуют расходования на каждый залп одного или нескольких свинченных между собой корпусов (головка, наконечник и переходники применяются многократно). Однако ввиду того что корпуса перфораторов ПКО изготавливают из менее дефицитных марок сталей, чем перфораторов ПК, этот расход не существен.

Недостатком перфораторов ПКО является невозможность их применения при небольших глубинах (при давлениях менее 50 кгс/см^2) из-за разрушения корпуса при взрыве.

Перфоратор ПКО состоит из головки, корпуса и наконечника, соединенных между собой на резьбах. Для удлинения перфоратора предусмотрено соединение нескольких корпусов с помощью переходников. Герметизация резьбовых соединений осуществляется так же, как и в перфораторах ПК.



ПКТ102СК

ПКО89СМ

ПКО89СА

ПМ73СК

Рис. 2.3. Кумулятивные корпусные перфораторы однократного использования



Перфораторами ПКО можно вскрывать за один спуск в скважину большие интервалы – до 10 м.

Таблица 2.3

Корпусные кумулятивные перфораторы однократного использования

Марка перфоратора	Тип заряда	Тип отверстия	Масса ВМ, г	Диаметр входного отверстия, мм	Глубина пробития, мм
1	2	3	4	5	6
ПКО 89-АТ ПКО 102-АТ ПКО 114-АТ	ЗПК89-АТ-01	ГП	36,0	16,0	700
	ЗПК89-АТ-03	ГП	36,0	12,5	800
	ЗПК89-АТ-09	БО	26,5	19,0	350
	ЗПК89-АТ-10	БО	25,0	23,0	230
	ЗПК89-АТ-11	БО	25,0	26,0	150
ПКО 114-АТ	ЗПК 114-АТ-01	ГП	36,0	16,0	750
	ЗПК 114-АТ-09	БО	26,5	20,0	320
	ЗПК 114-АТ-10	БО	25,0	23,0	200
ПКО 73-АТ	ЗПК73-АТ-01	ГП	20,0	12,0	550
	ЗПК73-АТ-02	БО	26,5	20,0	250
ПКТ 102КЛ	ЗПКО 102DN	ГП	32,0	12,5	800
	ЗПКО 102DN-01	ГП	32,0	10,5	1 010
ПКТ 89КЛ	ЗПКО 89DN	БО	22,7	22,0	300
	ЗПКО 89DN-01	ГП	22,7	11,8	800
КПО 73	ЗКПО 73ПП-16	ГП	16,0	11,0	550
	ЗКПО73ПП-22	ГП	22,0	12,0	700
	ЗКПО 73ПП-19	ГП	19,0	12,0	600
КПО 89	ЗКПО 89ПП-22	ГП	22,0	12,0	760
КПО 102	ЗКПО 102ПП-22	ГП	22,0	12,0	960
КПО 114	ЗКПО 102ПП-22	ГП	22,0	12,0	1 000
ПКТ 102СТ ПКТ 102СК	ЗПК102С	ГП	34,0	12,6	953
	ЗПК102С01	ГП	34,0	13,5	1 030

Продолжение таблицы 2.3

1	2	3	4	5	6
ПКО 89С/СА, ПКО 89СМ, ПКТ 89СМ/С2М ПКО 89С01 ПКТ 102СКА/СТА	ЗПКО89СМ	ГП	23	9,7	751
	ЗПКО89СМ01	ГП	23	11,3	693
	ЗПКО89СМ02	ГП	23	11,3	693
	ЗПКО89СМА	БО	24	18,76	232
	ЗПКО89СМА01	БО	23	20	205
	ЗПКО89СМА02	БО	23	20	205
ПКО 89С, ПКО 89СА01 ПКТ 89С2М01	ЗПКО89С	ГП	32	13,3	737
	ЗПКО89С01	ГП	32	11,15	765
	ЗПКО89С02	ГП	32	11,5	730
	ЗПКО89С03	СО	26	16	350
	ЗПКО89С04	ГП	32	11	890
ПКО 73С	ЗПМ73СВ	ГП	14	8,5	520
	ЗПМ73СВ01	ГП	14	7,8	542
ПКО 73СА	ЗПМ73СВА	БО	17	17	160
	ЗПМ73СВА01	БО	17	17,2	204
ПМ 73СК ПМ 73СК01 ПМ 73СТ	ЗПМ73С	ГП	14	7,8	554
ПМ 73СКА ПМ 73СКА01 ПМ 73СТА	ЗПМ73СА	БО	17	16,5	199
	ЗПМ73СА01	БО	17	17	160

ГП – глубокое пробитие

БО – большое отверстие

Кумулятивные заряды, применяемые в перфораторах ПКО, имеют такое же устройство, как и в перфораторах ПК. Различие между ними заключается в размерах зарядов и в наружной конфигурации оболочки, которая должна быть приспособлена для соединения зарядов в гирлянду. Имеются разные конструкции соединительных звеньев зарядов. В зависимости от необходимости конструкции соединений зарядов



могут обеспечить любые требуемые расстояния между осями зарядов и углы взаимного сдвига осей.

Для получения максимально возможной пробивной способности крайне важно, чтобы перед кумулятивной выемкой была свободная полость определенных размеров, необходимая для беспрепятственного и полного формирования кумулятивной струи.

Взрывание детонирующего шнура осуществляется теми же способами, что и в перфораторах ПК. В наконечниках перфораторов ПКО имеется вертикальное отверстие, служащее для стравливания давления, возникающего в перфораторе в результате его действия. Отверстие загерметизировано резиновой пробкой с опорным диском. Оно необходимо при неполной детонации или сгорании зарядов, когда в корпусе-трубе перфоратора не будут пробиты отверстия, через которые могли бы вытекать продукты детонации, либо на тот случай, когда после пробивания отверстия наглухо закупориваются пробками, образующимися из твердых частиц при вторжении через пробитые отверстия жидкости из скважины. Если не принять предохранительных мер, то при развинчивании перфоратора после извлечения его на поверхность обслуживающий персонал может быть травмирован газами, истекающими из перфоратора под давлением.

Максимально допустимое наружное давление, при котором можно применять перфораторы ПКО, зависит от размеров трубы, из которой изготовлен корпус, разной толщины ее стенок, овальности и предела текучести материала.

Учитывая, что трубы могут иметь невидимые дефекты и пороки металла, каждый корпус перфоратора ПКО перед спуском в скважину в ответственных случаях (на большие глубины) проверяют на прочность в сосуде высокого давления (барометре). При отсутствии такого сосуда незаряженный перфоратор опускают на нужную глубину в скважину; при этом на случай смятия корпуса и во избежание закли-

нивания перфоратора в обсадной колонне в корпус вставляют стальную цилиндрическую болванку, диаметр которой меньше внутреннего диаметра трубы на 3–5 мм.

Корпусные кумулятивные перфораторы, спускаемые в скважину на трубах.

Когда вскрытие пластов при давлении в скважине, превышающем пластовое давление, недопустимо, наряду с методом перфорации при герметизированном устье скважины со спуском перфоратора на кабеле через лубрикатор и колонну насосно-компрессорных труб применяют также спуск перфоратора на трубах. В этом случае можно использовать более мощные перфораторы, чем при спуске через колонну насосно-компрессорных труб и проведении перфорации под ней. Спуск перфораторов на трубах предпочтителен также в скважинах с большим углом наклона.

Принципиально на трубах можно спускать любые стреляющие перфораторы. Перфоратор состоит из головки со взрывным устройством и элементов корпусного перфоратора однократного использования, описанного выше. Перфоратор присоединяется к колонне насосно-компрессорных труб с помощью переходной муфты и переходника. В переходной муфте имеются отверстия для циркуляции жидкости, проводящейся при операциях промывки скважины и замены в ней раствора с утяжеленного на облегченный перед перфорацией.

Между переходной муфтой и головкой перфоратора расположены следующие основные детали взрывного устройства (инициирующей головки): ударник, ступенчатый поршень, дифференциальная втулка, предохранительная втулка и узел инициирования детонирующего шнура (рис. 2.4).

Во избежание преждевременного срабатывания узла инициирования ударник зафиксирован в поршне с помощью стальных шариков и шплинта. Кроме того, система «поршень–ударник» прижата к упору во втулке, закрепленной в головке, направленной вверх силой, создаваемой разностью площадей ступеней поршня.



Устройство действует следующим образом. После установки перфоратора в заданном интервале скважины внутрь колонны насосно-компрессорных труб сбрасывают иницирующую штангу или резиновый шар и одновременно в трубы закачивают порцию жидкости. Давление, действующее через шар на поршень, срезает предохранительный шплинт, преодолевает силу прижатия поршня к упору в предохранительной втулке, поршень вместе с ударником сдвигается вниз, шарики вылетают из своих гнезд и ударник отцепляется от поршня. Под действием избыточного гидростатического давления ударник продолжает движение вниз в дифференциальной втулке и своим жалом накалывает капсюль-детонатор, от которого срабатывает детонирующий шнур и вся гирлянда кумулятивных зарядов. При последующей прокачке жидкости резиновый шар продавливается в одно из наклонных отверстий в переходной муфте или попадает в ее нижнюю часть.

После простреливания каналов перфорации пластовая жидкость (или газ) под действием избыточного давления устремляется в скважину и в колонну насосно-компрессорных труб. Перфоратор остается в скважине вместе с трубами.

На случай отказа перфоратора предусмотрено устройство, обеспечивающее безопасность его подъема и разряжения (см. рис. 2.4).

Действие этого устройства сводится к следующему. При движении ударника вниз в направлении к капсюлю-детонатору уплотнительные резиновые кольца, расположенные на его конце, минуют стык между дифференциальной и предохранительной втулками. Открывается доступ жидкости из скважины к этому стыку. Дифференциальная втулка под действием избыточной силы продвигается вверх, захватывая ударник и отводя его от капсюля-детонатора.

Бескорпусные кумулятивные перфораторы отличаются большой гибкостью и относительно малой массой, что позволяет с их помощью простреливать за один спуск очень большие интервалы (вплоть до 30 м),

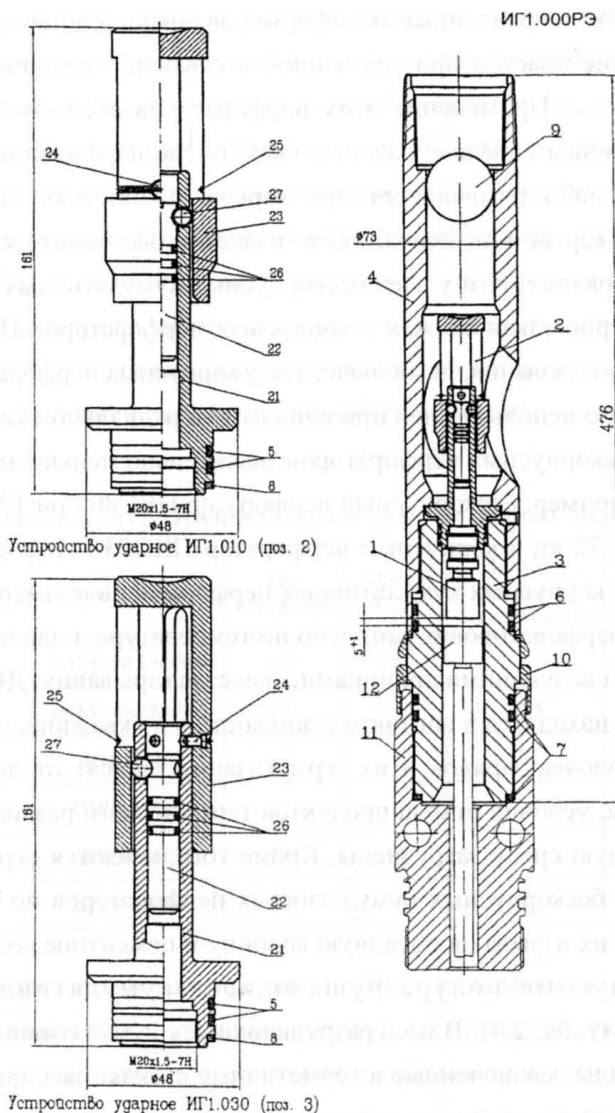


Рис. 2.4. Устройство инициирующей головки ИГ-1

- 1 – устройство детонации головки УДГ, 2 – устройство ударное, 3 – корпус, 4 – переходник,
 5, 6, 7 – уплотнительные резиновые кольца, 8 – медная прокладка, 9 – резиновый шар,
 11 – переходник перфоратора, 21 – ударное устройство, 22 – ударник, 23 – втулка,
 24 – срезные (предохранительные) штифты, 25 – пружинное кольцо, 26 – уплотнительные кольца,
 27 – ролики (ИГ1.010) или шарики (ИГ1.030)



спускать их в искривленные и деформированные колонны, производить вскрытие пластов при спущенной в скважину колонне фонтанных труб и т.п. Применение этих перфораторов облегчает извлечение из скважины кабеля с наконечником после перфорации, так как перфоратор либо разрушается при взрыве полностью, либо остается только каркас или лента, легко извлекаемые вместе с кабелем. Величина зарядов почти у всех бескорпусных кумулятивных перфораторов примерно такая же, как у корпусных перфораторов ПКО однократного использования, т.е. больше, чем у корпусных перфораторов ПК многократного использования при одинаковом радиальном габарите.

Масса бескорпусных перфораторов значительно меньше массы корпусных. Например, бескорпусный перфоратор ПКС80 при 100 зарядах имеет массу 72 кг, а корпусный перфоратор ПКО73 – 160 кг. Однако в отличие от корпусных кумулятивных перфораторов применение бескорпусных перфораторов ограничено по температуре и давлению. Это объясняется следующими причинами: средства взрывания (ДШ, взрывной патрон) находятся в контакте с жидкостью в скважине, прочность хрупких оболочек зарядов и их герметизация зависят от давления и температуры, условия отвода продуктов термического разложения ВВ в окружающую среду затруднены. Кроме того, имеются ограничения применения бескорпусных кумулятивных перфораторов по условиям воздействия их взрыва на обсадную колонну и цементное кольцо.

Бескорпусные полуразрушающиеся кумулятивные перфораторы (табл. 2.4). В полуразрушающихся кумулятивных перфораторах заряды, заключенные в герметичные стеклянные, ситалловые или керамические оболочки, укрепляют в отверстиях, выштампованных в отрезках стальных лент или в проволочных каркасах, соединяемых между собой в длинные гирлянды. На конце гирлянды подвешивают груз, растягивающий ленты или каркасы и облегчающий их спуск в скважину.

Важной особенностью полуразрушающихся кумулятивных перфораторов является то, что стальная лента или проволоочный каркас при взрыве укрепленных в них зарядов не разрушаются. Их извлекают из скважины вместе с грузом. Оболочки зарядов, разрушаясь от взрывов, превращаются в порошок или мелкие осколки, которые могут быть вымыты из скважины. Отверстия в ленте после взрыва установленных в них зарядов расширяются по диаметру на 5–10 %, что позволяет контролировать полноту детонации каждого заряда. Повторно ленту не используют. Проволоочные каркасы также деформируются от взрыва, причем после правки их можно применять повторно.

Таблица 2.4

Бескорпусные полуразрушающиеся кумулятивные перфораторы

Марка перфоратора	Тип заряда	Тип отверстия	Масса ВМ, г	Диаметр входного отверстия, мм	Глубина пробития, мм
ПКСУЛ-80	ЗПКС 80 130/800	ГП	21,0	11,5	280
	ЗПКС 80 150/800	ГП	21,0	11,5	280
ПРК42С	ЗПР К42С	ГП	8	7,3	314
	ЗПРК 42С01	ГП	8	7,1	333
ПРК54С ПРК54С01	ЗПРК 54С	ГП	14	11	480
	ЗПРК 54С01	ГП	14	8,1	516

Устройство перфораторов типа ПКС в основном одинаковое (рис. 2.5). Они имеют стальную головку, содержащую электроввод и имеющую резьбу для присоединения к кабельному наконечнику. Ленты изготовлены из мягкой стали, а грузы из чугуна. Соединение лент между собой и присоединение их к головке и грузам осуществляют при помощи стальных шпилек, законтренных специальными шайбами.

Оболочки зарядов состоят из двух половин – крышки и корпуса, склеенных между собой эпоксидным клеем. В корпусе оболочки име-



ПРК54С-01

ПРК42С

Рис. 2.5. Устройство бескорпусных перфораторов

ется желобок для детонирующего шнура. Под желобком толщина оболочки минимальная (2–4 мм) для облегчения передачи детонации от детонирующего шнура к ДП.

Заряды ЗПКС крепятся в лентах с помощью усов, выштампованных в ленте и загибаемых на кольцевой буртик оболочки заряда. Оси соседних зарядов взаимно повернуты на угол 180° . Расстояние между осями зарядов составляет 150 мм для всех перфораторов ПКС. Расстояние между зарядами у перфораторов ПКС может быть увеличено путем разреженной установки их в лентах.

Взрывание зарядов ЗПКС производят от усиленных детонирующих шнуров. Для ПКС применяют следующие марки гибких ДШ, пригодных для работы в жидкой среде, находящихся под давлением: до температуры 100°C и давления 500 кгс/см^2 – ДШУ-33, до температуры 150°C и давления 800 кгс/см^2 – ДШТВ-150/800 или другие, пригодные для данных условий, усиленные ДШ с количеством ВВ на 1 м не менее 30 г. Большая мощность ДШ в перфораторах ПКС по сравнению с корпусными кумулятивными перфораторами обусловлена наличием сравнительно толстой перемычки у оболочки между ДШ и промежуточным детонатором заряда.

В случае повреждения детонирующего шнура при спуске в скважину могут отказать действовать части перфоратора ПКС, поэтому его конструкция и тщательность сборки должны обеспечивать надежное предохранение ДШ от перетирания о стенки скважины или же от порывов в местах соприкосновения с острыми краями ленты.

Взрывание ДШ производится от универсального герметичного взрывного патрона ПГН-150. Взрывной патрон помещают и укрепляют в нижней части перфоратора над грузом, так что срабатывание гирлянды зарядов происходит снизу вверх. При таком расположении взрывного патрона в случае частичного отказа в работе ДШ меньше вероятность заклинивания перфоратора в скважине. При спуске в сква-



жину длинных гирлянд ПКС рекомендуется для увеличения надежности детонации всех зарядов устанавливать второй взрывной патрон в верхней или нижней части перфоратора.

Электропровод к взрывному патрону прокладывают параллельно детонирующему шнуру с теми же предосторожностями, чтобы изоляция ДШ и сам проводник не были повреждены.

Объемная масса перфораторов ПКС, включая головку, кабельный наконечник и один груз, составляет при десяти зарядах 5–6 кг/дм³, а при 100 зарядах – 3–4 кг/дм³. Поэтому с увеличением числа одновременно спускаемых зарядов необходимо увеличивать число подвешиваемых грузов в зависимости от плотности жидкости в скважине и других условий.

В бескорпусных разрушающихся кумулятивных перфораторах (табл. 2.5) заряды, заключенные в герметичные оболочки из хрупких материалов (алюминиевого литья, ситалла, керамики, пластмассы и др.), соединяют между собой в длинные гирлянды с помощью звеньев разнообразной конструкции, которые также разрушаются при взрыве.

Таблица 2.5

Бескорпусные разрушающиеся кумулятивные перфораторы

Марка перфоратора	Тип заряда	Тип отверстия	Масса ВМ, г	Диаметр входного отверстия, мм	Глубина пробития, мм
ПКМР 43DN-M	ЗПКМ 43-02DN	ГП	10,25	10,4	350
ПКМР 54DN-M	ЗПКМ 54-02DN	ГП	13,0	13,0	550
ПСК 52	ЗПСК 52	ГП	13	10	500
ПРК54СА	ЗПРК54СА	ГП	14	8,1	516

Особенностью разрушающихся перфораторов является возможность извлечения из скважины после взрыва только кабеля с наконечником, что определяет их предпочтительное применение при

вскрытии пластов в случае спущенной в скважину колонне насосно-компрессорных труб и герметизированном устье скважины.



Рис. 2.6. Разрушающийся кумулятивный перфоратор ПРК54СА



Однако в отличие от полуразрушающихся кумулятивных перфораторов контроль за полнотой детонации каждого заряда в разрушающихся перфораторах невозможен. Оценить результаты действия такого перфоратора можно только после опробования или испытания скважины, что при герметизированном устье делают немедленно после перфорации.

Раскрывающиеся кумулятивные перфораторы ПКР предназначены для вскрытия пластов при спущенных в скважину фонтанных (насосно-компрессорных) трубах, а также в случаях больших сужений и вмятин в обсадных трубах и бурильной колонне при узких проходных отверстиях. Принцип устройства и действия их заключается в том, что до спуска перфоратора через трубы оси всех зарядов располагаются по направлению оси перфоратора и не превышают его поперечного габарита, а после выхода из колонны труб становятся в рабочее положение – перпендикулярно или наклонно к оси перфоратора.

Таким образом, удастся применить при малом радиальном габарите перфоратора в транспортном положении довольно мощные кумулятивные заряды, например, аналогичные зарядам корпусного перфоратора ПК, предназначенного для работы в обсадной колонне того же размера.

Несмотря на свои преимущества, раскрывающиеся перфораторы не находят достаточно широкого применения из-за сложности устройства, случаев несрабатывания всего механизма (особенно в условиях загущенных растворов), значительного загрязнения скважин остатками от перфоратора и ограниченных пределов применения по температуре и давлению.

В зависимости от зарядов и типа для отечественных кумулятивных перфораторов глубина перфорационных каналов может достигать 145–660 мм при диаметре каналов 8–14 мм. После выхода из стенки обсадной трубы площадь поперечного сечения канала сужается. Например, при использовании перфоратора ПК-103 – до 5–10 мм².

Около 25 % энергии взрыва формирует перфорационный канал. Наиболее отрицательно кумулятивная перфорация сказывается на качестве вторичного вскрытия в слабопроницаемых коллекторах и при низких пластовых давлениях.

Вещество кумулятивной струи состоит из мельчайших частиц металла корпуса заряда и воронки и, сжатое вместе с газами взрыва до очень высокой плотности, «течет» как жидкость, распространяется (вдоль оси заряда) со скоростью 6–10 км/с с давлением до 10–13 ГПа (большие величины давления соответствуют зарядам в оболочке), что обеспечивает образование перфорационного канала. При начальной скорости перемещения 5 500 м/с плотность воды на фронте волны повышается в 1,7 раза. Максимальное время действия давления при перфорации $t_{\max} = 5\text{--}6$ мкс. С удалением от скважины давление струи резко падает и уже на расстоянии от стенки ствола в несколько десятков сантиметров снижается до 100–150 МПа.

При наличии в жидкости перфорации твердых частиц, последние вместе с частицами вещества кумулятивной струи проникают в стенки перфорационного канала и частично закупоривают их, снижая в последующем производительность скважины.

Поскольку напряжения в породе пласта, соответствующие началу развития необратимого трещинообразования, многократно меньше давления струи (например, по М.П. Мохначеву и В.В. Присташу, для песчанников – 200–286 МПа, для известняков – 18 МПа), то при формировании перфорационного канала одновременно образуется и сеть трещин, мгновенно закупоривающаяся продуктами взрыва – твердыми частицами разрушающейся породы, раствора, материала обсадной трубы и заряда.

Из-за многократного превышения давления струи над прочностью скелета породы, в результате остаточной пластической деформации последнего, происходит самоуплотнение стенок перфорационных каналов и близлежащей породы, т.е. необратимое снижение проницаемости прилегающей к скважине зоны продуктивного коллектора.



В результате высокой сжимаемости газа и низкой – жидкости снижение проницаемости будет большим в верхней газонасыщенной части пласта. В газовых скважинах такое снижение проницаемости может достигать 70 % и более.

Так как при одной и той же величине остаточной деформации относительное уменьшение меньших объемов пор будет более значительным, чем больших, то снижение проницаемости от давления кумулятивной струи при перфорации наиболее значимым будет в малопроницаемых коллекторах.

В целом величина деформации коллектора и, соответственно, снижения проницаемости его зависит от пластичности породы, сжимаемости флюида в коллекторе, пористости его, давления взрыва и статического напряженного состояния породы, зависящего от величины горного давления и перепада давления в системе «скважина–пласт». Поэтому перфорация при депрессии на пласт приводит и к некоторому снижению естественной проницаемости ПЗП.

Выбор интервала перфорации

Интервал перфорации при отсутствии газовой шапки и подошвенной воды, как правило, совпадает с эффективной мощностью вскрытого бурением продуктивного пласта.

При наличии газовой шапки или подошвенной воды интервал перфорации должен определяться с учетом дифракционного искривления линий тока пластового флюида на границах с ними нефтяного слоя. К сожалению, решение такой сильно нелинейной задачи до настоящего времени отсутствует.

При более грубых расчетах, при наличии подошвенной воды или близко расположенного водоносного (с давлением $P_{пл(в)}$) или газоносного пласта ($P_{пл(г)}$) расстояние от них до нижней границы зоны перфорации, равное h , определяют в соответствии с условием:

$$h < [L] = \frac{P_{\text{пл(в,г)}} - P_{\text{пл}}}{[\Delta P_{\text{уд}}]}. \quad (2.1)$$

При неудовлетворении этого условия ниже подошвы нефтяного или газового пласта необходима дополнительная изоляция цементного кольца установкой пакеров на эксплуатационной колонне.

Здесь допускаемый перепад давления $[\Delta P_{\text{уд}}]$ определяется по специальным методикам расчета (например, БашНИПИнефть), исходя из характеристик продуктивного коллектора и пластовых флюидов, для каждой конкретной скважины или выявляется на основании опыта разработки месторождения. При отсутствии их для низкопроницаемых коллекторов Западной Сибири (ЗС), например с проницаемостью поровых коллекторов 0,005–0,026 мкм², в первом приближении, можно принять: $[\Delta P_{\text{уд}}] = [\Delta P_{\text{ЗС}}] = 1,5$ МПа/м. Соответственно, при $[L] = [L_{\text{ЗС}}] = 3$ м установка изолирующих пакеров на эксплуатационной колонне обязательна.

Во всех случаях величина h должна определяться с учетом величины допускаемой депрессии на пласт. Но следует иметь в виду, что в пластах с газовой шапкой в окрестностях скважины проявляется тенденция ГНК к понижению, а в пластах с подошвенной водой – к поднятию ВНК. Опускание ГНК происходит тем быстрее, чем ближе интервал перфорации. Причем скорость понижения ГНК обычно выше (на ряде месторождений до 2–3 раз), чем скорость повышения ВНК. Поэтому при наличии и ВНК и ГНК интервал перфорации уменьшают (легче произвести дополнительную перфорацию, чем изолировать перфорационные каналы) и располагают ближе к ВНК и дальше от ГНК, а депрессии при выборе режима эксплуатации скважины по возможности уменьшают (неудачный выбор депрессии может служить причиной преждевременного прорыва подошвенной воды или газа).

Полученная по формуле (2.1) величина расстояния h корректируется на основе опыта разработки конкретного месторождения, с учетом мощности и литологического строения пласта, наличия непроницае-



мых прослоев глин или алевролитов и др. Более точное определение требует разработки специальных методик расчета.

Выбор плотности перфорации

Плотность перфорации выбирается с учетом характеристики продуктивного коллектора и флюида, формы перфорационных каналов, потерь давления на дифракционное искривление линий тока жидкости в ПЗП и других требуемых условий работы скважины. Ограничения на выбор плотности может накладывать необходимость сохранения целостности цементного камня и допустимая величина деформации обсадной колонны, с целью предотвращения возможности возникновения заколонных перетоков (при необходимости).

Распространенная на отечественных промыслах в нефтедобывающих регионах средняя плотность перфорации $\Pi = (6 \div 24)$ отв/м – для вертикальных и наклонных скважин и 4–5 отв/м – для горизонтальных с большой (в сотни метров) протяженностью ствола.

При одновременной разработке продуктивного горизонта или залежи, состоящей из нескольких пластов (пропластков) различной проницаемости, расчет плотности перфорации для каждого из них, во избежание взаимоглушения, ведется по специальной методике, исходя из эквивалентности перепада давления на контуре и в скважине.

Выбор техники перфорации

Выбор типа перфоратора осуществляется исходя из максимального наружного диаметра его, пробивной способности, термобаростойкости, степени воздействия на обсадную колонну (и, соответственно, возможного нарушения герметичности заколонного пространства), возможности или допустимости засорения скважины и перфорационных каналов, а также производительности (наиболее высокая производительность достигается при использовании бескорпусных перфора-

торов, когда за одну операцию может спускаться до 200 зарядов, обеспечивая за спуск вскрытие всех продуктивных интервалов).

При выборе типа перфоратора следует учитывать, что практически во всех случаях гидравлическое сопротивление течению пластового флюида в самом перфорационном канале, по сравнению с потерями на дифракционное искривление линий тока жидкости в ПЗП, относительно невелико. Возрастание отрицательного влияния кумулятивного заряда на разрушение цементного кольца и инициирование заколонных перетоков, учитываемое при выборе типа перфоратора, соответствует следующему ряду: ПК-Н, ПК-ДУ, ПК, ПКОТ, ПКО, ПНКТИ, ПВН, ПР, КПРУ, ПКС.

Засорение перфораторами зумпфа скважины после кумулятивного взрыва:

- не засоряют: ПК-Н, ПКО, ПКОТ, ПНКТИ;
- последовательность возрастания интенсивности загрязнения: ПК-ДУ, ПК, ПВН, ПКС, ПР, КПРУ (интенсивность загрязнения – например, КПРУ-65 длиной 1 м в зумпфе 140-мм обсадной колонне дает осадок высотой 140 мм, что при недостаточной длине зумпфа может вызвать необходимость в дополнительной операции по разбуриванию и растворению осадка кислотой).

Контроль качества срабатывания зарядов в перфораторах, полноты и качества вскрытия пласта по всему интервалу перфорации наиболее корректно осуществляется по замерам скважинным акустическим телевизором «САТ» (см. рис. 2.7–2.9).

Конечный выбор типа перфоратора предопределяется одним из двух основных методов перфорации:

- перфорацией при репрессии на пласт, когда в момент перфорации гидростатическое давление в скважине выше пластового, характерной для высокопроницаемых пластов с высокими пластовыми давлениями и газовым фактором, обеспечивающими самоочистку ПЗП и перфорационных каналов;

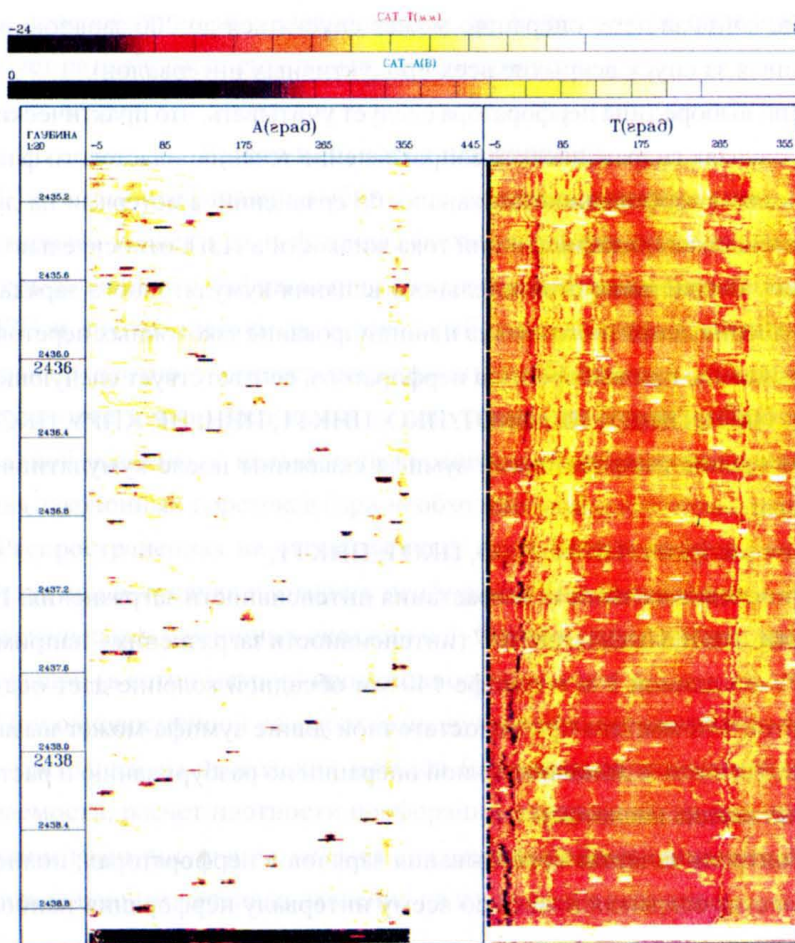


Рис. 2.7. Интервал перфорации без нарушений

- перфорацией при депрессии на пласт, что достигается при герметизированном устье с забойным давлением в скважине, меньшим пластового, выполняемой при спущенной колонне НКТ в скважину с установкой фонтанной арматуры и лубризатора на устье, улучшающей условия вскрытия мало- или среднепроницаемых коллекторов и залежей с низким пластовым давлением, облегчающей и ускоряющей освоение продуктивного горизонта.

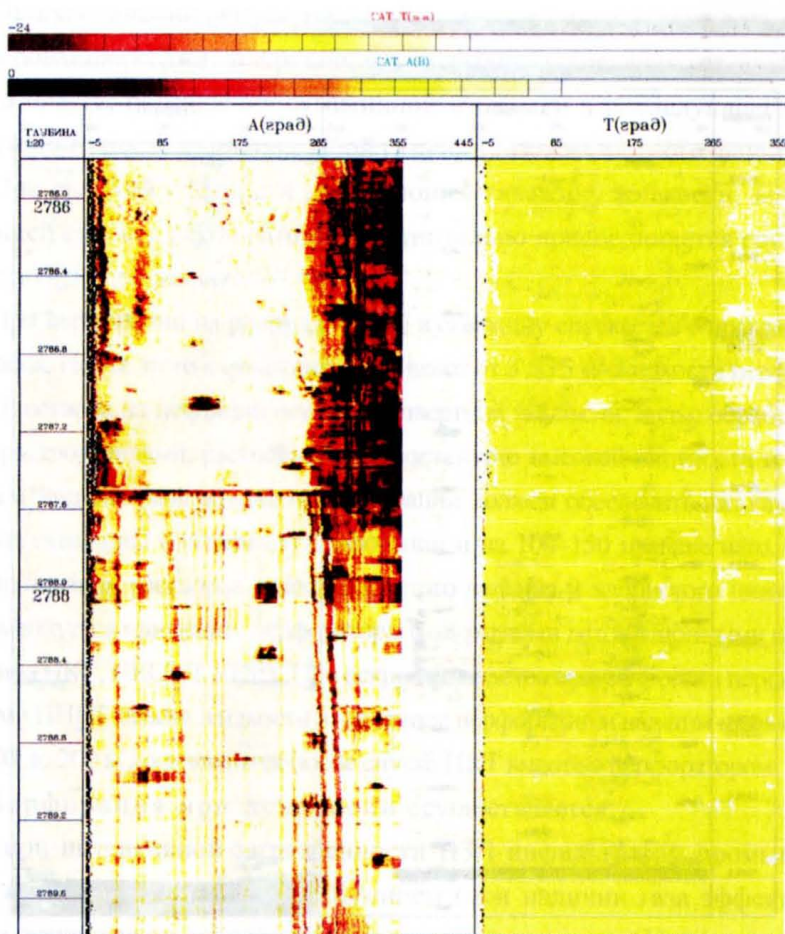


Рис. 2.8. Интервал перфорации с вмятинами

Преимуществом перфорации на депрессии, например с ПНК, является замена промывочной жидкости облегченной и даже раствором на нефтяной основе, что в ряде случаев устраняет необходимость в операции освоения скважины.

При перфорации с репрессией на пласт гидростатическое давление столба жидкости в скважине должно превышать пластовое на величину, определяемую расчетным путем (в зависимости от реоло-

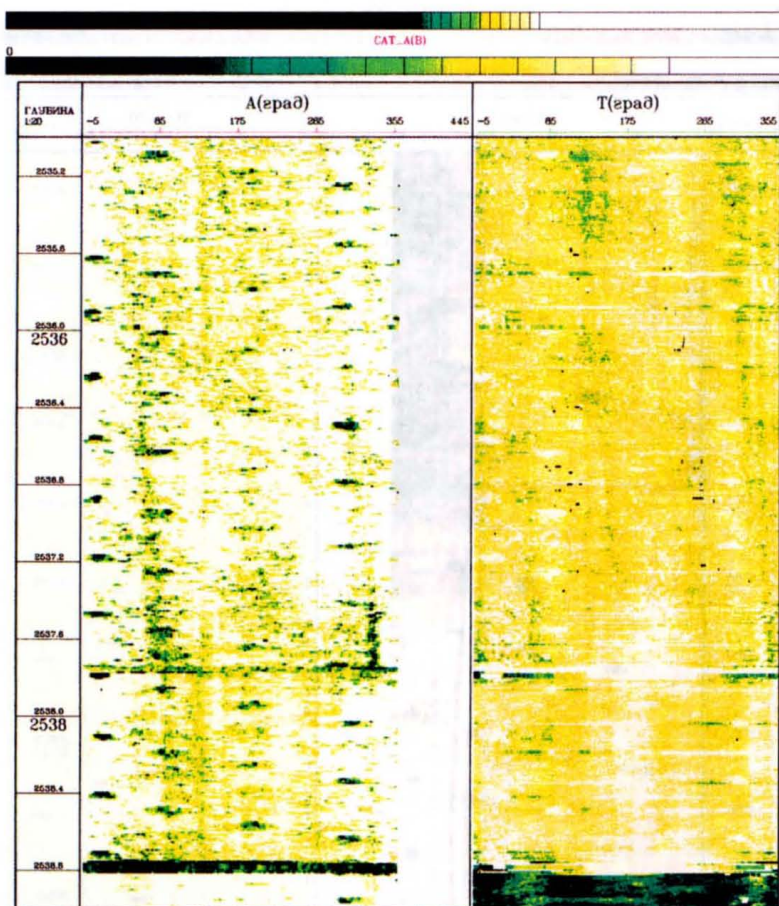


Рис. 2.9. Перфорационные отверстия и трещины в эксплуатационной колонне, возникающие при перфорации

гической характеристики флюида, газового фактора, условий и стадии разработки месторождения и т.д.). В первом приближении для определения степени превышения гидростатического давления столба жидкости над пластовым можно пользоваться рекомендациями:

- от 10 до 15 % для скважин глубиной до 1 200 м, но не более 1,5 МПа;
- от 5 до 10 % при глубине от 1 200 до 2 500 м, но не более 2,5 МПа;
- от 4 до 7 % при глубине более 2 500 м, но не более 3,5 МПа.

При увеличении репрессии следует иметь в виду возможность фонтанирования скважины или внезапного флюидопроявления за счет разрыва пласта, поглощения скважинной жидкости и последующего интенсивного поступления на забой газа или газожидкостного флюида.

При высокой плотности заполняющей скважину жидкости, затрудняющей спуск, к перфоратору дополнительно присоединяется груз соответствующей массы.

При перфорации на репрессии НКТ в скважину спускается с промывкой до забоя. После этого в скважину закачивают от 3 до 5 м³ жидкости перфорации (раствора на нефтяной основе – инвертной эмульсии, воды, обработанной растворителями, растворы солей достаточно высокой плотности и др.). Объем закачиваемой жидкости перфорации должен обеспечить заполнение ствола скважины в интервале перфорации и на 100–150 м выше него. При использовании растворов солей хлористого кальция и хлористого цинка не рекомендуется применять перфораторы с открытыми детонационными цепями типа ПКС, ПКСУЛ, КПРУ. При вскрытии пластов при репрессии перфораторами ПНКТ замена жидкости в интервале перфорации и над ним на высоту от 100 до 200 м производится после спуска НКТ вместе с перфоратором.

Перфорация при депрессии осуществляется:

- при интенсивной загрязненности ПЗП инфильтратом промывочной жидкости при вскрытии бурением (при наличии газа эффективность вскрытия на депрессии, в этом случае, возрастает);
- при отсутствии гидродинамической связи скважины с пластом после вскрытия на репрессии;
- при аномально низких или аномально высоких пластовых давлениях;
- при снижении пластового давления на поздних стадиях разработки месторождения;
- при вскрытии пластов на крыльях месторождений с ухудшенными коллекторскими свойствами и условиями разработки залежи;



- при несоответствии между данными геофизических исследований и результатами испытания пласта после перфорации при репрессии.

Перфорацию при депрессии производят одновременно по всей мощности пласта или по отдельным интервалам с изоляцией ранее проперфорированных участков продуктивного горизонта, с помощью пакеров и цементных мостов.

При перфорации со статической депрессией на пласт расчетная величина давления P_3 на забой скважины принимается, при отсутствии нормативной методики расчета, в соответствии с имеющимся промысловым опытом на конкретном месторождении и должна быть больше минимально допустимой величины $[P_3]$, соответствующей выражению:

$$P_3 \geq [P_3] = P_{\text{пл}} - [\Delta P],$$

где $P_{\text{пл}}$ – пластовое давление; $[\Delta P]$ – допускаемая величина депрессии на пласт, исключающая возникновение заколонных перетоков и определяется (исходя из этого условия) по формуле (2.2).

$$[\Delta P] = \frac{Eh(2R - h)}{2R(R - h)^2} \sqrt[3]{\frac{12\eta[Q]}{2\pi R \left[\frac{P_{\text{пл}}}{L} \right]}}, \quad (2.2)$$

где E – модуль упругости, для стальных труб ($E = 2,1 \cdot 10^5$), МПа; h – толщина стенки трубы ($h = R - r$); R и r – соответственно, наружный и внутренний диаметры обсадных труб; η – динамическая вязкость флюида (например для пластовой воды плотностью $\rho = (1,02 \div 1,14)$ г/см³, $\eta = (0,3 \div 2,2)$ мПа · с); $[Q]$ – допустимый расход жидкости через кольцевую щель между обсадной колонной и цементным камнем.

Использование допустимой величины $[P_{\text{зп}}/L]$, например равной 2 МПа/м (по З.Ш. Ахмадишину, 1986 г.), не учитывает разнообразие требуемых условий освоения скважины, предопределяющих величину δ и, соответственно, депрессии ΔP на пласт. Поэтому для практических расчетов вместо формулы (2.2) в зависимости от применяемой

технологии при выборе параметров освоения скважины более целесообразным может оказаться использование выражения (2.3), соблюдение которого позволит предотвратить переток нефти в поглощающий пласт или подошвенной воды в продуктивный коллектор.

$$\left[\frac{P_{\text{зп}}}{L} \right] \leq \left(\frac{2\tau_0}{\delta} \right) = \tau_0 E (R^2 - r^2) (\Delta P r^2 R)^{-1}, \quad (2.3)$$

где $[P_{\text{зп}}/L]$ – допустимый перепад давления между пластами через кольцевую щель шириной δ ; L – расстояние между интервалами проявления и поглощения вдоль ствола скважины; τ_0 – статическое напряжение сдвига флюида (нефти или подошвенной воды);

Эффективность перфорации при депрессии на пласт заключается в следующем. Возникающая в упругой породе от кумулятивного взрыва волна деформации сжатия сменяется с затуханием (снижением амплитуды) полуволной растяжения и т.д. Чередование между собой полуволн сжатия-растяжения можно представить, например, в виде синусоид с амплитудами, экспоненциально снижающимися во времени, на которые, в соответствии с принципом суперпозиции, можно разложить начальный импульс давления от кумулятивной струи. Поскольку осью симметрии такой синусоиды является давление депрессии, то, подбирая расчетным (с учетом амплитуды полуволны растяжения) или опытным путем ее величину, можно:

- снизить величину уплотнения (остаточной деформации) коллектора и, соответственно, необратимого снижения проницаемости его на стенках перфорационных каналов и в зоне ПЗП, примыкающей к ним;
- уменьшить силы сцепления загрязняющих пласт инфильтрата раствора и твердых частиц зоны кольматации со стенками поровых каналов до величины, достаточной для очистки ПЗП под воздействием давления депрессии;
- предотвратить кольматацию стенок перфорационных каналов продуктами взрыва.



Эффективность перфорации обеспечивается при статической депрессии на пласт от 2,5 до 35 МПа и подбирается опытным путем для каждого конкретного месторождения.

При незаполненной полностью колонне НКТ эффективность перфорации увеличивают дополнительным использованием динамической депрессии, создаваемой с помощью дополнительных устройств (регуляторов гидродинамического давления), срабатывающих от воздействия взрывной волны.

Максимальная величина депрессии ограничивается прочностью и состоянием обсадной колонны, цементного камня, устойчивостью пород, слагающих пласт. При вскрытии пласта малогабаритными перфораторами, спускаемыми на кабеле, опасность резкого подбрасывания перфоратора с запутыванием кабеля, из-за возможного мощного выброса флюида из пласта в скважину, устраняется установкой на кабеле (над перфоратором) и на НКТ гасителей взрывной волны.

Перед перфорацией на депрессии башмак НКТ или НКТ с перфоратором ПНКТИ спускают до такой глубины, чтобы была обеспечена возможность замены жидкости в скважине на жидкость перфорации с заполнением ею интервала перфорации и выше него на 100–200 м.

§ 2. Невзрывные способы вторичного вскрытия

Перфорация механическими устройствами

При использовании механических перфораторов исключается разрушение цементного кольца и, соответственно, сохраняется герметичность заколонного пространства, исключается уплотнение породы и загрязнение стенок перфорационных каналов продуктами взрыва. Увеличивается, вплоть до кратной величины, производительность скважины, обеспечивается экологическая чистота процесса перфорации. Наиболее предпочтитель-

но использование механической перфорации при разработке маломощных нефтенасыщенных интервалов, которые в силу тех или иных причин на начальной стадии эксплуатации месторождений не использовались, т.е. при:

- малой толщине (до нескольких метров) продуктивных пластов или пропластков;
- низкой проницаемости коллекторов;
- близости водонефтяного контакта, поглощающих интервалов и в ряде других случаев.

Привод перфораторов осуществляется от забойного электро- или винтового гидравлического двигателя. Преимуществом электропривода является более высокая технологичность процесса (спуск в скважину на кабеле), недостатком – ограничение применимости по мощности двигателя и глубине скважины, затруднительность осуществления глубокой перфорации (до 1–7 м) с дополнительным применением, например, полого (для промывки сверла) гибкого вала.

По типу режущего инструмента механические перфораторы разделяются:

сверлящие:

а) ПС-112, конструкции ВНИИГИС, с размерами канала $d \times l = 14 \times 50$ мм, привод – электродвигатель;

б) ПМ-3 (шифр ПМ относится к перфораторам конструкции БашНИПИнефть) с каналом 22×73 мм, гидродвигатель Д-85;

в) с гибкими валами различных конструкций, с каналом $(22-28) \times (500-7\,000)$ мм, с приводом от гидродвигателя;

г) с поперечно размещенной дисковой фрезой модели ПМ-1, щель 30×115 мм глубиной 75 мм, привод – Д-85;

д) с концевой фрезой, модели ПМ-4, продольная щель 19×150 мм глубиной 150 мм, привод – Д-85;

е) с продольно размещенной дисковой фрезой модели ПМ2м-6, щель 16×120 мм глубиной 73 мм, привод – Д-85;



ж) с зубчатой цепью (типа БАР), модели ПМ-8, щель 15×350 мм глубиной 350 мм, привод – Д-85;

- прокалывающие (гидромеханические):

а) призматический дырокол ТатНИПИнефть (щель размером 10××(25–35) мм);

б) дисковые перфораторы ВНИИКРнефть – продольная щель длиной до 0,5–1,5 м.

Недостатком сверлящих перфораторов является возможность заклинивания сверла в стенке канала и ограниченное влияние на дебит скважины. Перфоратор с поперечной фрезой целесообразен для выполнения ремонтных работ. С продольной фрезой – обеспечивает снижение гидравлических потерь на дифракционное искривление линий тока жидкости в ПЗП (по сравнению со сверлящими) и, соответственно, больший дебит скважины. Перфораторы с зубчатой цепью и многочисленные с гибким валом наиболее перспективны, но большая часть их (отечественных и зарубежных) находится в стадии совершенствования конструкции. Особый интерес представляет группа «прокалывающих» механических перфораторов, отличающихся наиболее высокой технологичностью и дешевизной процесса, но, к сожалению, и невысокой успешностью проведения операций (до 55–70 %, для уже разработанных конструкций).

Гидроабразивная (пескоструйная) перфорация

Гидроабразивная перфорация используется:

- при низкой проницаемости коллектора;
- при сильном загрязнении ПЗП инфильтратом бурового раствора;
- при высокой температуре среды, в случае отсутствия термостойких других типов перфораторов.

При гидропескоструйной перфорации радиус каналов больше, чем при других методах. В результате уменьшаются гидравлические потери в околоскважинной зоне продуктивного коллектора на дифракционное

искривление линий тока жидкости в ПЗП, возрастает дебит скважины. Кроме того, из-за подачи жидкости перфорации с поверхности поршневыми насосами низ колонны НКТ, за счет изменения направления переменной составляющей сил трения, пульсирующего (с частотой, эквивалентной частоте перемещения поршней насоса) потока жидкости о внутреннюю поверхность НКТ, периодически перемещается вверх-вниз с частотой до нескольких Гц. Перфорационный канал принимает щелевидную форму, что еще больше снижает гидравлические потери в ПЗП, а в случае гидроразрыва в определенной мере обеспечивает первоначальное направление трещин.

Наиболее распространенным вариантом струйной перфорации является гидроабразивная, основанная на использовании кинетической энергии струи жидкости, в которой взвешено некоторое количество высокоабразивных частиц кварцевого песка. Перфорацию осуществляют через несколько коноидальных (гидромониторных) насадок диаметром от 3 до 6 мм, которые размещают в корпусе, устанавливаемом на нижнем конце колонны. Корпус насадок имеет центральное промывочное отверстие. После спуска перфоратора на заданную глубину промывают обсадную колонну и сбрасывают шар, который перекрывает центральное отверстие корпуса, после чего жидкость, закачиваемая в колонну НКТ, может выходить из нее только через коноидальные насадки.

Менее распространенными вариантами струйной перфорации являются:

- перфорация на глинистом растворе с повышенным содержанием твердой фазы (в отдельных, вынужденных случаях);
- высокоагрессивным раствором (кислота, трехфтористый водород и др.);
- высокочастотная (с истечением жидкости последовательно через ультразвуковой гидрогенератор с частотой от 20 до 40 кГц и гидромониторную насадку), например, водой.



При истечении жидкости в среду с противодавлением (на забое скважины) с удалением от гидромониторной (струйной) насадки кинетическая энергия струи резко падает. Поэтому в ряде случаев при перфорации, в т.ч. при кислотной, успешно применяется размещение насадки на конце специального гибкого шланга, поступательно перемещающегося вместе с ней вглубь ПЗП.

При гидроабразивной перфорации в промысловой практике в качестве жидкости-песконосителя используют:

- растворы на нефтяной основе, дегазированную нефть;
- водные растворы (солей CaCl_2 , NaCl , KCl – от 8 до 22 % или различных комбинаций их; КМЦ – до нескольких процентов и других реагентов);
- газожидкостные смеси и др.

Содержание кварцевого песка фракции от 0,2 до 2,0 мм обычно – от 50 до 100 кг/м³.

Плотность растворов – от 1,01 до 1,18 г/см³; динамическая вязкость от 12 до 40 мПа·с; напряжение сдвига, несмотря на свою значимость, как правило, не определяется.

Для перфорации скорость струи в насадках доводят до 120–150 м/с и более, в состав жидкости вводят от 50 до 100 кг/м³ преимущественно кварцевого песка с зернами от 0,2 до 2,0 мм. Перепад давления на насадках от 15 до 20 МПа и более.

Длина перфорационного канала достигает, за 15–20 мин, 1 м и более, диаметр в обсадной колонне – от 13 до 15 мм, в породе – до 60 мм. При использовании поршневых насосов, из-за пульсации жидкости, низ колонны НКТ за счет сил трения о внутреннюю поверхность колонны периодически перемещается с частотой, эквивалентной частоте пульсации и с амплитудой до 0,5–0,8 м. В результате перфорационные каналы принимают щелеобразную форму, что ведет к снижению потерь гидравлического давления на дифракционное искривление линий

тока жидкости в ПЗП, т.е. к увеличению производительности скважины в процессе последующей эксплуатации. Отрицательное влияние относительного уменьшения длины перфорационных каналов можно компенсировать увеличением времени перфорации.

Недостаток гидроабразивной перфорации – высокий износ оборудования и, соответственно, высокая стоимость процесса, дефицит материалов (кварцевый песок), ограничения по глубинам и аварийности и др. Причем при пульсирующем потоке жидкости износ возрастает. Необходимые для снижения износа забойные мультипликаторы давления до настоящего времени не разработаны.

Выход из строя в связи с износом оборудования может привести к остановке циркуляции. И из-за низкой седиментационной устойчивости растворов происходит быстрое оседание частиц на забой. Для снижения скорости оседания увеличивают вязкость и динамическое напряжение сдвига, например, загущением раствора полимерными добавками. При этом скорость оседания песчаной смеси в зумпф уменьшается в 5–20 раз. Например, для некоторых типов солевых растворов с добавкой 2 % импортных (несколько хуже отечественных) КМЦ за один час остановки циркуляции из водопесчаной смеси оседает песчаный столб высотой: в зумпфе обсадной колонны – от 7 до 15 м, а в НКТ 73 – от 10 до 22 м. При отсутствии в колонне НКТ специальных забойных устройств это может привести к необходимости проведения дополнительных операций по промывке скважины. Кроме того, даже при непродолжительной остановке циркуляции могут забиться коноидальные насадки перфоратора.

Другим недостатком гидроабразивной перфорации является зависимость размеров канала от прочности породы (на одноосное сжатие – $\sigma_{сж}$). Например, при перепаде давления 30 МПа, времени перфорации 30 минут, диаметре гидромониторных насадок 45 мм и $\sigma_{сж} = 20; 50; 100; 150$ МПа глубина канала, выработанного жидкостно-песчаной струей, составляла, соответственно: 240; 150; 100; 73 мм.



Начальную скорость $u_{0н}$, обеспечивающую резание породы, лучше определять на основе стендовых исследований. При отсутствии их можно воспользоваться полуэмпирической зависимостью:

$$u_{0н} = \left(\frac{k\sigma_{сж}}{1,5\rho} \right)^{0,5}.$$

При этом скорость истечения струи u_0 и перепад давления на гидромониторной насадке Δp должны соответствовать соотношениям:

$$u_0 > u_{0н};$$

$$u_0 = 0,89 \left(\frac{2\Delta p}{\rho} \right)^{0,5},$$

где ρ – плотность рабочей смеси.

Одними из наиболее перспективных направлений гидропескоструйной (гидроабразивной) перфорации, снижающих интенсивность абразивного износа оборудования, можно считать:

- использование забойных мультипликаторов давления;
- создание устройств, например инжекционных, подающих абразивную среду в струю жидкости после «выхода» ее из гидромониторной насадки;
- подача абразивного материала в поток жидкости, непосредственно перед «входом» в гидромониторные насадки, выполненные из твердосплавных материалов, например, с помощью порошковой металлургии – из вольфрам-кобальтовых сплавов.

§ 3. Бесперфорационное вскрытие пласта

Бесперфорационное вскрытие пласта используется в случае необходимости увеличения дебита или приемистости добывающих или нагнетательных скважин:

- в малопроницаемых коллекторах;
- при низких пластовых давлениях;

- при одновременной необходимости снижения опасности взрыва или фонтанирования скважины, например, при отдельных операциях заканчивания ее с нефтью и др.

В наиболее полном виде отличительной особенностью бесперфорационного вскрытия являются:

- перфорация обсадной колонны в зоне продуктивного горизонта на поверхности, например фрезерованием (при наличии газовой шапки и подошвенной воды такая перфорация выполняется нелинейной по длине обсадных труб);

- изоляция перфорированного участка с помощью пакеров (или без пакеров);

- принудительное эксцентричное смещение относительно оси скважины с помощью сегментного обводного канала (для прохода раствора к башмаку эксплуатационной колонны);

- наличие перекрывателя золотникового для разобщения продуктивного коллектора с внутренней полостью эксплуатационной колонны (исключается необходимость в проведении операции глушения скважины перед ремонтом или при консервации);

- селективная изоляция (при одновременной добыче пластового флюида одной скважиной из нескольких пластов или пропластков, в т.ч. и с различной проницаемостью продуктивных коллекторов).

Основные методы вскрытия пласта с изоляцией продуктивного коллектора по схемам исполнения можно разделить на следующие:

- с селективной изоляцией продуктивного горизонта сверху и снизу резиновыми пакерами, например ПГПМ, ПДМ и др. и с последующей, например кумулятивной перфорацией колонны (рис. 2.9 а). При одновременной эксплуатации нескольких пластов или пропластков количество пакеров увеличивается, а гидравлическое сопротивление между ними регулируется с помощью специальных дроссельных элементов;

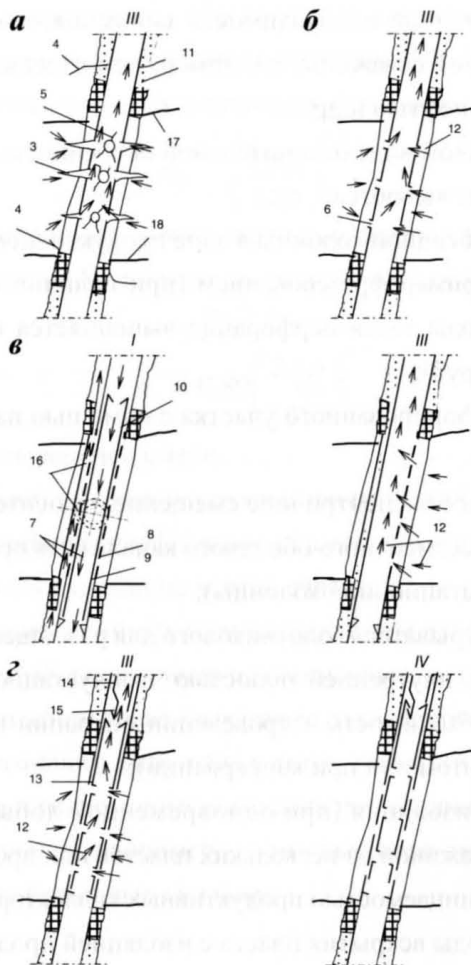


Рис. 2.9. Схемы бесперфорационного вскрытия пласта с селективной изоляцией пластов

а – с кумулятивной перфорацией; *б* – с кислоторастворимыми вставками;
в – с бесперфорационным вскрытием пласта; *г* – то же с золотниковым перекрытием пласта
 (обводной канал не показан)

I – цементирование обсадной колонны до перфорации; *II* – зацементированная колонна до перфорации;
III – работа скважины; *IV* – глушение скважины перед ремонтом.

- 1 – обсадная колонна; 2 – пакер; 3 – перфорационный канал; 4 – трещина в породе;
- 5 – трещина в колонне; 6 – элемент оснастки с кислоторастворимыми вставками;
- 7 – цементный раствор; 8 – перфорированная на поверхности обсадная труба;
- 9 – перекрыватель извлекаемый; 10 – шплин; 11 – цементный камень;
- 12 – пластовый флюид; 13 – перекрыватель золотниковый; 14 – НКТ; 15 – ловитель;
- 16 – обводной канал; 17, 18 – кровля и подошва продуктивного горизонта

- с изоляцией продуктивного коллектора, с оснащением эксплуатационной колонны в зоне перфорации кислоторастворимыми (ТатНИПИнефть), например магниевыми, вставками и с последующим вскрытием пласта закачкой соляной кислоты (рис. 2.9 б);

- с изоляцией пласта пакерами и с использованием в составе конструкции эксплуатационной колонны в зоне перфорации заранее проперфорированных (профрезерованных) на поверхности обсадных труб (рис. 2.9 в);

- с селективной изоляцией пласта с открытием-закрытием внутренней полости эксплуатационной колонны в зоне перфорации (предварительно профрезерованных на поверхности обсадных труб) с помощью механического устройства, выполненного, например, в виде заслонки или золотникового типа (рис. 2.9 г). Открытие-закрытие осуществляется перед освоением, до и после ремонта скважины (как вариант – без использования пакеров).

Технология селективной изоляции с оснащением эксплуатационной колонны кислоторастворимыми магниевыми вставками (рис. 2.9 б) более прогрессивна по сравнению с предыдущей. После цементирования колонны перфорация осуществляется закачкой в зону перфорации соляной кислоты, растворяющей магниевые вставки.

Вместо кислоторастворимых магниевых вставок могут использоваться растворимые заглушки из сплавов алюминия. В этом случае растворимым реагентом может служить водоспиртовой раствор этилсиликоната натрия (ГКЖ-10) или метилсиликоната натрия (ГКЖ-11) в соотношении $(1 \div 2)/(2 \div 1)$. Промывку забоя можно осуществлять после продавки отработанного химического реагента в продуктивный пласт.

Недостатки метода:

- возможность недоспуска обсадной колонны со сниженной проходимостью (из-за оснащения центрирующими фонарями) до проектной глубины в искривленный ствол наклонной скважины;



- возможное отрицательное воздействие раствора кислоты на увеличение проницаемости в зоне пакеров, а также на резиновые элементы пакеров.

Основные преимущества указанных методов:

- исключение необходимости в отдельных операциях по заканчиванию скважин (в перфорации – рис. 2.9 б–2.9 г; в глушении – рис. 2.9 г;
- резкое снижение уровня взрыво- и пожароопасности;
- увеличение вплоть до кратной величины приемистости скважины;
- возможность совмещения операции вторичного вскрытия со свабированием скважины (рис. 2.9 в, г).

Технология селективной изоляции пласта с последующей кумулятивной перфорацией (рис. 2.9 а) наиболее распространена. Недостатком ее является возможность нарушения герметичности заколонного пространства в зоне пакеров, в результате отсутствия сопротивления расширению обсадных труб, между ними, от взрывной волны. Отсюда наблюдаемая на промыслах низкая успешность применения метода, что сдерживает его распространение. Указанный недостаток устраняется заменой кумулятивных перфораторов, например, на механические.

Технология селективной изоляции с оснащением эксплуатационной колонны кислоторастворимыми магниевыми вставками (рис. 2.9 б) более прогрессивна по сравнению с представленной на рис. 2.9 а. По этой технологии к обсадным трубам в интервале перфорации привариваются по спирали фонари с самовывдвигающимися за счет перепада давления в трубах и кольцевом пространстве центрирующими элементами. Расстояние между фонарями одного ряда (вдоль оси колонны) подбирается по очевидным расчетам исходя из обеспечения принудительного центрирования колонны в интервале перфорации. Для предупреждения возможности прихвата при спуске колонны в скважину между фонарями могут дополнительно устанавливаться пружинные планки. Кислоторастворимые магниевые вставки ввинчиваются на

мелкой резьбе во внутренние полости центрирующих элементов фонарей. После цементирования обсадной колонны перфорация осуществляется по технологии ТатНИПИнефть, закачкой в зону перфорации раствора соляной кислоты, растворяющей магниевые вставки.

Применение магниевых кислоторастворимых вставок апробировано в условиях ОАО «Татнефть».

Использование алюминиевых вставок вместо более дефицитных магниевых снижает надежность перфорации.

Самовыдвижение за счет перепада давления центрирующих элементов с выдвиганием только при определенном перепада давления, подбираемом по результатам предварительной натурной апробации жесткости фиксирующего элемента (например, упругого сегментного хвостовика) позволяет отказаться от малонадежных фиксаторов в виде, например, срезных штифтов (напряжение среза которых зависит от материала и структуры металла – наличие мелких раковин в штифтах и др., т.е. практически малоконтролируемо) и этим предупредить возможность преждевременного самовыдвижения центрирующих элементов, например, в результате вынужденной промывки из-за прихвата, повысить надежность центрирования колонны в зоне перфорации.

Бесперфорационное вскрытие с селективной изоляцией продуктивного коллектора по схеме на рис. 2.9 в устраняет указанные недостатки технологий по схеме на рис. 2.9 а, б. По этой схеме предварительно перфорированный на поверхности, например, фрезеровкой щелей участок обсадной колонны между двумя пакерами оснащается дополнительным эксцентричным (приварка трубного сегмента и др.) или концентричным обводным каналом. При цементировании колонны перфорированная часть ее перекрыта трубным золотником, снабженным на верхнем конце штипсами – для захвата спускаемым на колонне НКТ или кабель-канателовильным замком. Конструкция золотника предусматривает проведение процесса цементирования эксплуатационной колонны по обычной техно-



логии. Процесс перфорации заменяется спуском в скважину захватного замка, который либо извлекает трубный золотник, либо приподнимает его в зону над перфорационными щелями и фиксирует в данном положении.

Для сочленения вторичного вскрытия пласта с освоением скважины верхний или нижний конец хвостовика может дополнительно оснащаться той или иной конструкцией сваба для обсадной колонны.

Отдельные варианты конструкций и технологий заканчивания скважин по схеме на рис. 2.9 *в* с различными обводными каналами разработаны сотрудниками в БашНИПИнефть и УГНТУ (устройства бесперфорационного вскрытия моделей УБП, УБПЗ и др).

В стадии разработки находится и идентичный метод бесперфорационного вскрытия для добычи нефти в одной скважине из нескольких пластов с различными гидродинамическими характеристиками пропластков.

В последние годы рядом фирм используется и метод селективной изоляции пластов в сочетании с трубным золотниковым глушителем скважины по схеме на рис. 2.9 *г*. Управление трубным золотником может осуществляться продольным перемещением или вращением его тем или иным способом на небольшую величину с помощью спущенной в скважину колонны труб (продольным перемещением или вращением ее) или каната (в последнем случае возвращение золотника в исходное положение при необходимости глушения осуществляется за счет продольной составляющей сил собственного веса или утяжелителя или возвратной пружины).

Использование этого метода:

- устраняет необходимость проведения операций по перфорации и глушению скважины;
- при кратно большем, чем при кумулятивной перфорации, дебите облегчает условия и ускоряет при более высоком качестве процесс освоения скважины;
- несколько усложняет и удорожает технологический процесс закан-

чивания скважины по сравнению с методом эксцентричного смещения обсадной колонны относительно оси скважины в интервале (интервалах – при наличии нескольких пропластков) перфорации.

Методы бесперфорационного вскрытия пласта еще более целесообразны при операциях заканчивания скважин на нефти. Замена перфорационных каналов заранее проперфорированной на поверхности трубой устраняет потери на дифракционное искривление линий тока жидкости в ПЗП, что позволяет увеличить производительность добывающей или нагнетательной скважины, вплоть до кратной величины.

Выбор метода бесперфорационного вскрытия пласта производится дифференцированно для каждой конкретной группы скважин и определяется гидродинамическими характеристиками коллекторов продуктивной залежи и близлежащих к ней условиями и стадией разработки месторождения.

ГЛАВА 3. МЕТОДЫ ОТБОРА ГРУНТОВ, СКВАЖИННЫХ ЖИДКОСТЕЙ И РАЗОБЩЕНИЯ ПЛАСТОВ

§ 1. Методы отбора грунтов

Отбор образцов пород жидкости и газа из пластов горных пород, вскрытых скважиной, производят с целью получения сведений о нефтеносности, газоносности, водоносности пластов, их литологического и минералогического состава, а также некоторых физических свойств пород, жидкости и газа. Эти данные используют для подтверждения продуктивности пластов и целесообразности их опробования в разведочных скважинах, чтобы определить промышленную ценность месторождения полезного ископаемого. В эксплуатационных скважинах результаты этих исследований используют для уточнения коллекторских свойств пород – пористости и проницаемости, подсчета запасов нефти и газа, определения местоположения водонефтяного контакта, уточнения результатов геофизических исследований в скважинах и принятия решения о спуске обсадной колонны труб.

Отбор образцов пород из пластов в скважинах осуществляют с помощью боковых стреляющих, сверлящих, режущих грунтоносов, а отбор проб жидкости и газа – с помощью пробоотборников.

Грунтоносы и пробоотборники опускают в скважину на каротажном кабеле. Ими можно отбирать образцы пород и пробы жидкости из пластов в любое время после окончания бурения. Эти методы исследования скважин обладают многими преимуществами по сравнению с другими способами. Обеспечивается точное измерение глубины отбора образцов, хорошая увязка с диаграммами каротажа, что важно для комплексной интерпретации.

Отбор образцов пород боковыми стреляющими грунтоносами и проб жидкости пробоотборниками производят после получения диаграмм каротажа и отбора кернов при колонковом бурении. Это позволяет отбирать образцы пород и пробы жидкости в интервалах, наиболее интересных геологам и промысловикам: не охарактеризованных керном или шламом, неоднозначно интерпретируемых по каротажу. Методы бокового отбора образцов пород и проб жидкости применяют в случаях, когда необходимо исследовать большое число пластов, которые могут оказаться продуктивными, а обычный отбор образцов пород при бурении был недостаточен или неполноценен.

Отбор боковыми грунтоносами образцов пород и пробоотборниками проб жидкости и газа дает возможность в короткий срок испытать любой участок пласта и получить важные сведения о характеристике пород, а также жидкости или газа, насыщающих пласт.

Боковой отбор образцов пород, пластовой жидкости и газа применяется в скважинах, бурящихся на нефть, газ, уголь и воду.

Боковыми стреляющими грунтоносами образцы пород отбирают с помощью полых бойков, выстреливаемых в стенку скважины и затем извлекаемых из нее вместе с породой. Сверлящими грунтоносами образцы пород отбирают с помощью цилиндрического бура, высверливающего их из стенки скважины; режущими грунтоносами – с помощью дисковых фрез, расположенных под углом друг к другу, вращающихся и имеющих поступательное движение вдоль оси скважины вместе с корпусом грунтоноса, поднимаемом на кабеле. Вращающиеся диски вырезают со стенки скважины образец породы в форме длинной трехгранной призмы.

Стреляющий грунтонос

Стреляющий грунтонос имеет стальной корпус с одной или несколькими пороховыми камерами, над которыми располагаются стволы (рис. 3.1). В пороховые камеры помещают пороховые заряды с



электровоспламенителями, состоящими из мостика накаливания, покрытого легковоспламеняющимся составом.

В стволы вкладывают полые цилиндрические бойки, изготовленные из прочной стали. Их прикрепляют к корпусу грунтоноса стальными тросиками.

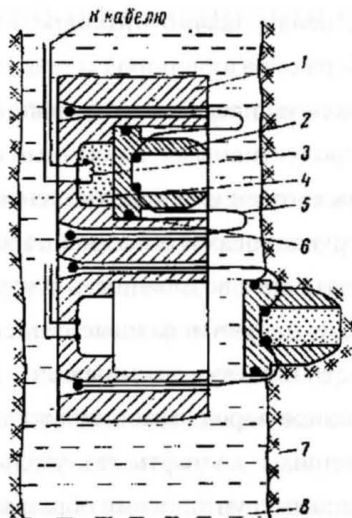


Рис. 3.1. Схема отбора пород боковым стреляющим грунтоносом:

- 1 – корпус грунтоноса; 2 – боек; 3 – мостик накаливания; 4 – пороховой заряд;
5 – трос; 6 – резиновое кольцо; 7 – порода; 8 – скважина

Пороховую камеру герметизируют резиновыми кольцами и пробками от попадания в нее жидкости из скважины. В некоторых грунтоносах камеры герметизируют прокладками, прижимаемыми к кольцевому выступу над камерой ввинчивающимися стволами.

Грунтонос присоединяют к каротажному кабелю, на котором его опускают в скважину. После того, как грунтонос установлен в скважине, в месте, где необходимо отобрать образец породы, жилу кабеля подключают к источнику электрического тока; мостик накаливания воспламеняет состав, и пороховой заряд сгорает. Образовавшимися в камере пороховыми газами боек выталкивается из ствола и внедряется в породу.

При подъеме грунтоноса боек с помощью тросов, крепящих его к корпусу, извлекается из пласта вместе с породой. После того, как все бойки выстрелены и извлечены из породы, грунтонос поднимают на поверхность, породу из бойков вынимают и передают для исследования в лабораторию.

С целью повышения эффективности отбора образцов пород стреляющими грунтоносами перед спуском их в скважину и еще до заряжания определяют плотность пород по результатам каротажа, а также состояние скважины по кавернограмме. Массу заряда для отбора пород определяют в зависимости от их твердости и глубины расположения пласта (табл. 3.1). Составляют ведомость с указанием массы зарядов, подобранных для каждого пропластка, отличающегося по твердости пород.

Таблица 3.1

Зависимость массы заряда от глубины скважины

Глубина скважины, м	Масса заряда, г	Глубина скважины, м	Масса заряда, г
1 000	1,4	3 000	3,6
1 500	2,0	3 500	4,0
2 000	2,5	4 000	4,5
2 500	3,0	4 500	5,0

Геологическая эффективность отбора пород

Вынос кернов колонковым буром часто довольно низок, особенно при бурении пород малой прочности и сыпучих. На эксплуатационных площадях бурение многих скважин производят совсем без отбора кернов колонковым буром. В этом случае весьма ценны результаты исследований образцов пород, отобранных боковыми стреляющими грунтоносами. Методы исследований образцов пород, отобранных стреляющими грунтоносами, основаны на тех же принципах, что и методы исследования образцов пород, взятых при бурении, частиц породы, выносимых в шламе и др. Однако вследствие того, что характер образцов пород, взятых стреляющими



ми грунтоносами, обладает специфическими особенностями (нарушенная структура), методика их исследований отличается от стандартной.

Камеры грунтоноса заряжаются зарядами массой, подобранной для отбора образцов пород в заданном интервале. Эффективность применения стреляющих грунтоносов определяется числом и представительностью поднятых образцов. Из статистических данных по отбору образцов пород стреляющими грунтоносами за несколько лет по важнейшим разведочным и нефтепромысловым районам следует, что отбор образцов пород в среднем составляет 74 % от числа выстреливших камер и 65 % от числа заряженных камер, опущенных в скважину. Часть бойков (12 % от числа заряженных) не выстреливает по разным причинам. Некоторые выстрелившие бойки не отбирают породу из-за деформации, вымывания или высыпания породы из полости во время извлечения из пласта или движения по скважине, часть бойков остаются в скважине из-за обрыва тросов.

Отношение числа бойков, оставшихся в скважине из-за обрыва тросов, к числу разбитых или деформированных бойков равно примерно 1:6 при отборе твердых пород и 6:1 при отборе мягких пород.

Для достаточно полного анализа и изучения физических свойств пород по образцам, отобраным стреляющими грунтоносами, необходимо, чтобы эти образцы обладали должной представительностью, т.е. имели необходимый объем, ненарушенность структуры и сохранили насыщающую их жидкость.

Представительность образцов породы, извлекаемых бойками стреляющих грунтоносов из пласта в скважине, недостаточна для проведения анализов и определения физических свойств породы. Однако анализ и этих образцов дает много полезных сведений. Например, по ним производят литологическое описание пород, определяют водо- и нефтенасыщенность, механический состав, карбонатность, запах, цвет и в некоторых случаях пористость породы в образце.

Число образцов пород, отбираемых из пласта, зависит от исследований, которые хотят провести с помощью этих образцов. Число отбираемых образцов увеличивают, когда изучают пласт литологически неоднородный с изменяющейся нефте- и водонасыщенностью, в котором встречается чередование глинистых пропластков. Из однородных мощных пластов отбирают меньшее число образцов на единицу их мощности.

Учитывая небольшой объем образца породы в бойке грунтоноса, для определения физических свойств пласта желательно иметь пять–восемь образцов на 1 м мощности.

Поднятые из скважины на поверхность бойки, заполненные породой, очищают от бурового раствора и укладывают в ящик с ячейками, имеющими порядковые номера. Затем породу выдавливают из бойков при помощи приспособления или пресса и помещают в стеклянные боксы, полиэтиленовые стаканчики или мешочки. Упаковка имеет этикетки, на которых указывают: район, промысел, номер скважины и глубину взятия из образца породы. Образцы мягких рыхлых пород, предназначенные для определения пористости на приборе СПВ, из бойков не извлекают, их помещают в полиэтиленовые мешочки вместе с бойком. Объем образца породы, предназначенного для анализов, должен быть не менее 1 см³. Обычно один из образцов используют для грубого определения литологического состава, цвета, запаха, карбонатности, нефтесодержания непосредственно на буровой скважине. Другие образцы направляют для анализов в лабораторию.

Боковые сверлящие грунтоносы

Боковые сверлящие грунтоносы предназначены для отбора образцов твердых пород из стенок скважины. Лучше всего отбираются известняки, известковистые и плотные песчаники. Из мягких пород – пески, глины, глинистые пески и рыхлые песчаники – отбирать образцы сверлящим грунтоносом затруднительно, пески и рыхлые песчаники высыпаются или вымываются из полости бура, а в глинах бур заклинивается.



Совместное применение стреляющих и сверлящих грунтоносов дополняет друг друга и позволяет отбирать образцы пород различной твердости и минералогического состава.

Сверлящий грунтонос выбуривает образцы пород с помощью вращающегося бура. По окончании бурения бур выходит из породы и выносит в своей полости керн цилиндрической формы. После подъема грунтоноса на поверхность керны извлекают из бура и кассеты и передают для анализа в лабораторию.

Боковой сверлящий грунтонос (рис. 3.2) имеет корпус из стальной трубы, разрезанный вдоль оси. На одной половине трубы смонтированы все механизмы, гидравлическая и электрическая схемы. Вторая половина трубы закрывает механизмы, трубопроводы и провода от повреждения.

В корпусе находятся два электромотора. Один из них более мощный, расположен в верхней части прибора и предназначен для вращения бура и гидравлического насоса, подающего под давлением масло в гидравлическую систему грунтоноса. Второй электромотор небольшой мощности, размещен в нижней части прибора. Он вращает дроссельное устройство, с помощью которого регулируется подача масла в гидравлическую систему, соединенную с устройством подачи бура. В сверлящих грунтоносах применяются и другие системы дросселей, например электромагнитные. Тогда второй мотор в приборе отсутствует.

Важными узлами грунтоноса являются бур с редуктором, передающим вращение от мотора, и прижимное устройство, прижимающее корпус грунтоноса к стенке скважины во время выбуривания из нее образца породы. В систему прижимного устройства входят два прижимных распора, расположенных в нижней и верхней частях прибора. Существуют конструкции сверлящих грунтоносов с одним распором, расположенным на корпусе грунтоноса напротив отверстия для выхода бура. Распоры соединяются системой стержней с поршнями, на которые давит масло,

подающееся от насоса высокого давления. Поршни движутся в цилиндрах и через систему стержней прижимают распоры к стенке скважины. В свою очередь распоры, отталкиваясь от стенок, перемещают корпус грунтоноса и также прижимают его к противоположной стенке.

Во время выбуривания породы бур подается вперед также давлением масла. Все гидравлические устройства грунтоноса соединены с масляным насосом системой трубок и клапанов, все электрические приборы и моторы связаны с жилами кабеля, на котором спускается грунтонос в скважину. На земной поверхности кабель подводится к пульту управления электроприводами и гидросистемой сверлящего грунтоноса в скважине.

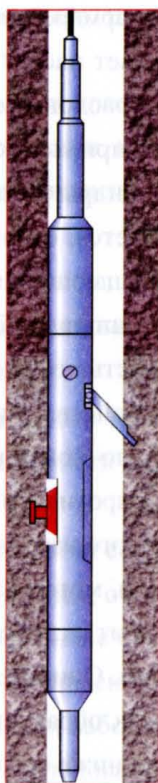


Рис. 3.2. Устройство сверлящего грунтоноса



С целью облегчения выбуривания пород грунтоносы оборудованы промывочным устройством. Оно подает буровой раствор или воду в полость бура, из которого вымывается шлам – мелкие частицы разрушенных пород. Это способствует выбуриванию длинных ненарушенных образцов.

Действие сверлящего грунтоноса в скважине

Грунтонос приводится в действие основным электромотором, питающимся током, идущим по кабелю. Ток переменный, трехфазный, частотой 50 Гц. Общая мощность, потребляемая грунтоносом, составляет 1,2–1,5 кВт. Через редуктор, карданный вал и зубчатую передачу мотор передает вращение цилиндрическому пустотелому буру, снабженному буровой коронкой с зубцами из твердых сплавов или армированной алмазами и кернорвателем.

Одновременно мотор вращает насос, нагнетающий масло в систему трубопроводов. Из трубопроводов масло попадает в цилиндры распоров, которые открываются и прижимают корпус грунтоноса к стенке скважины. После того как цилиндры распоров заполнятся маслом, давление в гидросистеме повышается, открывается клапан перед цилиндром системы подачи бура, вращающийся бур начинает прижиматься к стенке скважины и выбуривать породу.

Давление на бур или скорость его подачи вперед можно изменить с помощью дроссельного устройства. Углубление бура в породу прослеживается на поверхности по показаниям приборов, отмечающих изменение электрического сопротивления реостата, помещенного в цилиндре подачи бура. После того как бур полностью войдет в породу, переключают направление тока, мотор начинает вращаться в противоположную сторону и бур выходит из породы с образцом, который отрывается от пласта кернорвателем. Одновременно закрываются распоры.

Для размещения отобранных образцов пород сверлящий грунтонос имеет кассету, расположенную ниже бура. Различить порядок расположения образцов пород в кассете согласно последовательности их отбо-

ра на разных глубинах в скважине затруднительно, и привязку этих образцов по глубинам соответственно их расположению в кассете нельзя считать достоверной. Действительно, если во время одного или нескольких забуриваний бур не возьмет образцы пород, это будет неизвестно и запутает привязку образцов по глубинам. Обычно отбирают несколько образцов из одного пласта, что помогает более детально изучить неоднородность пласта в пределах исследованной мощности.

После окончания отбора образцов пород грунтонос поднимают на кабеле с помощью подъемника, вынимают образцы пород из кассеты и бура и передают их на анализ в лабораторию.

Применение сверлящих грунтоносов наиболее эффективно при отборе известняков, алевролитов и других твердых пород, в которых песок не является основной частью.

Образцы пород, выбуренные из пласта сверлящим грунтоносом, используют для определения пористости, проницаемости, механического и литологического состава пород и анализа жидкости, насыщающей пласт.

§ 2. Методы отбора скважинных жидкостей

Отбор глубинных проб жидкости из ствола скважины проводится с целью изучения пластовых свойств нефти. Отбор глубинных проб нефти производится:

- в фонтанных и непереливающих скважинах;
- в механизированных скважинах, оборудованных насосами ЭЦН.

Для этого выбирают скважины с обводненностью не более 15 %, наиболее высокими забойными давлениями, возможностью смены режима работы с целью повышения забойных давлений. Для отбора качественных проб проводятся исследования и при необходимости перевод скважин на минимальный установившийся режим работы.



Отбор проб производится при соблюдении следующих требований:

- давление на глубине отбора проб должно превышать давление насыщения не менее чем на 1,0 МПа;
- на глубине отбора не должна находиться вода;
- при отборе глубинных проб нефти в скважине должен поддерживаться постоянный или периодический приток нефти из пласта;
- перед отбором глубинных проб на режиме, с которого они будут отбираться, должен быть отобран объем нефти, равный 2–3 объемам ствола скважины.

Пробоотборники для отбора глубинных проб по способу наполнения контейнера делятся на всасывающие (ВПП-300, ПГМ-36-300) и проточные (ППГ-36, ПСС-48).

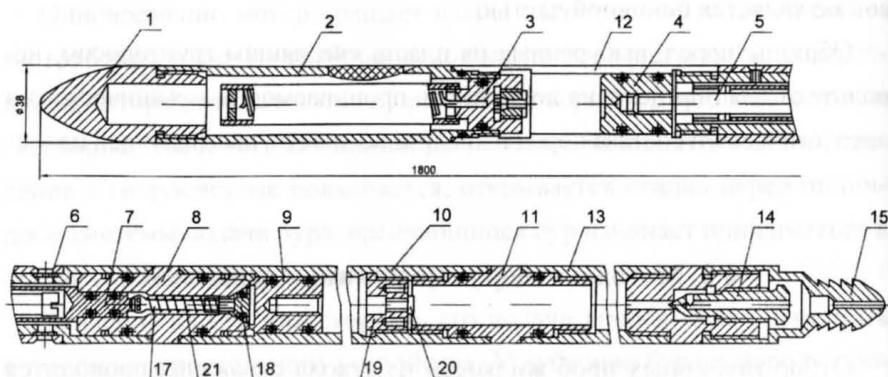


Рис. 3.3. Пробоотборник ВПП-300

- 1 – наконечник; 2 – камера балластная нижняя; 3 – сопротивление гидравлическое; 4 – поршень; 5 – шток; 6 – фильтр; 7 – форклав; 8 – корпус клапана; 9 – поршень; 10 – камера приемная; 11 – переходник; 12 – камера масляная; 13 – камера балластная; 14 – игла запорная; 15 – головка; 17 – шток; 18 – клапан; 19 – пробка упорная; 20 – винт; 21 – пружина

По способу доставки к месту отбора проб пробоотборники делятся на автономные (на проволоке) и дистанционно-управляемые (на кабеле).

При работе с всасывающим пробоотборником отбор пробы осуществляется в контейнер в статическом положении прибора в скважи-

не на заданной глубине методом поршневания, предотвращающим ее дегазацию.

При работе с проточным пробоотборником спуск прибора в скважину производится при выполнении условия сообщаемости внутренней полости контейнера с флюидом в стволе скважины. При установке прибора на заданной глубине по команде с поверхности осуществляется закрытие нижнего и верхнего клапанов на контейнере и обеспечивается герметизация пробы жидкости и газа под пластовым давлением.

Контейнеры сохраняют пробу под пластовым давлением не менее 10 суток и могут транспортироваться в лабораторию для проведения анализов.

За один спуск пробоотборника в скважину отбирается одна проба.

§ 3. Методы разобщения пластов

Разобщение пластов в обсаженных скважинах – операция, проводимая как при испытании, так и в ходе эксплуатации скважин. Разобщение пластов при испытании позволяет получить необходимые сведения о составе и параметрах флюидов, заполняющих каждый пласт. Работа выполняется так, чтобы ее результаты не препятствовали последующей эксплуатации скважины. Разобщающие устройства должны легко сниматься или разбуриваться. Последнее ограничивает выбор материалов, используемых для их изготовления.

Применение разобщающих устройств при эксплуатации связано с необходимостью изоляции пластовых и чаще – подошвенных вод, что встречается в первую очередь в скважинах, пробуренных на месторождениях, эксплуатируемых с поддержанием пластового давления заводнением. Пакеры применяются и при выполнении ремонтных работ. Использование порохов и взрывчатых веществ в устройствах этого типа оказалось эффективным, и в настоящее время существуют многочисленные варианты взрывных пакеров.

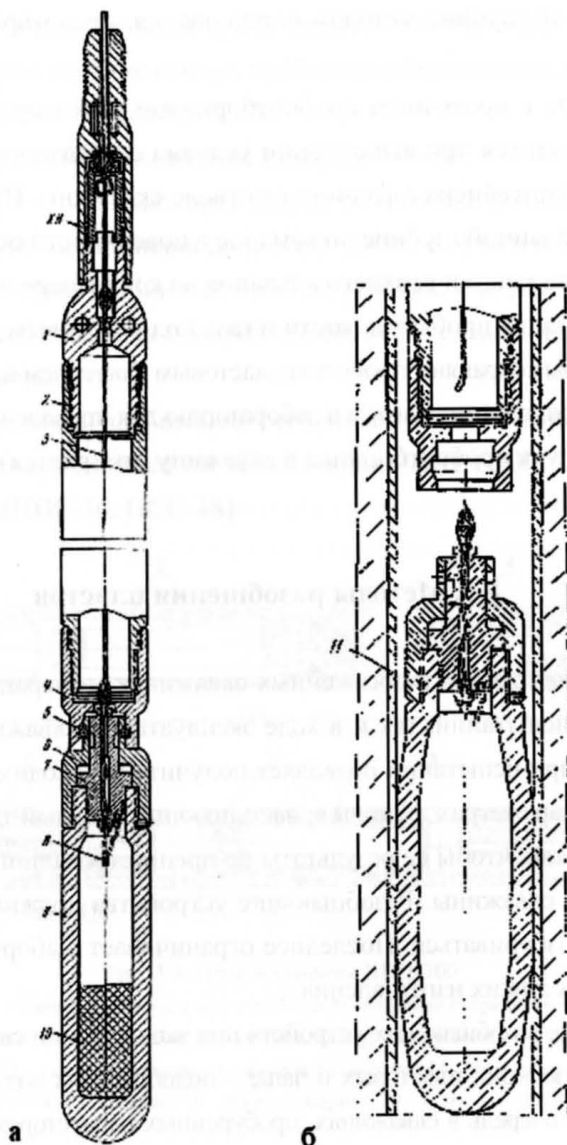


Рис.3.4. Устройство взрывного пакера ВП

а – до установки (при спуске); б – после установки в обсадной колонне.

КН – кабельный наконечник; 1 – головка; 2 – утяжелитель; 3 – электропровод; 4 – переходник; 5 – фиксирующие шарiki; 6 – головка пакера; 7 – пробка; 8 – электрозапал; 9 – корпус пакера; 10 – пороховой заряд; 11 – обсадная колонна

Взрывной пакер типа ВП (рис. 3.4, табл. 3.1) предназначен для установки разобщающих мостов в закрепленных обсадной колонной интервалах скважины при гидростатическом давлении до 59 МПа и температуре до 120 °С. Пакер ВП представляет собой толстостенный корпус с глухим дном и суженной горловиной, перекрытой герметизируемой подвижной пробкой и снабженной накидной гайкой и переходником. В корпусе размещен пороховой заряд с электровоспламенителем. Корпус взрывного пакера ВП необратимо деформируется под давлением пороховых газов до прочного сцепления с внутренними стенками обсадной трубы, создавая надежное разобщение. Одновременно происходит разъединение переходника и корпуса ВП. Груз и переходник извлекают на поверхность и используют многократно. Остающиеся в скважине детали – корпус, пробка и накидная гайка, выполненные из алюминиевого сплава, при необходимости могут быть ликвидированы разбуриванием.

Шлипсовый взрывной пакер типа ВПШ (рис. 3.5 а, табл. 3.1) предназначен для установки разобщающих мостов в закрепленных интервалах скважин при гидростатическом давлении до 147 МПа и температуре до 200 °С и состоит из пакерующей и извлекаемой частей, соединенных шпилькой. Пакерующая часть имеет шток и насаженные на него резиновую манжету, конусы, чугунные плашки и стопорные элементы. Извлекаемая часть включает корпус с пороховой камерой, содержащей заряд с пиропатроном, и подвижную гильзу, уравновешенную по отношению к гидростатическому давлению с обоих торцов. Под действием давления пороховых газов гильза перемещается относительно корпуса, осаживая плашки на штоке пакерующей части до упора в обсадную трубу и деформируя резиновую манжету. Плашки удерживают пакер на месте, а расширившаяся манжета обеспечивает герметичность разобщающего моста. После посадки пакерующей части давление пороховых газов, увеличивающееся из-за продолжающегося горения заряда, создает осевое растягивающее усилие, вследствие чего происходит разрыв соединительной шпильки и отделение извлекаемой части от пакерующей. Остающиеся в скважине детали взрывного пакера изготовле-



ны, за исключением резиновой манжеты, из чугуна и алюминиевых сплавов и в случае необходимости пакер может быть ликвидирован разбуриванием.

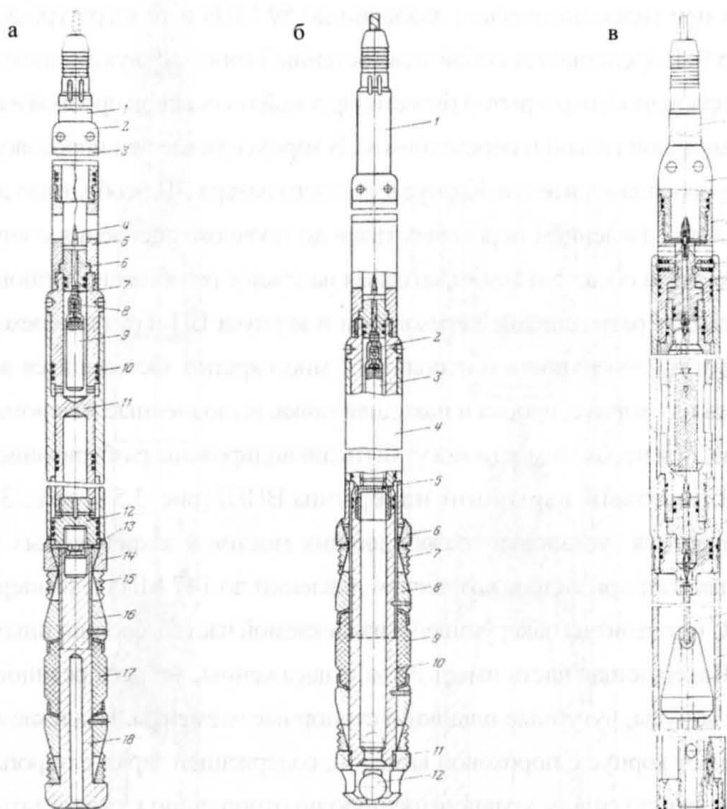


Рис.3.5. Устройство взрывных пакеров ВПШ, ПВЦ и КВП

а – взрывной пакер типа ВПШ: 1 – кабельный наконечник; 2 – головка перфоратора типа ПК 85; 3 – груз (корпус перфоратора типа ПК 85); 4 – наружная часть электропровода; 5 – переходник; 6 – пробка; 7 – внутренняя часть электропровода; 8 – пиропатрон; 9 – заряд; 10 – гильза; 11 – корпус камеры; 12 – наконечник; 13 – разрывная шпилька; 14 – стопорная гайка; 15 – плашка; 16 – конус; 17 – манжета; 18 – шток.

б – взрывной пакер типа ПВЦ: 1 – кабельный наконечник; 2 – пиропатрон; 3 – заряд; 4 – камера взрывного пакера ВПШ102; 5 – разрывная шпилька; 6 – стопорная гайка; 7 – плашка; 8 – конус; 9 – манжета; 10 – шток; 11 – наконечник; 12 – шар клапана.

в – кольцевой взрывной пакер КВП: 1 – кабельный наконечник; 2 – головка; 3 – переходник; 4 – электропровод; 5 – фиксатор; 6 – уплотнительное кольцо; 7 – пробка; 8 – верхняя гильза; 9 – пороховой заряд с электровоспламенителем верхней гильзы; 10 – пороховая камера верхней гильзы; 11 – поршень верхней гильзы; 12 – соединительный кабель; 13 – соединительная труба; 14 – подвеска; 15 – верхний поршень нижней гильзы; 16 – пороховой заряд с воспламенителем нижней гильзы; 17 – нижняя гильза; 18 – шток; 19 – нижний поршень нижней гильзы.

Цементирувочный взрывной пакер типа ПВЦ (рис. 3.5 б, табл. 3.1) предназначен для проведения изоляционных работ путем закачки цементного раствора в скважину под давлением, также может использоваться при эксплуатации нижележащего пласта при изоляции насосно-компрессорными трубами части скважины, расположенной выше пакера, для установки разобщающего моста и в ряде других случаев (рис. 3.6).

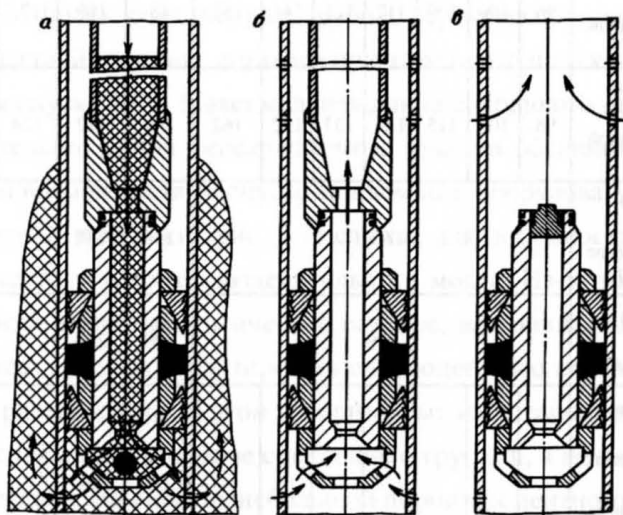


Рис.3.6. Варианты использования взрывного пакера типа ПВЦ

а – для закачки цементного раствора под давлением, *б* – для изоляции надпакерной зоны,
в – для установки разобщающего моста

Цементирувочный пакер ПВЦ по конструкции аналогичен пакеру ВПШ, отличается от него наличием в штоке сквозного осевого канала с шаровым клапаном и горловины для посадки на пакер насосно-компрессорных труб с целью нагнетания цементного раствора при ремонтных работах. Для образования сквозного канала в пакерирующей части она соединена с извлекаемой частью полую шпилькой. При необходимости использовать пакер ПВЦ для установки разобщающего моста полую шпильку заменяют сплошной.



Таблица 3.1

Пакера, устанавливаемые энергией пороховых газов

Наименование параметра	ВП 88	ВП 92	ВП 102	ВП 110	ВП 118	ВП 135	ВП 135М	ВПШ 82	ВПШ 102	ПВЦ 110	ПВЦ 118	ПВЦ 135
Наружный диаметр, мм	88	92	102	ПО	118	135	135	82	102	ПО	118	135
Минимальный внутренний диаметр обсадной колонны, мм	96	100	109	117	125	144	153	88	109	117,7	125,2	144
Максимальный внутренний диаметр обсадной колонны, мм	98	102	115	124	133	152	162	98	122	124	133	152
Максимально допустимое гидростатическое давление, МПа	60							150	150	150		
Максимально допустимая температура, °С	120							200	200	150		
Максимальная разность гидростатического давления в частях скважины, разделенных пакером, МПа								50	50			
Длина, мм	475	490	535	570	605	605	605	375	400	605	605	625
Масса, кг	5,2	6,3	7,9	9,6	11,6	15	15	9,6	15,56	22,5	24,6	31,7

Кольцевой пакер КВП (рис. 3.5 в) предназначен для изоляции пласта в обсаженной скважине при сохранении доступа к нижележащему пласту путем установки накладок (заплат) на поврежденный участок обсадной колонны. Пакер КВП включает верхний и нижний узлы уплотнения, соединенные с помощью трубы и отрезка кабеля. Каждый узел уплотнения имеет стальную герметичную камеру с по-

роховым зарядом и электровоспламенителем и деформируемую гильзу из алюминиевого сплава. Нижняя камера снабжена сквозным каналом, через который полость соединительной трубы при спуске заполняется скважинной жидкостью для устранения плавучести пакера. Давлением пороховых газов верхняя и нижняя гильзы необратимо деформируются до прочного сцепления со стенками обсадной колонны. Камеры извлекают на поверхность для повторного использования. Остающиеся в скважине гильзы, соединенные трубой, перекрывают неисправный участок обсадной колонны, оставляя при этом проходной канал, достаточный для спуска НКТ. Максимальная длина собранного пакера КВП и, следовательно, длина перекрываемого участка обсадной колонны ограничены возможностями спуско-подъемного оборудования.

Цементные желонки (рис. 3.7) служат для доставки порции цемента на место установки разделительного моста. Из-за того что колонны иногда имеют эллиптическое сечение, взрывной пакер ВП не может во всех случаях гарантировать стопроцентную надежность получаемого разобшения. Об этом говорит опыт их установки. Пакер не всегда обеспечивает уверенное сцепление с трубами, а не перекрытый им зазор невелик. Выливание небольшой порции цементного раствора, доставленного самостоятельно или в специально спроектированной желонке, используемой в качестве груза и спускаемой вместе с пакером, бывает достаточно для герметизации разобшения. Пакеры этого типа выдерживают перепад давления в 35 МПа. Дополнительная заливка цемента обязательна, если после установки взрывного пакера предусматривается кислотная обработка интервала. Если общее давление (гидростатическое и давление опрессовки) превышает значение, допустимое для взрывных пакеров ВП (60 МПа), то перед опрессовкой на ВП также необходимо установить цементный мост. Цементные желонки открываются взрывным или механическим способом. Корпус желонки изготавливают из тонкостенной стальной трубы. Диаметр и



длину желонки определяют в зависимости от проходного диаметра в скважине и величины порции цемента. На практике применяют желонки длиной 4–9 м. Плотность цементного раствора должна превышать плотность жидкости в скважине не менее чем на $0,4 \text{ г/см}^3$. В случае необходимости требуемая порция цемента может быть доставлена в скважину несколькими последовательными спусками желонок.

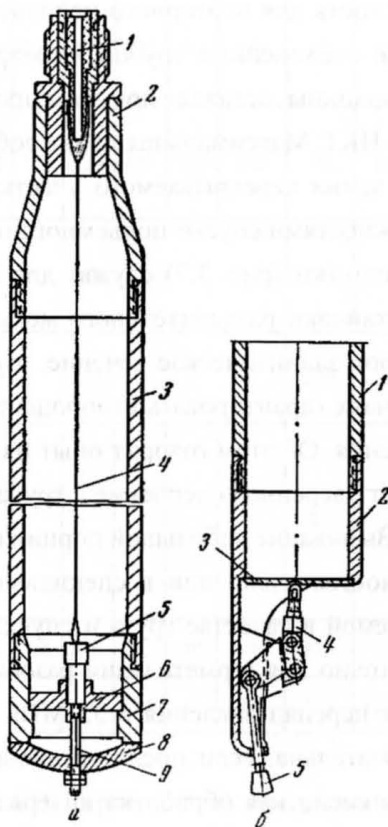


Рис.3.7. Примеры устройства цементных желонок

а – желонка со взрывным способом открывания: 1 – электроввод, 2 – переходная головка,

3 – корпус, 4 – электропровод, 5 – взрывной патрон, 6 – держатель, 7 – башмак,

8 – крышка-клапан, 9 – стяжной стержень;

б – желонка с механическим способом открывания: 1 – корпус, 2 – башмак, 3 – дно-клапан,

4 – шарнирный упор, 5 – упорный стержень

Выбор и особенности применения взрывного пакера

Взрывные пакеры в скважине устанавливают для следующих целей:

- 1) изоляции нижележащего объекта в разведочной скважине при переходе на испытание верхних объектов (ВП, ВПШ, ПВЦ);
- 2) изоляции объекта в эксплуатационной скважине при переходе к другим объектам (ВП, КВП);
- 3) изоляции подошвенной воды в эксплуатационной скважине (ВП);
- 4) изоляции пласта в нагнетательной скважине при переходе на закачку в другие пласты (ВП, КВП);
- 5) создания искусственного забоя в скважине, например для установки отклонителя при забурировании второго ствола, распаковки пластоиспытателя и т.п. (ВП).

Выбор типа взрывного пакера производится в зависимости от цели разобщения, температуры и гидростатического давления в месте установки (табл. 3.1). Место установки определяет геологическая служба в зависимости от характеристики геологоразведочного разреза и конструкции скважины.

Величину заряда для ВП и КВП выбирают по соответствующим графикам, изложенным в инструкции по эксплуатации, в зависимости от гидростатического давления и внутреннего диаметра обсадной трубы (рис. 3.8). Для ВПШ и ПВЦ используют заряд ЗВПШ.

Установка взрывных пакеров не допускается в случае:

- 1) если скважина не контролировалась шаблоном, имеющим диаметр не менее диаметра пакера, или если шаблонирование показало непроходимость ствола для шаблона;
- 2) когда интервал ствола скважины на участке установки пакера ранее торпедировался;
- 3) если в интервале обсадной колонны на участке установки пакера сохранились остатки цементной корки.

Спуск взрывного пакера в скважину допускается со скоростью, не превышающей 1 м/с.

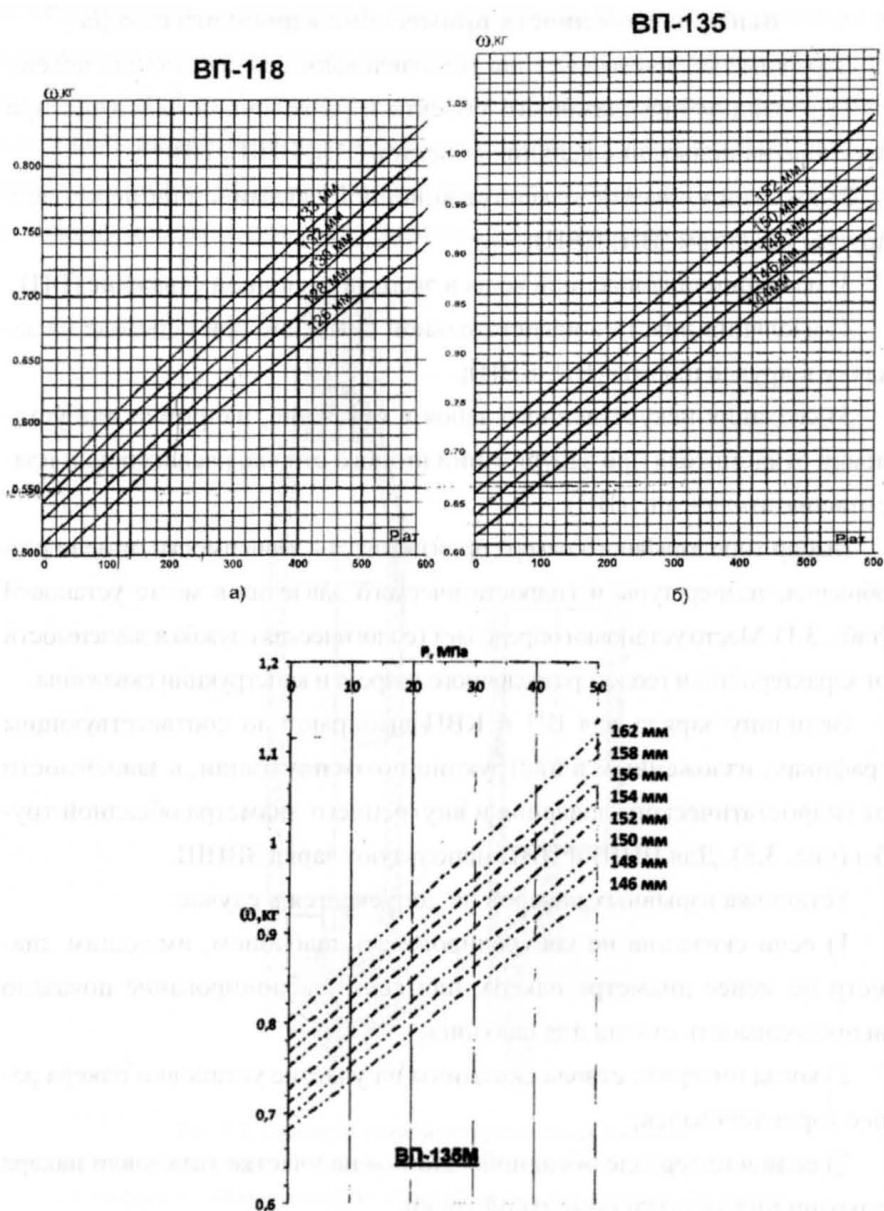


Рис. 3.8. Зависимость массы заряда пороха для пакеров ВП-118, ВП-135 и ВП-135М от гидростатического давления и диаметра скважины

ГЛАВА 4. ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ (ТОРПЕДИРОВАНИЕ)

§ 1. Применение взрыва при ликвидации аварий в бурении

Бурение – самый дорогостоящий вид работ в цикле разведка-добыча нефти и газа. Ежегодно бурятся тысячи скважин, и средняя глубина их растет. С увеличением глубины усложняется проходка и удорожается стоимость скважины. Бурение зачастую сопровождается осложнениями и авариями. В районах со сложными условиями бурения потери от них могут достигать 8 % от стоимости скважин. Успешное использование взрыва для ликвидации аварий способно дать и дает большой положительный эффект бурящим организациям, сокращая непроизводительные расходы при ликвидации аварий.

Применение взрывных и импульсных процессов для этой цели выгодно отличается от других способов, используемых в скважинах. Более того, это часто единственное средство ликвидации аварии. В самом деле, усилия, которые нужно приложить к колонне для преодоления сил, препятствующих выполнению конкретной операции, обычно велики, возможности же передачи энергии в эту зону с земной поверхности ограничены. Если, например, речь идет о «выдергивании» прихваченных труб усилием, прикладываемым на земной поверхности, то ограничивающими факторами, кроме мощности оборудования, будет прочность труб и вышки. Известны случаи, когда во время ликвидации аварий при превышении допустимых нагрузок рвались трубы и даже повреждались вышки. Кроме того, при ликвидации аварий часто важен сам факт начального



сдвига оборудования, находящегося в скважине, после чего последующий подъем упрощается. Такой сдвиг, как правило, требует реализации большой мощности. Наконец, отдельные способы ликвидации аварий нуждаются в выполнении таких операций, как создание отверстий в трубах, разрушение крупных металлических деталей в скважине и других, предполагающих осуществление мощных воздействий на объект.

Указанным требованиям хорошо удовлетворяют ВВ благодаря компактной форме (заряд), в которой транспортируется энергия к месту применения, удобству доставки и реализации, высокой мощности, развиваемой при горении и взрыве. Кроме того, специфическая возможность транспортировки энергии взрыва через среду, окружающую заряд, в форме ударной волны позволяет осуществлять воздействие и на удаленные объекты скважины, в частности на находящиеся в затрубном пространстве, причем и в таком варианте, при котором трубы, несмотря на происходящий в них взрыв, остаются целыми. Последнее открывает большие возможности использования взрыва для ликвидации аварий в скважинах.

Однако использование взрыва как средства ликвидации аварий часто встречает препятствия, главные из которых – сложные условия в скважине (зоне работы). У каждого заряда есть предельная температура применения, выше которой возникает тепловой взрыв. Это первое ограничение. Оно касается также и давления, затрудняющего применение ВВ в изделиях, когда используются негерметичные, а в некоторых случаях и герметичные заряды. Конструкции скважины, бурильной колонны, конкретных устройств, например, лубрикаторов, также могут ограничить использование взрывной аппаратуры и взрыва, в частности из-за того, что проходное отверстие в них не позволяет спустить изделия в скважину.

Естественно, все это влияет на характер операций, которые можно проводить с использованием взрыва в конкретных скважинах, и ограничивает круг задач, которые могут с его помощью решаться.

До сих пор использование взрыва связывалось только с вопросами ликвидации аварий. Однако при бурении маломощными станками валуны или участки труднобуримой породы, например окремнелых известняков, могут стать заметным препятствием на пути долота и коронки. Тогда энергия взрывчатого вещества может быть использована для разрушения валунов и ускорения бурения пропластков путем их предварительного пробития кумулятивной струей или пулей. Опыты показали, что заряд ЗПК-105 с массой ВВ 50 г разрушает валун размером до 8 дм, а на участке пробития пропластка на глубину до 3 дм обеспечивает многократное ускорение его разбуривания буровым инструментом.

Попытки вести бурение скважин серией взрывов небольших зарядов, осуществляемых на забое, показали, что, хотя процесс технически осуществим, сам метод из-за сложности технологии не выдерживает конкуренции с существующими способами бурения скважин.

§ 2. Разрушение аварийного металла на забое и ускорение бурения скважины

Распространенной аварией в бурении является оставление в скважинах шарошек, долот, переходников и других металлических предметов или их случайное падение в ствол с земной поверхности. Аварии обычно сложные, в отдельных случаях приводят к ликвидации скважин. Сравнительно небольшие металлические предметы и куски металла могут быть извлечены с помощью магнитов, «пауков», депрессионных (имплозивных) ловителей и другого инструмента, имеющегося в распоряжении буровых организаций. Иногда его просто уничтожают разбуриванием, хотя это может потребовать значительных затрат времени и расхода бурового инструмента. Объектом разрушения может стать и оборудование, применяемое при исследовании скважины и оставленное в ней. Главная цель взрыва при ликвидации подобных аварий – разрушение металла на более мелкие



куски, удобные для последующего извлечения. Самостоятельная задача – сбивание застрявших в стволе металлических предметов на забой. Метание взрывом аварийного металла или его обломков в породу за пределы ствола, иногда в сочетании с последующим закреплением его в этом положении, также применяется, хотя и не всегда сознательно, при ликвидации аварии.

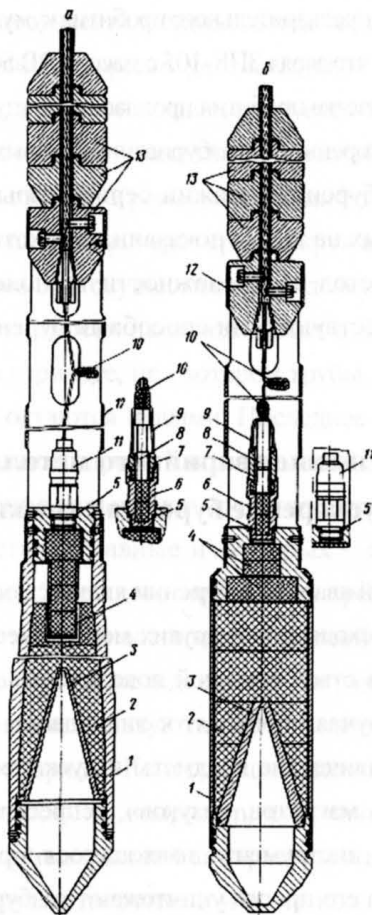


Рис. 4.1. Торпеды кумулятивные осевого действия

- а – ТКО120-1 (справа показан вариант инициирования взрывным патроном типа ПГ),
б – ТКОТ120 (справа показан вариант инициирования взрывателем В-473А); 1 – корпус;
2 – заряд ВВ; 3 – кумулятивная воронка; 4 – дополнительный заряд ВВ; 5 – прокладка; 6 – боевик;
7 – втулка; 8 – взрывной патрон типа ПГ; 9 – проволока; 10 – изоляционная лента;
11 – взрыватель В-473А; 12 – переходник; 13 – груз

Ранее для разрушения металла широко применялись фугасные заряды. Заряд взрывчатого вещества, чаще цилиндрический, опускался на металл в скважину и взрывался. Поскольку для разрушения используется бризантное действие взрыва, основной эффект торпедирования связан с той частью заряда, которая примыкает к заряду. В настоящее время для разрушения аварийного металла применяют торпеды кумулятивные осевые (ТКО).

Торпеды кумулятивные осевого действия типа ТКО и термостойкие типа ТКОТ (рис. 4.1, табл. 4.1) предназначены для разрушения металлических предметов, упавших в скважину с земной поверхности, либо оставленных в стволе скважины долот и их частей, муфт, трубных переводников и других элементов бурового оборудования, препятствующих бурению. Части и осколки разрушенных взрывом металлических предметов извлекают на поверхность магнитными ловителями, шламометаллоуловителями с наружным улавливанием, ловителями механического, гидромеханического, гидравлического и имплозийного действия или разрушают на забое путем фрезерования.

Торпеда кумулятивная осевая представляет собой кумулятивный заряд, помещенный в герметичный, в ряде изделий передающий часть нагрузки на ВВ, корпус. Взрывается взрывным патроном, устанавливаемым в ее хвостовой части, при спуске на кабеле и специальным наконечным устройством при спуске на трубах. При спуске торпеды на кабеле над ней размещают груз.

Завод-изготовитель поставляет торпеды снаряженными без средств инициирования в комплекте с деталями, обеспечивающими спуск торпед в скважину на геофизическом кабеле. Разборка торпед запрещена. Окончательное заряжание торпед – установку средства инициирования – производят непосредственно перед спуском в скважину.

Область использования торпед типа ТКО расширена их группированием. Для спуска в скважину и обеспечения одновременного подрыва



Таблица 4.1

Торпеды кумулятивные осевого действия

Показатели	ТКО-120-1	ТКО-70-1	ТКОТ170-1000-150	ТКОТ160-800/150	ТКОТ38-800/150
Максимальный наружный диаметр прибора, мм	120	72	72	61	38
Максимально допустимое давление, МПа	60	80	100	80	80
Максимально допустимая температура, °С	120	150	150	150	150
Диаметр заряда ВВ, мм	100	66	66	55	35
Масса заряда ВВ, кг	2,2	0,9	0,9	0,6	0,12
Средняя плотность торпеды, г/см					
- без груза	1,8	1,5	1,6	5,5	1,6
- с грузом	4,3	4,2	4,2	4,2	4,2
Длина торпеды, мм	562	400	400	398	336
Масса торпеды, кг					
- без груза	8,2	2,1	2,6	1,5	0,7
- с грузом	28,5	8,7	9,3	8,3	3,2

трех торпед ТКО120-1 и ТКО70-1 применяют головки кассетные ГК260 и ГК180 (рис. 4.2, табл. 4.2). 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 средства инициирования.

Торпеды типа ТКО, ТКОТ120 и кассетные головки можно спускать в скважину на кабеле и на бурильных трубах. Для крепления к кабелю и облегчения спуска в скважину на торпеду или кассетную головку через специальный тонкостенный переходник устанавливают груз.

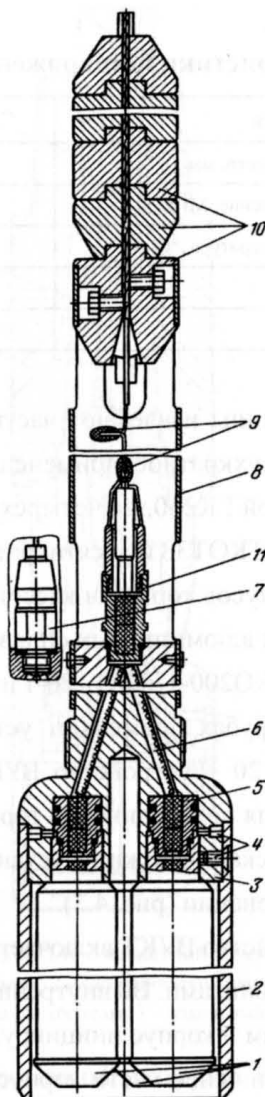


Рис. 4.2. Головка кассетная типа ГК180 на кабеле с тремя торпедами типа ТК070-1 или ТК070

1 – торпеды; 2 – кожух; 3 – корпус головки; 4 – винты крепления;

5 – втулка с двумя дополнительными шашками и резиновыми уплотнениями;

6 – детонирующий шнур; 7 – взрыватель В-473А; 8 – переходник; 9 – изоляционная лента;

10 – груз; 11 – боевик с взрывным патроном типа ПГ



Таблица 4.2

Технические характеристики неснаряженных кассетных головок

Показатели	ГК260	ГК180
Максимальный наружный диаметр, мм	260	180
Максимально допустимое давление, МПа	80	80
Максимально допустимая температура, °С	150	150
Длина, мм	295	482
Масса, кг	13	12

После взрыва из скважины извлекают часть переходника и груз, который рассчитан на двухкратное 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 легко разбуриваемых алюминиевых сплавов.

При спуске торпед ТКО200-1, ТКО 120-1 и кассетных головок ГК260, ГК180 на бурильных трубах применяют устройство ВУКТ146, а при спуске торпеды ТКОТ120 – устройство ВУКТ146А. Устройства типа ВУКТ предназначены для подсоединения торпед и кассетных головок к бурильным трубам, спуска в скважину, установки на разрушаемый металл и возбуждения детонации (рис. 4.3).

Неснаряженное устройство ВУКТ включает корпус и переходник, соединенные между собой винтами. Во внутренней полости корпуса размещен наковальный механизм и корпус инициирующего узла с центратором капсуля-детонатора. В нижней части корпуса над переходником установлена диафрагма, а в верхней – поршень-ударник и предохранительная обойма. Для приведения в действие наковального механизма в комплект поставки устройства входит стальной шар диаметром 42 ± 2 мм.

Посадку торпед непосредственно на разрушаемый металл обеспечивают путем промывки ствола и забоя скважины и передачи осевого

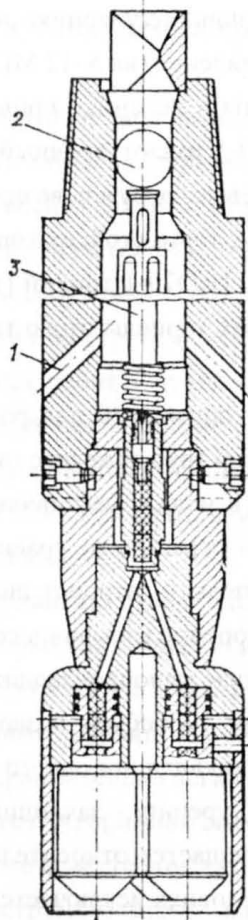


Рис. 4.3. Устройство типа ВУКТ146 с кассетной головкой и тремя торпедами
1 – отверстия для промывки скважины; 2 – металлический шарик, сбрасываемый в скважину
для инициирования торпеды; 3 – наконечный механизм

усилия на торпеду при частичной разгрузке бурильной колонны на величину, не превышающую 105 Н. Промывку следует проводить до установления постоянной величины разгрузки. Изменение ее указывает на наличие шлама между торпедой и металлом. Когда торпеда установлена на металл, в колонну труб бросают стальной шар. Последний вместе с потоком промывочной жидкости достигает корпуса ВУКТ и



перекрывает отверстие в поршне-ударнике над взрывателем. После этого за счет повышения давления (на 5–12 МПа) над шаром срезаются предохранительные штифты и механизм приводится в действие. Торпеды ТКО200-1 и ТКО120-1 имеют прочный корпус (толщиной 12–15 мм). Он рассчитан на осевые нагрузки, возникающие при спуске их в скважину на трубах. Корпус термостойких торпед ТК0Т120, ТК0Т70, ТК0Т38, а также торпеды ТКО70-1 тонкий (толщиной 1–3 мм). При спуске на бурильных трубах торпеды этого типа следует помещать в специальный кожух.

Иногда ТКО пытаются применить для разрушения протяженных по длине объектов, например труб тяжелого низа, оставленных в скважинах. Это неблагоприятная и малоэффективная работа, поскольку действие кумулятивной струи ограничено сравнительно небольшим по длине расстоянием от торпеды и затронет лишь верхнюю часть объекта. А многократное повторение взрывов в сочетании с обязательной очисткой ствола в этом случае малопродуктивно.

Специфика конструкции турбобура позволила найти оригинальное применение ТКО для ликвидации одного из видов аварий, встречающихся при турбинном бурении, – заклинивания долота. Благодаря тому что вал турбобура вращается относительно колонны в опорном подшипнике, в обычных условиях исключается возможность передачи вращающегося момента на долото от ротора через бурильную колонну. Спуск и подрыв небольшой торпеды на торце вала турбобура позволяют расклинить его в подшипнике, что делает жесткой связь турбобура с колонной и обеспечивает передачу вращающих усилий с земной поверхности к долоту. Зарегистрированы случаи успешной ликвидации аварий этим методом.

§ 3. Профилактика и ликвидация прихватов в скважинах

Наиболее распространенный вид аварий в бурении – прихваты. Аварии могут принимать тяжелые формы и сопровождаться потерей части ствола, а иногда и всей скважины. Помимо геолого-технических условий, в которых осуществляется бурение, большое значение имеет общая культура выполнения буровых работ в районе, поскольку многие аварии не имели бы места при строгом соблюдении режимов бурения. Высокая культура буровых работ – лучшая профилактика прихватов. Однако и геофизики могут оказать помощь буровым организациям, предупредив их о прихватоопасной ситуации в скважине в связи с возникновением желобов, и ликвидировать или уменьшить ее путем расширения взрывом входа в желоба.

При бурении из-за кривизны ствола колонна, лежащая на одной из его стенок, за счет вращения труб и их движения при спуско-подъемных операциях протирает в породе желоб. Протирание идет интенсивнее при роторном бурении и в мягких породах, где желоб может образовываться сравнительно легко. В твердых породах желоб практически не образуется. Аварийная ситуация возникает в результате того, что при подъеме в месте контакта пород разной прочности при наличии желоба инструмент может заклиниваться. Чем больше время бурения и глубже желоб, тем сильнее при подъемах заклинивает инструмент. Эти симптомы надвигающейся аварии хорошо знают буровики. Для создания более плавного выхода инструмента участок заклинивания можно расширить взрывом, разрушив при этом часть породы, окружающей желоб. На рис. 4.4 показано положение заряда 1 и разрушение породы 2 при взрыве.

Диаметр заряда, который удобно набирать из шашек торпед ТШТ и ТШ, составляет 0,2–0,4 диаметра скважины (D_c). Большой разброс в размерах рекомендуемых зарядов объясняется тем, что свойства разру-



шаемой породы и глубины, на которых выполняются работы в скважинах, сильно различаются. При проведении работ в конкретном районе выбор диаметра заряда может быть уточнен по результатам предыдущих торпедирований. Практика показала, что использование взрыва для расширения места выхода из желоба позволяет в ряде случаев на некоторое время устранить или ослабить затяжки инструмента при его подъеме из скважины.

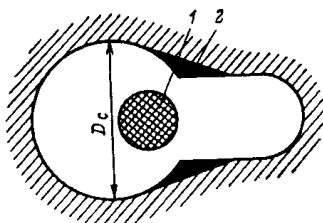


Рис. 4.4. Схема разрушения входа в желоб взрывом

Причины прихватов разнообразны: прижатие бурильной колонны к стенке скважины из-за перепада давления, обвал породы, заклинивание долота и многие другие. Условия, сложившиеся в скважине в ходе бурения, определяют характер прихвата.

Для ликвидации прихватов труб в скважинах могут применяться следующие взрывные методы.

1. Отвинчивание труб в резьбовых соединениях в верхней зоне прихвата или над ней с применением торпеды, не повреждающей трубы при взрыве.

Метод основан на кратковременном ослаблении при взрыве резьбовых соединений труб. Если при этом соединение разгружено от массы расположенных выше труб и к колонне труб приложен обратный вращающий момент, то колонна проворачивается в резьбовом соединении и может быть разъединена.

Применение взрыва позволяет освободить часть прихваченных труб. Все трубы колонны можно освободить путем последовательного

отвинчивания с помощью взрывов на разных глубинах (сверху вниз) в сочетании с расхаживанием колонны и промывкой затрубного пространства через разъединенную колонну.

2. Встряхивание труб с помощью взрыва торпеды, установленной в трубах против зоны прихвата или над долотом. Заряд торпеды выбирается таким, чтобы его взрыв не повреждал трубы.

При взрыве торпеды образуется ударная волна, распространяющаяся в затрубную среду и вызывающая движение материала, образовавшего прихват, от стенок труб, вследствие чего происходит ослабление сцепления колонны с затрубной средой. При прилипании труб – прижатии к стенке скважины, вызванном перепадом давления в скважине и пласте, взрыв может способствовать кратковременному выравниванию давления вокруг трубы и снятию перепада. Если к колонне труб будут приложены осевое или вращающее усилие, либо то и другое вместе, то произойдет ее перемещение, что облегчит последующее извлечение труб. В благоприятных условиях метод позволяет освободить все трубы, т.е. полностью ликвидировать прихват, чему способствует оперативное применение метода.

3. Обрыв труб взрывом торпеды или перерезание их кумулятивным труборезом, установленными в верхней зоне прихвата или над ней. Взрыв, производимый одновременно с натягом труб, обрывает или перерезает их и позволяет поднять верхнюю часть колонны.

4. Комбинирование взрывных методов с другими способами ликвидации прихватов (ваннами, офрезерованием, отвинчиванием трубами с левой резьбой и т.д.).

Для проведения работ с целью отвинчивания и встряхивания труб в скважинах применяются торпеды ТДШ из детонирующего шнура и малогабаритные шашечные торпеды ТШТ.

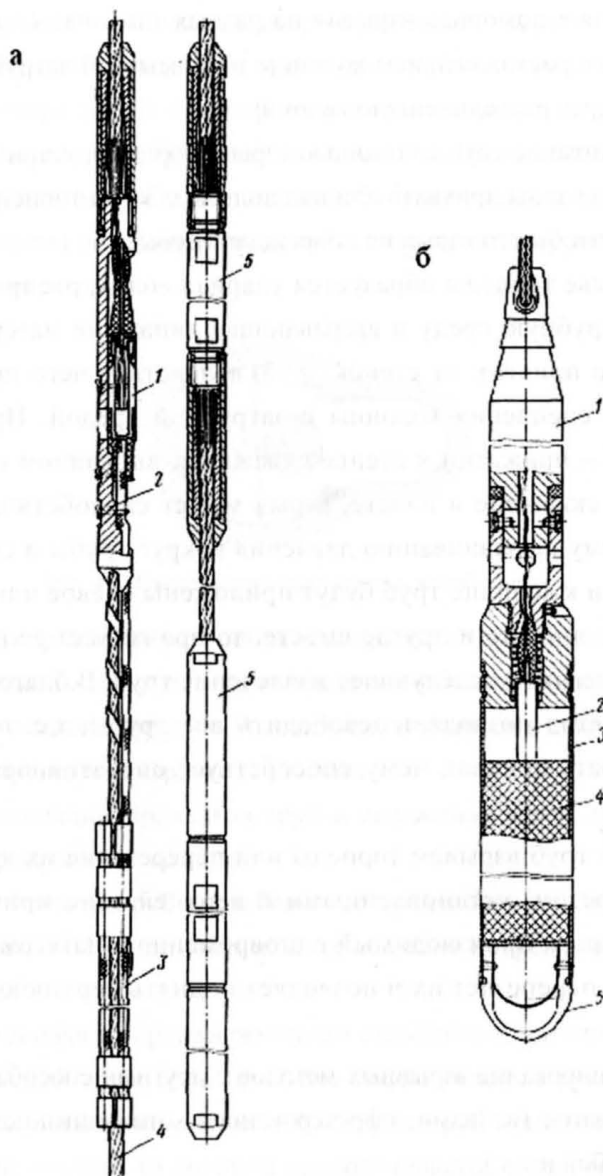


Рис. 4.5. Фугасные торпеды

а – торпеда типа ТДШ25: 1 – взрывной патрон; 2 – держатель; 3 – детонирующие шнуры;
4 – трос; 5 – груз;

б – торпеда типа ТШТ: 1 – груз; 2 – взрывной патрон; 3 – корпус; 4 – заряд ВВ; 5 – наконечник

Таблица 4.3

Технические характеристики фугасных торпед

Показатели	Торпеды шнуровые		Торпеды шашечные						
	ТДШ-25	ТДШ-50	ТШТ 20/22	ТШТ 25/28	ТШТ 35/40	ТШТ 43/48	ТШТ 50/55	ТШТ 65/70	ТШТ 84/90
Максимальный наружный диаметр прибора, мм	26	50	22	28	40	48	55	70	90
Перерезаемый (встряхиваемый) инструмент: НКТ, мм	73	73	48	48	60	73	89	102	114
Бурильный инструмент, мм			60	73	89	102	114	127	140
Обсадная колонна, мм					114	114	140	140	140
Максимально допустимое давление, МПа	100	100	150	150	150	150	150	150	150
Максимально допустимая температура.	100	100	220	220	220	220	220	220	220
Диаметр заряда ВВ, мм	-	-	20	25	35	43	50	65	84
Масса заряда ВВ, кг	-	-	0,25	0,55	1,08	1,62	2,2	2,65	4,91
Средняя плотность торпеды, г/см ³									
- без груза	3,2	3,6							
- с грузом	4,8	4,8							
Длина торпеды, мм	4-100	4-100	1 780	1 930	1 870	1 703	1 502	1 502	1 682
Масса торпеды, кг	30	42	2,9	3,6	11,9	13,9	143	15,5	17,8

Торпеды ТДШ (рис. 4.5, табл. 4.3) состоят из головки (держателя) и груза, соединенных тросом, к которому прикреплен заряд, представляющий собой один или несколько отрезков детонирующего шнура. Торпеды спускаются в скважину на каротажном кабеле. Взрыв их осуществляют электрическим импульсом, подаваемым к электродетонатору по тому же кабелю. После взрыва вместе с кабелем на поверхность извлекают головку (держатель), трос и груз, которые используют многократно.

Для обрыва бурильных труб применяют серийно выпускаемые торпеды ТШТ и кумулятивные труборезы ТРК.



Торпеды ТШТ (рис. 4.5, табл. 4.3) имеют негерметичный тонкостенный алюминиевый корпус, в котором помещены заряд из цилиндрических шашек ВВ, контактирующих с промывочной жидкостью, и герметичный взрывной патрон. Сверху над торпедой установлен груз. Фугасные торпеды ТШТ снаряжаются непосредственно на скважине; корпус торпеды, взрывной патрон и заряд привозят в отдельной таре. Патрон присоединяется к боевой цепи в последнюю очередь.

Кумулятивные труборезы ТРК (рис. 4.6, табл. 4.4) предназначены для перерезания прихваченных насосно-компрессорных, обсадных и бурильных труб, имеющих гладкое проходное отверстие. Они не пригодны для перерезания труб, имеющих внутри высаженные концы. Кумулятивный труборез ТРК состоит из прочного герметичного корпуса, снаряженного кольцевым кумулятивным зарядом и электродетонатором. Для облегчения спуска в скважину ТРК снабжен грузом, который соединен с корпусом двумя винтами. При детонации заряда образуется кольцевая кумулятивная струя, движущаяся в горизонтальной плоскости. Встретив преграду (стенка корпуса трубореза – промывочная жидкость – перерезаемая труба), кумулятивная струя пробивает ее. Незначительная масса заряда позволяет свести к минимуму фугасное действие взрыва, что важно для сохранности других объектов, находящихся в зоне трубореза.

Например, при довольно распространенном случае прихвата насосно-компрессорных труб при цементировании обсадной колонны применение трубореза ТРК45 (масса заряда 10,5 г) позволяет, перерезав трубы, сохранить обсадную колонну практически целой. Перерезание обсадных колонн труборезом с целью их извлечения вследствие меньшего раздутия труб предпочтительнее обрыва фугасным зарядом. Заметим также, что если кольцевая струя трубореза в состоянии лишь надрезать трубу, то последующий взрыв в этом месте торпеды с меньшей, чем в обычном варианте, массой ВВ может завершить разъединение.

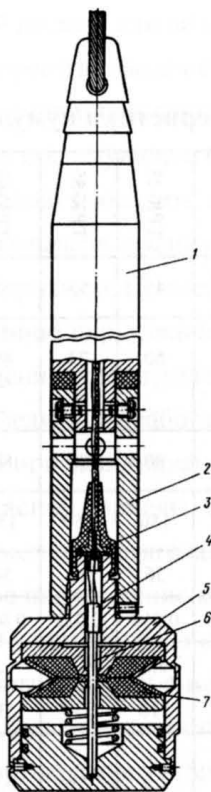


Рис. 4.6. Кумулятивный труборез типа ТРК

1 – груз; 2 – переходник; 3 – электроввод; 4 – электродетонатор; 5 – корпус;
6 – детонирующий шнур; 7 – кольцевой кумулятивный заряд

Иногда при отсутствии серийных торпед возможно использование своеобразных «катушечных» торпед для разъединения колонны, которые при необходимости могут быть изготовлены на месте. Известно, что бризантное действие взрыва, больше всего интересующее нас при обрыве труб, реализуется на близких расстояниях от заряда. Наматыв на своеобразную катушку в два-три ряда на участке 15–20 см детонирующий шнур так, чтобы внешний слой шнура находился на минимальном расстоянии от стенки трубы, можно изготовить заряд сравнительно небольшой по массе, но обладающий достаточным бризантным



Таблица 4.4

Технические характеристики кумулятивных труборезов

Показатели	ТРК-45	ТРК-55	ТРК-68	ТРК-85	ТРК-90	ТРК-110	ТРК-118
Максимальный наружный диаметр прибора, мм	45	55	68	85	90	110	118
Перерезаемый инструмент: НКТ, мм	60	73	89	-	-	-	-
Бурильный инструмент, мм	-	-	-	114	-	-	-
Обсадная колонна, мм	-	-	-	-	114	140	146
Максимально допустимое давление, МПа	80	80	80	80	80	80	80
Максимально допустимая температура, °С	150	150	150	150	150	150	150
Диаметр заряда ВВ, мм	36	44	54	72	72	90	98
Масса заряда ВВ, кг	0,010	0,022	0,036	0,081	0,081	0,08	0,125
Средняя плотность торпеды, г/см ³	6,6	6,4	6,2	6	5,8	6	6,2
Длина торпеды, мм	210	230	235	250	255	250	260
Масса торпеды, кг - без груза - с грузом	1,9 12,4	2,6 14,8	3,9 17,1	5,1 17,4	6 18,3	7,5	6

действием для обрыва трубы. Удобство такой торпеды в том, что ее несложно изготовить для любого размера труб, встречающихся при работах в скважинах.

§ 4. Выбор заряда при отвинчивании, встряхивании и обрыве труб

Выяснив причину возникновения прихвата, определив его верхнюю границу и убедившись, что расхаживание труб и другие оперативные

меры по ликвидации аварий не дали или не могут дать желаемого эффекта, прежде всего решают вопрос о возможности использования встряхивания. Этот способ в случае удачного применения позволяет ликвидировать прихват труб без ущерба для последующего бурения скважины.

Встряхивание целесообразно проводить в тех случаях, когда прошло сравнительно мало времени с начала аварии и когда длина торпеды может полностью перекрыть зону прихвата. Применение «встряхивания» может способствовать восстановлению циркуляции раствора. Операция не требует большой затраты времени и при неудаче в большинстве случаев не осложняет выполнения последующих работ по ликвидации аварии.

Для ликвидации аварий при заклинивании долота можно использовать взрыв небольшой фугасной торпеды, спущенной к долоту. Взрыв производится при одновременном натяге колонны. Можно брать заряд, вызывающий ограниченное повреждение колонны в месте взрыва.

При невозможности или нецелесообразности применения встряхивания рационально отвинчивать колонну с использованием взрыва. Этот способ во многих случаях дает возможность освободить все трубы или большую их часть путем многократного отвинчивания в сочетании с промывкой через разъединенную колонну труб на разных глубинах (сверху вниз). Для определения этих глубин используется прихватаопредетель. Отвинчивание и промывка способствуют перемещению границы зоны прихвата за счет снятия удерживающих усилий в верхней зоне прихвата. Отвинчивание взрывом упрощает операцию разъединения колонны, устраняет опасность неуправляемого разворота труб, что иногда наблюдается при использовании труб с левой резьбой, и позволяет точно связать место отвинчивания с местонахождением торпеды в колонне.

Обрыв труб с целью освобождения свободной части колонны должен применяться как последняя мера и лишь тогда, когда другие способы не дали или не могут дать желаемого эффекта или их применение по каким-то причинам невозможно или экономически нецелесообразно. При этом в



трубах с гладким проходным отверстием во всех случаях, когда позволяют параметры скважины, необходимо применять кумулятивные труборезы, и только при их отсутствии используют фугасные торпеды ТШ или ТШТ.

Точное определение величины заряда является основой успеха работы по ликвидации аварий. Неправильный выбор может осложнить аварию, вызвав нежелательные повреждения труб. Для выбора зарядов используются номограммы, предложенные Е.А. Левиным.

Торпеды для отвинчивания и встряхивания труб. Заряд торпед ТДШ составляют из различного числа ниток детонирующего шнура, связывая их в пучок. Заряд торпеды должен гарантировать сохранность труб при взрыве и в то же время обеспечивать заданный эффект.

Величину заряда торпеды ТДШ (число ниток детонирующего шнура марки ДШВ) определяют по номограммам рис. 4.7–4.9. Полученная по номограммам величина заряда гарантирует сохранность трубы при взрыве. Трещины в стальных трубах появляются при увеличении заряда в 4 раза, а в трубах из алюминиевого сплава Д16Т – в 3 раза.

Пересчет числа ниток ДШВ n на число ниток детонирующего шнура другой марки производят по формуле

$$n_1 = \frac{13n}{\gamma_1}, \quad (4.1)$$

где n_1 , γ_1 – соответственно число ниток и линейная плотность ВВ детонирующего шнура другой марки из того же ВВ.

При выборе величины заряда торпеды следует также учитывать свойства промывочной жидкости. Заряд рекомендуется увеличить в s раз. Значения коэффициента s , учитывающего свойства среды, приведены в таблице 4.5. Следует помнить, что при повторном взрыве в той же зоне зарядом такой же величины происходит удвоение деформации, а при значении относительной остаточной деформации 0,04 может произойти нарушение сплошности трубы с образованием трещин.

Длина торпеды для отвинчивания выбирается такой, чтобы гарантиро-

вать установку заряда по крайней мере против одного резьбового соединения. При использовании локатора муфт длина торпеды может быть равной 1–2 м. Если торпеду применяют для «встряхивания», то длину ее выбирают в соответствии с зонами прихвата, но с таким расчетом, чтобы общая масса заряда не превышала 5 кг.

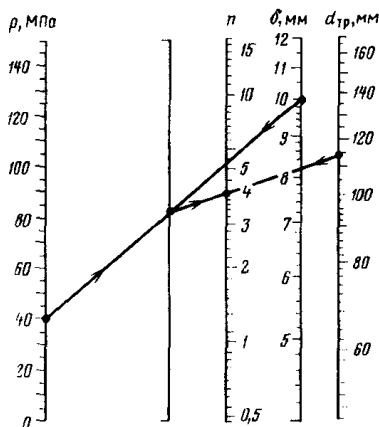


Рис. 4.7. Номограмма для определения числа ниток шнура торпеды типа ТДШ при ликвидации прихвата стальных бурильных труб

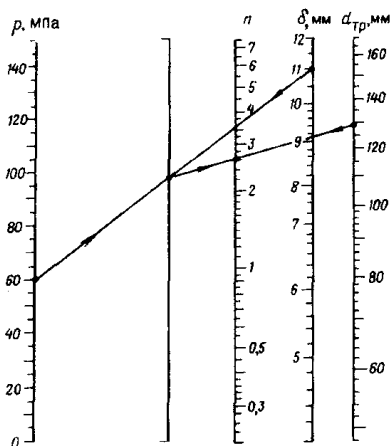


Рис. 4.8. Номограмма для определения заряда торпеды ТДШ при ликвидации прихватов труб из алюминиевого сплава Д16Т

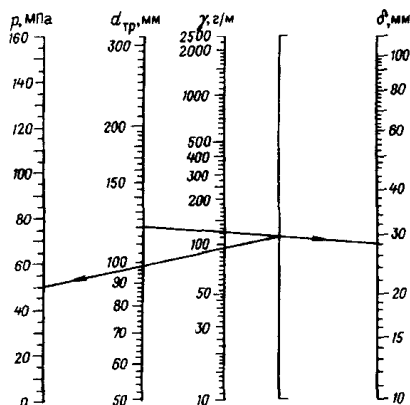


Рис. 4.9. Номограмма для определения заряда торпеды ТДШ при ликвидации прихватов утяжеленных буровых труб

Таблица 4.5

Значение коэффициента c в зависимости от свойств среды

Промывочная жидкость	Плотность, г/см ³	Вязкость по СПВ-5, с	c
Вода	1	-	1
Промывочная жидкость:			
необработанная	1,26	до 60	1,10
обработанная и утяжеленная	1,50	до 100	1,20
то же	1,50	200	1,25
то же	2,00	до 100	1,25
то же	2,00	200	1,40

Торпеды для обрыва труб. Диаметр заряда торпеды ТШТ из флегматизированного гексогена или состава ГФГ-2 (плотность 1,6 г/см³) при длине заряда не менее четырех внутренних диаметров трубы определяют по номограммам рис.4.10–4.13. Для пересчета полученного диаметра на диаметр заряда из составов ГНДС или НТФА необходимо полученное по номограммам значение умножить на 1,2. Диаметр заряда для разъединения буровых труб в замковом соединении в 1,5, а муфтовом в 1,75 раза меньше, чем для обрыва труб. При этом извлечение труб облегчается, так как резьбовая часть почти не образует «паука».

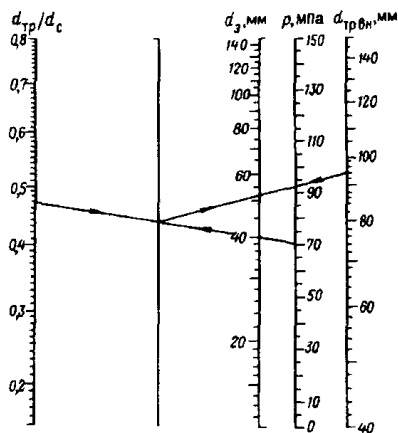


Рис. 4.10. Номограмма для определения диаметра заряда торпеды ТШТ для обрыва стальных бурильных труб в интервале, не закрепленном обсадными трубами

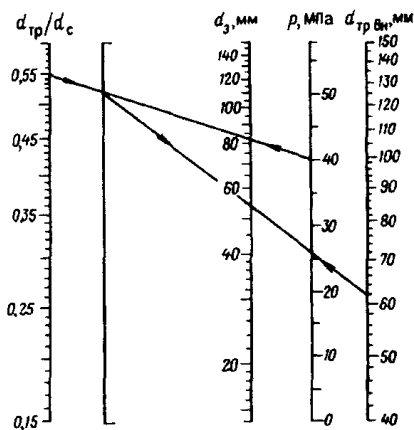


Рис. 4.11. Номограмма для определения диаметра заряда торпеды ТШТ для обрыва стальных бурильных труб в интервале, закрепленном обсадными трубами

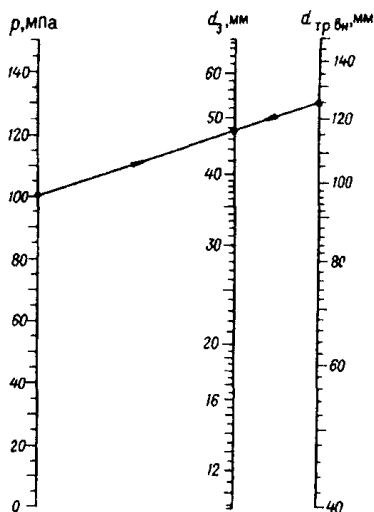


Рис. 4.12. Номограмма для определения диаметра заряда торпеды ТШТ для обрыва буровых труб из алюминиевого сплава Д16Т

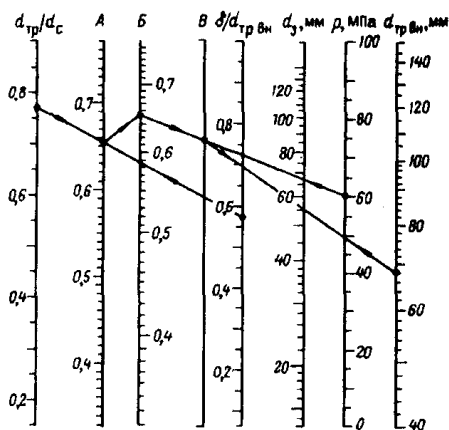


Рис. 4.13. Номограмма для определения диаметра заряда торпеды ТШТ для обрыва утяжеленных буровых труб

§ 5. Порядок проведения работ при ликвидации прихвата труб

Подготовительные работы

Перед проведением работ по ликвидации прихвата труб необходимо:

- а) наметить место установки торпеды с учетом результатов определения верхней границы прихвата и конкретных условий в скважине. Как правило, например, нецелесообразно проводить отвинчивание в зоне каверн, так как это может усложнить последующие работы по ликвидации аварии. Могут быть и другие причины, по которым место установки торпеды выбирается не на границе зоны прихвата, а несколько выше;
- б) проверить исправность бурового оборудования, талевой системы, элеватора, роторной цепи, ротора, стопорного устройства, клиновых захватов;
- в) закрепить резьбовые соединения труб;
- г) провести шаблонирование скважины (шаблон должен иметь диаметр и длину, а по возможности и конфигурацию, аналогичные таковым у применяемой торпеды);
- д) подготовить скважину к выполнению в ней взрывных работ в соответствии с действующими требованиями.

Отвинчивание труб

При отвинчивании труб после подготовительных работ необходимо выполнить следующие операции:

- а) собрать торпеду (заряд монтировать на отдельной «косе» – отрезке кабеля или троса), подсоединить ее к кабелю, пропущенному через подвесной блок-баланс, опустить в скважину и установить в намеченном интервале против резьбового соединения прихваченных труб;
- б) разгрузить резьбовое соединение, намеченное для отвинчивания, от веса верхней части труб; натянутые трубы посадить на трубные клинья. Трубные клинья связать между собой и надежно прикрепить к трубе;
- в) приложить к трубам обратный вращающий момент (против часо-



вой стрелки для труб с правой резьбой), равный $1/3$, но не более $1/2$ от закручивающего момента, и застопорить ротор. Необходимое число оборотов ротора m в зависимости от диаметра и длины свободной части трубы l определить по графику рис. 4.14;

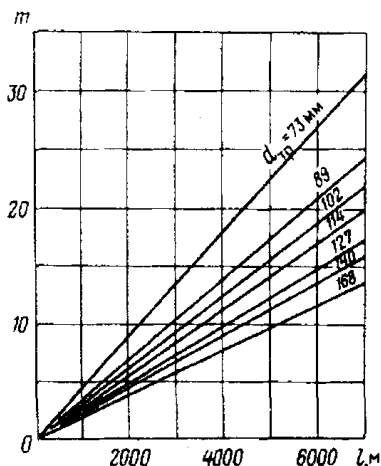


Рис. 4.14. График для определения числа оборотов ротора при обратном вращении

г) произвести взрыв торпеды;

д) освободить ротор от стопора, поднять из скважины кабель с остовом торпеды;

е) при необходимости произвести полное отвинчивание труб.

При проведении последовательного отвинчивания выполняют следующие дополнительные операции:

а) промывают затрубное пространство через разъединенную колонну труб без ее подъема или, если не удастся продавить раствор, с подъемом одной или нескольких труб;

б) колонну свинчивают;

в) снова определяют верхнюю зону прихвата;

г) проводят все операции по отвинчиванию на глубине, где прибором определена новая верхняя граница зоны прихвата;

д) после разъединения колонны труб на новой глубине все опера-

ции повторяют (промывку, отвинчивание, определение верхней зоны прихвата и новое отвинчивание на большей глубине до тех пор, пока не будут освобождены все трубы или большая их часть); если при проведении работ с прихватоопределителем существует опасность увеличения зоны прихвата за счет прижатия труб перепадом гидростатического давления, то необходимо периодически проводить расхаживание труб;

е) работы по отвинчиванию могут проводиться в комплексе с обуриванием прихваченных труб.

Встряхивание труб

При проведении встряхивания труб после подготовительных работ необходимо выполнять следующие операции:

а) собрать торпеду (заряд монтировать на отдельной «косе» – отрезке кабеля или троса), подсоединить ее к кабелю, пропущенному через подвесной блок-баланс, опустить в скважину и установить в намеченном интервале против всей зоны прихвата (или над долотом при его заклинивании);

б) произвести натяжку труб максимально допустимым усилием. Можно приложить и «пружину» в сторону затяжки резьбы. Натянутые трубы посадить на трубные клинья. Трубные клинья связать между собой и надежно прикрепить к трубе;

в) произвести взрыв торпеды;

г) поднять из скважины кабель с остовом торпеды;

д) поднять колонну труб, иногда после расхаживания.

Обрыв труб

При ведении работ по обрыву труб после подготовительных работ, необходимо выполнить следующие операции:

а) собрать торпеду (кумулятивный труборез), подсоединять ее к кабелю,



пропущенному через подвесной блок-баланс, опустить в скважину и установить в заданном интервале (желательно против резьбового соединения труб);

б) произвести натяжку труб максимально допустимым усилием. Натянутые трубы посадить на трубные клинья. Трубные клинья связать между собой и надежно прикрепить к трубе;

в) произвести взрыв торпеды (кумулятивного трубореза);

г) поднять из скважины кабель с грузом торпеды (кумулятивного трубореза);

д) поднять колонну труб, иногда после расхаживания.

§ 6. Другие методы использования взрыва при ликвидации аварий

Когда при прихватах бурильных труб наблюдается потеря циркуляции, для ее восстановления (если сохраняется возможность спуска перфоратора в бурильную колонну) может быть использована кумулятивная перфорация.

Для ликвидации прихватов может представлять известный интерес сжигание пороховых зарядов, спущенных в колонну бурильных труб. Высокое давление, возникающее в зоне размещения заряда при его сгорании, способно вызвать сжатие и интенсивное, хотя и кратковременное, движение жидкости, в том числе и через инструмент, в затрубное пространство. К сложным, еще не решенным вопросам технологии подобных работ будет относиться изготовление соответствующих пороховых зарядов, сравнительно медленно горящих в условиях больших гидростатических давлений, обеспечивающих расчетное увеличение давления в зоне горения, достаточное для интенсивного проталкивания жидкости, но еще безопасное для труб. Схема допускает создание различных устройств, повышающих эффективность сжигания зарядов

для получения нужного режима газопритока. Для ее реализации важно определить условия аварий, при которых применение процесса окажется эффективным. Представляется, что с увеличением глубины скважин, когда передача усилий по колонне к забою с земной поверхности будет непрерывно усложняться, применение пороховых зарядов для целей ликвидации аварий может оказаться перспективным.

Иногда возникает необходимость зарезки второго ствола через обсадную колонну. Для разрушения металла на участке зарезки используют и взрыв. Пока еще нет отработанной аппаратуры, которую можно было бы рекомендовать для проведения подобных операций. Для этой цели могут быть предложены линейные кумулятивные заряды, аналогичные применяемым для резки магистральных газопроводных труб. Фактором, усложняющим их применение для этой цели, будет необходимость герметизации в условиях высокого давления заряда и кумулятивной полости. При использовании фугасных зарядов проблемой может стать сохранение целостности обсадной колонны со стороны, противоположной вырезаемой.

Рассматривались, но не вышли за пределы экспериментов в лабораториях и скважинах работы по борьбе с катастрофическими потерями циркуляции с использованием взрывов.

В том случае, когда причиной потери циркуляции была встреча с кавернами или мощными трещинами большой протяженности и подача в скважину с земной поверхности большого количества тампонирующих материалов обычными методами не давала результатов, предлагалось осуществлять завал каверны (трещины) обрушением породы, расположенной в кровле. В варианте, когда поглощение связывалось с высокой проницаемостью пласта, предлагалось взрывом торпед со специальными содержащими тампонирующие материалы оболочками уплотнить породу и создать на поверхности ствола водонепроницаемую корку. Успешное техническое решение задачи открывает интересные перспективы борьбы и с этим сложным видом аварий в бурении.

ГЛАВА 5. ВЗРЫВНЫЕ МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРИТОКА

§ 1. Общие сведения

Для увеличения дебита скважины в идеальном, незагрязненном, пласте необходимо или пробурить ствол огромного радиуса, или при небольшом диаметре ствола создать в пласте глубоко простирающиеся от него трещины. Первый путь не реален, второй технически осуществим при гидравлическом разрыве пласта. Для пласта трещиноватого или с загрязненной вокруг ствола породой значительное увеличение дебита может быть достигнуто проще – созданием трещин или каналов, соединяющих ствол с зоной естественных трещин или незагрязненной при бурении частью пласта. Наконец, когда в ходе строительства или при эксплуатации скважины на пути флюида создается барьер в виде непроницаемого или малопроницаемого слоя осадка на стенках перфорационных отверстий, а также сетчатом или проволоочном фильтре, то его разрушение и удаление может стать также причиной значительного увеличения (восстановления) дебита.

Современная геофизическая служба обладает опытом и оборудованием для выполнения работ по интенсификации притока, основанных на использовании взрывных и импульсных процессов.

Применение взрывчатых веществ в скважинах строится на двух режимах – горении и детонации. Горение – более «мягкий» процесс. Оно протекает медленнее, чем детонация; в окружающем заряд пространстве реализуются меньшие давления, а время действия высокого давления больше. В соответствии с этим существенно различен и характер воздействия

сопутствующих процессов на породу. В первом (при горении), аналогично гидроразрыву, в породе развивается преимущественно одна трещина, способная под действием поступающих из ствола продуктов сгорания и скважинной жидкости, распирающих ее как клин, углубляться в пласт. Развитие же трещин при взрыве охватывает всю зону пласта, расположенную против заряда. Оно носит существенно иной характер, сопровождаясь дроблением породы на близких от заряда расстояниях с образованием каверны, зоны уплотнения и на удалении трещин. Этот вопрос уже разбирался в главе 1. Теперь рассмотрим его, но уже с позиций оценки возможности использования взрыва для интенсификации притока из пласта.

На рис. 1.5 схематически изображена картина действия взрыва цилиндрического заряда в скважине на пласт. При взрыве вокруг каверны возникают участки поджатой, уплотненной породы, препятствующие участию продуктов взрыва в развитии трещин. Наличие такой зоны может оказать вредное действие на скважину, снизив ее дебит после взрыва. Этим и общей сложностью явления, возможно, объясняется отсутствие в литературе четких рекомендаций по технологии торпедирования глубоких скважин.

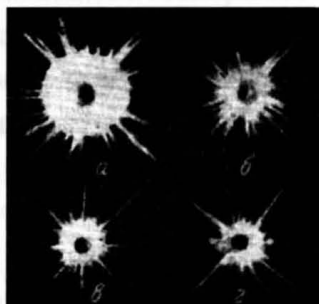


Рис. 5.1. Характер действия взрыва на блоки из плексигласа при разных гидростатических давлениях. Давление, МПа: а – 1; б – 20; в – 50; г – 80

Из факторов, которые безусловно влияют на трещинообразование в породе при взрыве, в первую очередь выделим гидростатическое давление и работу, которую могут совершать расширяющиеся продукты



взрыва. На рис. 5.1 приведены фотографии блоков из плексигласа с просверленными в них каналами, в которых при разных гидростатических давлениях взрывался небольшой заряд мощного ВВ. Видно, как с ростом давления уменьшаются размеры и число трещин в блоке. Параллельно уменьшается и объем разрушенного плексигласа вокруг заряда (непрозрачная часть). Характер разрушения блока коррелируется со спадом полной работы взрыва, наблюдаемого при взрывах в свинцовой бомбе при разных гидростатических давлениях. Успешное использование фугасных зарядов с отношением диаметра заряда к диаметру необсаженной скважины 0,2–0,4 для увеличения дебита водозаборных скважин с глубиной, как правило, не превышающей 200 м в твердых породах, говорит о том, что их стабильный положительный эффект может быть связан с благоприятными условиями как для реализации работы взрыва (низким гидростатическим давлением), так и слабым уплотнением породы против заряда при небольшой величине последнего.

Успешное и широкое применение торпедирования нефтяных и газовых скважин большими, достигающими нескольких тонн ВВ зарядами, особенно активно практиковавшееся в 50-х годах за рубежом и в меньшей мере у нас, сопровождалось установкой над зарядом и разбуриванием после взрыва защитных цементных мостов с проработкой бурением интервала торпедирования. При такой технологии увеличивается время действия высокого давления и, по-видимому, удаляется или частично удаляется в процессе проработки интервала слой уплотненной породы. Дебит при этом увеличивался в среднем в 2–4 раза. Однако при проведении созданного в этот период гидроразрыва достигалось более высокое увеличение дебита, что косвенно свидетельствует о большей глубине трещин, возникающих в породе в последнем случае.

Эффективность гидравлического разрыва пласта, по крайней мере на начальном периоде эксплуатации скважины после разрыва, стала одной из причин массового отказа от торпедирования большими за-

рядами. Но высокая стоимость разрыва, выполняемого путем закачки в пласт через насосно-компрессорные трубы вязкой жидкости с песком для закрепления образовавшихся трещин, большое количество дорогостоящего оборудования (цементиоровочных агрегатов), необходимых для его проведения, и другие факторы ограничивают применение и гидроразрыва.

В ходе исследований было показано (Ю.П. Желтов и др.), что при осуществлении разрыва пласта под достаточно высоким давлением в жидкости остаточная деформация породы может не позволить полностью сомкнуться образовавшейся трещине. Последняя будет функционировать, обеспечивая благоприятные условия для движения флюида из пласта и после снятия давления. Создание трещин сводилось к созданию в зоне разрыва в жидкости, заполняющей ствол, давления, близкого к горному, действующего в течение долей секунды. Простейшее решение – поместить соответствующий медленно горящий пороховой заряд в ствол против пласта, ограничив участок сверху и снизу пакерами. Идея была проверена, однако не нашла массового внедрения из-за того, что извлекать пакеры из скважины после выполнения работ оказалось делом сложным, и случалось, что их оставляли в стволе, создавая аварийную ситуацию.

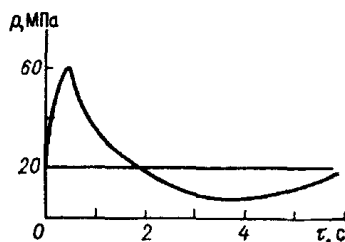


Рис. 5.2. Кривая $p=f(t)$ в жидкости, заполняющей скважину при работе ПГДБК

Решив задачу подбора соответствующего пороха для порохового генератора давления, используя столб жидкости как инерционную пробку, удалось получить нужную для проведения работ связь: давле-



ние – время в жидкости, заполняющей ствол в зоне сжигания заряда. Пример подобной зависимости, полученной с использованием датчиков давления в скважине на глубине 2 км при сжигании порохового заряда, приведен на рис. 5.2. Горное давление в пласте 50 МПа, в жидкости при горении заряда 60 МПа, время действия высокого давления 0,8 с. Эта скважина, продуктивные пласты которой представлены прочными известняками, после освоения увеличила дебит в 3 раза.

Сжигание пороховых зарядов, необходимых для разрыва пласта, сопровождается заметным выделением тепла. Оно остается в зоне размещения заряда и прогревает породу, прилегающую к стволу. Прогрев невелик, но он может сопровождаться плавлением компонентов нефти, например парафина, выпавшего в ходе движения ее из пласта в ствол через участок породы, охлажденной промывочной жидкостью при бурении. Хотя речь идет об ограниченном по глубине и температуре эффекте прогрева, есть месторождения, где с ним можно связать часть успеха при применении метода. Чем больше удельный заряд, тем выше прогрев. Максимальный прогрев достигается при полном заполнении ствола пороховым зарядом.

Наконец, меняя составы порохов, можно варьировать и продуктами его сгорания. При определенном составе в пороховых газах может находиться хлористый водород, который, попадая в пласт, будет, вступая во взаимодействие с компонентами породы, активно содействовать улучшению проницаемости в прискважинной зоне. И еще один фактор следует учитывать: «облагораживание» высоковязких нефтей растворением в них CO_2 и др.

Таким образом, возник комплексный метод, основанный на комбинировании воздействия давлением пороховых газов (разрыв пласта) с тепловым и химическим воздействием на пласт, – термогазохимическая обработка пласта. Он существует в трех модификациях: разрыв пласта с использованием порохового генератора давления бескорпус-

ного ПГДБК, термогазохимическая обработка пласта с использованием аккумулятора давления скважинного АДС с соответствующим оборудованием для их осуществления, с использованием зарядов гидроразрыва пласта ЗГРП. Методы во многом похожи.

Еще один способ увеличения дебитов – обработка фильтра и прифильтровой зоны скважины небольшими взрывными и импульсными воздействиями. Он чаще используется в мелких скважинах, в первую очередь водозаборных, хотя применяется и в глубоких, в том числе нефтяных скважинах. Задача увеличения дебита чаще всего состоит в разглинизации фильтра и прифильтровой зоны с сокращением сроков освоения скважины и увеличением ее дебита. Взрыв может быть использован и в скважинах, находившихся в эксплуатации, для удаления засорений с фильтра и из перфорационных отверстий осадком, выпадающим из пластовых жидкостей в ходе их движения в ствол. Ими могут быть соли Са и Mg, соединения железа и ряд других веществ.

По механическим свойствам сетка, покрытая таким осадком, представляет сравнительно прочную, но в то же время хрупкую преграду. Первая задача взрыва – нанести удар, вызывающий растрескивание и частичное сбивание осадка с сетки. Последующая пульсация газового пузыря, сопровождающаяся возвратно-поступательным движением жидкости, довершает удаление осадка с фильтра. Используя эффект «физического взрыва» – выхлопа в жидкость сжатого до высоких давлений воздуха, осуществляемого в циклическом режиме, можно получить тот же технологический эффект, что и при взрыве небольшого линейного заряда конденсированного ВВ. Заряд же последнего выбирается так, чтобы при взрыве не было повреждений сеток и элементов фильтра, приводящих к пескованию скважины. Он обычно не превышает двух ниток детонирующего шнура ДШВ. Нужно иметь в виду, что воздействие это не такое слабое – при взрыве линейного заряда из нитки ДШВ давление в волне на расстоянии 0,1 м от него около 90 МПа.



§ 2. Фугасное торпедирование

Можно выделить три вида торпедирования скважин: небольшими, преимущественно из детонирующего шнура зарядами – торпедой ТДШ, где масса ВВ меняется от 10 до 200 г на метр длины ствола; зарядами до 5–7 кг для вскрытия пласта и интенсификации притока; зарядами суммарной массой в несколько тонн (в настоящее время не применяются). Последовательно рассмотрим порядок выполнения работ, эффективность применения и перспективы развития направлений.

Торпедирование скважины небольшими, до 7 кг, зарядами уже рассматривалось в главе 2. Речь шла об использовании торпед ТШТ, для вскрытия пласта. Одно из основных ограничений по их применению связано с массой используемого заряда из-за боязни повреждений ударной волной взрыва обсадных труб и цементного кольца в зоне размещения торпеды и повреждений волной, распространяющейся в жидкости, заполняющей ствол, ослабленных участков обсадных труб. Когда работы ведутся в скважине, где продуктивный пласт представлен прочными породами и не обсажен, ограничение на применение становится менее существенным. Отсутствие колонны в зоне взрыва исключает объект повреждения, а открытый ствол с выступами и неровностями породы – больше глушитель, чем волновод для распространяющейся волны. Потери при многократных отражениях от его неровной поверхности способствуют быстрому затуханию волны. Если заряд удален от башмака обсадной колонны, то можно говорить о сравнительно безопасном применении в таких скважинах зарядов, по массе в 2–3 раза превышающих рекомендованные для торпедирования обсаженных интервалов. Их взрыв можно проводить, не прибегая к специальным мерам защиты ствола.

Наиболее эффективно применение взрыва в неглубоких скважинах, в первую очередь водозаборных, где подобная конструкция встречается часто. В зависимости от геолого-технических условий дебит их при

торпедировании возрастает в 1,5–10 раз, хотя наблюдаются и неудачи. Торпедирование дешево; как правило, не требует больших затрат на последующее освоение скважины и не встречает конкурента в виде гидравлического разрыва пласта. В скважинах на нефть и газ аналогичной конструкции торпедирование продуктивных участков ствола также может быть целесообразным.

Распространенной ошибкой при проведении торпедирования небольшими фугасными зарядами бывает ожидание значительного роста дебита после взрыва из заведомо истощенных пластов. Такими могут быть водозаборные скважины с резко снизившимся статическим уровнем жидкости, вызванным истощением водоносного горизонта, и эксплуатационные скважины на нефть с упавшим пластовым давлением. Если работы в подобных скважинах не дали результатов, то настойчивое продолжение их с целью повышения эффективности в этих условиях не всегда оправдано.

К методам интенсификации притока относится кислотная обработка пласта. Улучшая и открывая новые каналы для движения нефти, обработка кислотой способствует увеличению дебита скважины. Со временем дебит снижается, а повторная закачка кислоты уже в меньшей мере способствует росту дебита, поскольку кислота направляется в первую очередь в зону действующих каналов. Проводя торпедирование, удастся поднять эффективность кислотной обработки. Создавая новые и частично закрывая старые каналы в породе, взрыв позволяет кислоте находить пути в более богатые нефтью участки пласта, тем самым способствуя повышению эффективности обработок.

Наличие газа в нефти способствует увеличению безопасности взрыва для объектов скважины, газовые пузырьки являются хорошими гасителями волны. Взрыв в свежей, насыщенной газом нефти безопаснее для скважины. Чтобы воспользоваться этим, предлагалось размещать в скважине вещества, дающие газ, и даже помещать разрушающиеся емкости с



воздухом. Практического применения предложения не нашли. При проведении торпедирований всегда следует учитывать геологические особенности скважины, корректировать выбранную методику и технологию по результатам уже выполненных торпедирований. Не рекомендуется взрывать торпеды против глинистых пропластков, вблизи водонефтяного контакта. Существуют и другие рекомендации по выполнению работ, часто весьма индивидуальные, приспособленные к конкретным условиям.

§ 3. Пороховые генераторы давления

Пороховые генераторы и аккумуляторы давления позволяют увеличить отдачу или приемистость пласта путем повышения проницаемости его прискважинной зоны воздействием пороховых газов. Этот способ основан на механическом, тепловом и физико-химическом воздействии на пласт пороховых газов, генерируемых непосредственно в скважине.

Горение порохового заряда в скважине, заполненной жидкостью, сопровождается выделением большого количества газов и резким повышением давления и температуры. При резком повышении давления в жидкости распространяется волна возмущения, на границе которой возникает скачок уплотнения, перемещающийся практически с постоянной скоростью и вовлекающий в движение все новые слои жидкости. Под действием давления пороховых газов жидкость отодвигается (вследствие сжатия) по стволу скважины от места горения. Часть образующихся пороховых газов занимает освобождающийся участок скважины. Остальная часть газов вместе со скважинной жидкостью задавливается в пласт. Поскольку процесс горения порохового заряда весьма кратковременный (от долей до нескольких секунд), вся жидкость, заполняющая скважину, за время горения не успевает прийти в движение и выполняет роль своеобразного пакера. Движение жидкости вверх по скважине продолжается и

после окончания горения пороха под действием сил инерции. К моменту окончания подъема жидкости давление в газовом пузыре становится меньше давления столба жидкости, и начинается движение ее вниз. При этом давление в газовом пузыре, благодаря сжатию газа, будет вновь увеличиваться и к моменту полного израсходования энергии столба жидкости превысит гидростатическое давление. Пульсации газового пузыря повторяются с затухающей амплитудой в течение некоторого времени, значительно большего, чем время горения порохового заряда, что способствует увеличению объема задавливаемой в пласт жидкости.

Механическое воздействие продуктов горения порохового заряда на пласт проявляется в следующем. При резком повышении давления в скважине образующаяся газожидкостная смесь с высокой скоростью и под большим давлением нагнетается через перфорационные каналы и естественные трещины в пласт, выполняя роль клина, раздвигающего горную породу. При этом создаются благоприятные условия для раскрытия вертикальных трещин в пласте. Высокий газоприход, зависящий в основном от массы сжигаемого пороха, позволяет создать в скважине давление, равное полному горному давлению или превышающее его. Было установлено, что в силу необратимости процесса деформирования горной породы остаточная деформация ее препятствует полному смыканию трещин после снятия давления и отпадает необходимость закрепления их песком, что выгодно отличает этот метод от гидравлического разрыва пласта.

Образованию остаточных трещин способствуют: размыв стенок трещин, перфорационных и поровых каналов жидкостью и пороховыми газами, проникающими в пласт с высокой скоростью; разрушение сплошности поверхности трещин знакопеременными нагрузками, возникающими при пульсации давления; растворение карбонатных пород и цемента на стенках трещин.

Тепловое воздействие продуктов горения на пласт заключается в расплавлении парафиновых, асфальто-смолистых и других твердых отло-



жений, выпавших в процессе эксплуатации скважины, и в снижении вязкости нефти за счет тепла движущихся по трещинам и поровым каналам скважинной жидкости и пороховых газов, начальная температура которых в зоне горения может достигать 2 500 °С, а у стенки скважины 350 °С.

Физико-химическое воздействие продуктов горения, состоящих в основном из углекислого газа, азота и хлористого водорода, выражается в растворении карбонатных пород и цемента, а также в снижении вязкости нефти и ее поверхностного натяжения на границе с водой и породой.

Пороховые газы, двигаясь при пульсации из пласта в скважину, очищают трещины и поровые каналы от продуктов эрозии и химических реакций, от песчано-глинистых частиц и отложений.

Особенности методики воздействия на пласт порохowymi газами и разнообразие геолого-технических условий предъявляют к порохovým генераторам (аккумуляторам) давления следующие специфические требования: создание в скважине давления, близкого к горному или превышающего его, и поддержание этого давления в течение времени, необходимого для разрыва пласта с образованием разветвленной сети остаточных трещин; выделение большого количества газов, обеспечивающего задавливание в пласт необходимого для его разрыва объема жидкости; возможность изменения количества выделяемых газов в зависимости от геолого-технических условий; стабильный режим горения порохového заряда; возможность регулирования процесса для достижения требуемых темпа роста и величины давления, газоприхода и времени горения; хорошая проходимость и минимальное засорение скважины; сохранность обсадной колонны и цементного камня; отсутствие сильных толчков, которые могут привести к обрыву кабеля; безотказность и безаварийность в работе.

Пороховые генераторы и аккумуляторы давления разделяют на корпусные и бескорпусные. В корпусных генераторах давления пороховой заряд сгорает в прочной герметизируемой камере, снабженной

соплом (соплами) для истечения продуктов горения, в бескорпусных – заряд сгорает непосредственно в скважине.

К корпусным пороховым генераторам давления относится скважинный аппарат для разрыва пласта АСГ105К. Заводское производство его, длившееся около 10 лет, прекращено.

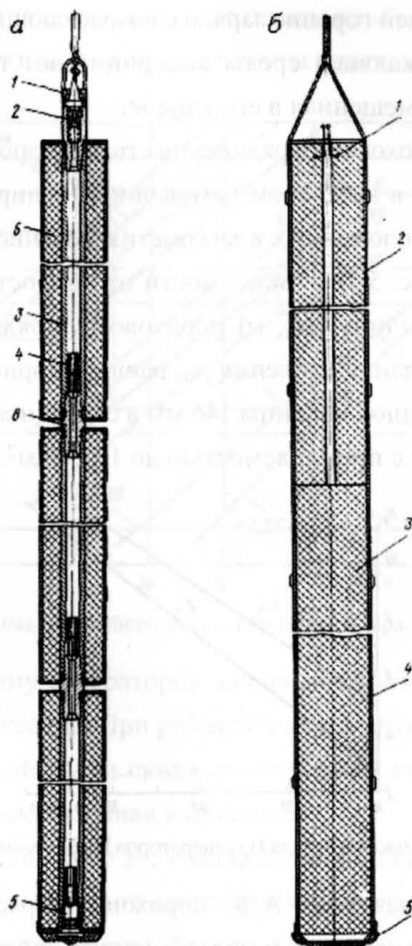


Рис. 5.3. Устройство пороховых генераторов давления

- а* – ПГД. БК.: 1 – кабельный наконечник, 2 – пиропатрон, 3 – опорная труба, 4 – воспламенитель, 5 – заглушка, 6 – пороховые заряды, 7 – обтекатель, 8 – штуцер;
- б* – АДС-5,6: 1 – электроспираль накаливания, 2–3 – пороховые заряды, 4 – трос, 5 – поддон



Бескорпусные пороховые генераторы давления (рис. 5.3) подразделяются на герметичные (ПГД.БК) и негерметичные (АДС).

Герметичные генераторы давления включают несколько трубчатых пороховых зарядов, каждый из которых полностью или частично изолирован от скважинной жидкости тонкой неметаллической оболочкой, обеспечивающей горение заряда с возрастающим газопритоком.

Давление окружающей среды воспринимают пороховой заряд и опорная труба, размещенная в его канале.

Поджигание порохового заряда осуществляют с помощью пиропатрона, установленного в кабельном наконечнике, и пиротехнических воспламенителей, расположенных в загерметизированной опорной трубе.

По графику (рис. 5.4) в зависимости от гидростатического давления p_r выбирают длину (H_z , м) порохового заряда генератора, обеспечивающего создание давления p_0 , равного горному давлению $p_{гор}$ при диаметре обсадной колонны 146 мм в скважинах, пласты которых сложены породами с проницаемостью до 10^{-1} мкм².

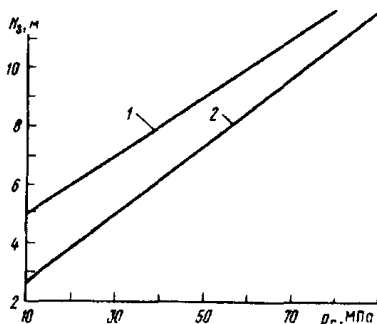


Рис. 5.4. График выбора высоты заряда H_z генераторов ПГД. БК-100М (1) и ПГД. БК-150 (2)

В генераторах давления АДС пороховые заряды не имеют оболочки, находятся в контакте и под давлением скважинной жидкости. Соединение ПЗ осуществляют с помощью поддона и стальных тросов, которые размещают в наружных продольных пазах ПЗ. Воспламенение ПЗ производят с помощью электрических спиралей накаливания,

вмонтированных в верхний и нижний заряды (минимальный ток воспламенения 1,5 А).

Горение зарядов происходит вначале по торцевым, а затем и боковым поверхностям с постоянным газопритоком.

Массу порохового заряда генераторов АДС m_3 выбирают по номограмме (рис. 5.5), в зависимости от толщины пласта $h_{пл}$ и его проницаемости $k_{пр}$, плотности нефти ρ_n и величины пластового давления $p_{пл}$.

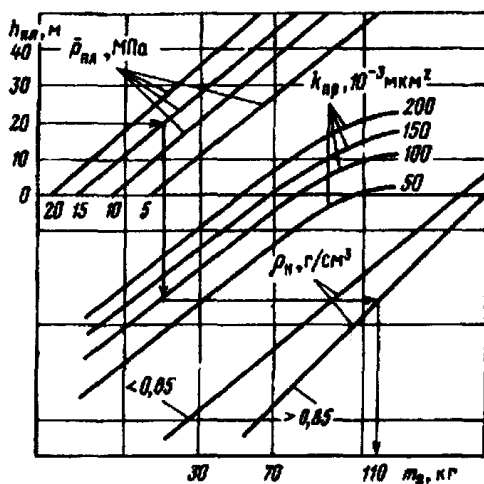


Рис. 5.5. Номограмма для выбора массы порохового заряда генератора АДС

Спуск в скважину генераторов давления обоих типов производят на геофизическом кабеле. При работах с ними зону горения ПЗ не отделяют от остальной части скважины пакером, так как его роль частично выполняет скважинная жидкость.

Максимальное давление p_c , создаваемое в скважине при горении порохового заряда, измеряют крешерным прибором, который закрепляют на кабеле на расстоянии 5 м от порохового заряда.

Контроль за баротепловым воздействием продуктов горения на пласт осуществляют сравнением профилей температур в скважине до и после сжигания порохового заряда.



О характере воздействия судят по протяженности температурной аномалии по стволу скважины, месту образования и амплитуде аномалии повышенной температуры ΔT_m (рис. 5.6).

Интервал наибольшего баротеплового воздействия на пласт приближенно равен протяженности аномалии $l_{0,9}$ на уровне 0,9 амплитуды аномалии ΔT_m .

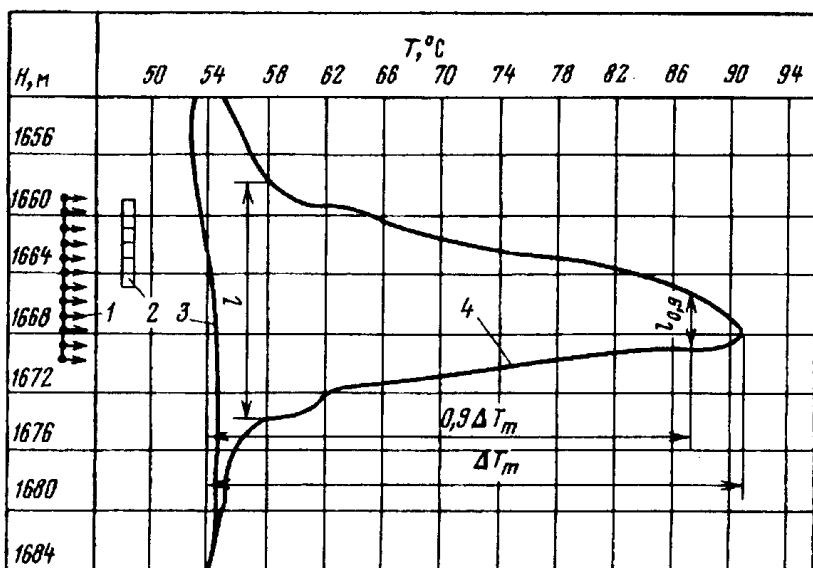


Рис. 5.6. Изменение теплового поля скважины в результате воздействия пороховых газов на пласт:

1, 2 – интервалы перфорации и сжигания ПГД.БК; 3, 4 – профиль температуры в скважине соответственно до и после сгорания порохового заряда

Различают три вида температурных аномалий.

Первый характеризуется значениями $l_{0,9} = 1 \div 2$ м и $\Delta T_m = 40 \div 70$ °C и соответствует образованию горизонтальной трещины.

Второй имеет $l_{0,9} = L$ и $\Delta T_m = 10 \div 50$ °C и соответствует образованию одновременно горизонтальной и вертикальной трещины (L – длина ПЗ генератора).

Для третьего вида, соответствующего образованию вертикальной трещины, $l_{0,9} > L$ и $\Delta T_m = 5 \div 30$ °С.

Генераторы давления ПГД.БК и АДС-6 позволяют кратковременно создавать в скважине давление, превышающее полное горное давление P_r , оказывая на ПЗП преимущественно механическое воздействие. Эти генераторы следует применять в тех случаях, когда требуется осуществить разрыв пласта.

Генератор давления АДС-5 следует применять для термогазо-химической обработки ПЗП, когда фильтрационные свойства пласта ухудшены из-за отложения смол, парафина и т.п., поскольку продолжительность горения порохового заряда составляет несколько десятков секунд, а создаваемое давление меньше P_r и не приводит к разрыву пласта.

Обработка порохowymi газами с целью разрыва горных пород дает наилучшие результаты, когда пласты сложены песчаниками, известняками или доломитами, обладают достаточно высокими пластовой энергией и нефтегазонасыщенностью, но коэффициент гидродинамического совершенства их вскрытия перфорацией $k_c \leq 0,7$.

Обработке следует подвергать участок пласта, имеющий большую, чем остальная часть пласта, пористость, проницаемость и трещиноватость, меньшую глинистость.

Не рекомендуется проводить обработку порохowymi газами пластов, представленных рыхлыми песчаниками, алевролитами с прослоями глины и высокопористыми известняками.

Для выявления участка пласта следует определить соотношение фильтрационных свойств прискважинной и удаленной частей пласта, профиль его отдачи или приемистость.

Перед обработкой участок пласта толщиной 2–3 м необходимо дополнительно вскрыть перфораторами ПК, ПКО или ПКС. Общая плотность перфорации должна составлять 30 отв./м.



Водонефтяной или газонефтяной контакты должны быть не ближе 5 м от обрабатываемого участка пласта при условии хорошего сцепления цементного камня с обсадными трубами и горной породой, отсутствия нарушений обсадных труб вне интервала перфорации.

Комплекс геофизических исследований должен включать определение технического состояния колонны обсадных труб, контакта цементного камня с ними и 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-активным веществом (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 надо заполнить нефтью, растворителем (керосин, конденсат и т. п.) или солянокислотным раствором.

Генераторы ПГД.БК и АДС-6 следует устанавливать на 2–4 м выше интервала уплотненной перфорации. Обработку целесообразно проводить дважды, увеличивая на втором этапе массу сжигаемого ПЗ на 1–2 заряда.

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 ее азрированным раствором. При снижении с течением времени производительности скважины следует повторить обработку.

§ 4. Заряды гидроразрыва пласта ЗГРП

Технология микрогидроразрыва пласта основанная на применении зарядов ЗГРП01-1 предназначена для увеличения продуктивности скважин путем импульсного воздействия скважинной жидкости и пороховых газов с высокой температурой и давлением, возникающих при горении заряда, и созданием за счет этого дополнительной системы трещин.

Образование остаточных трещин обусловлено свойствами горных пород необратимо деформироваться при нагрузке и разгрузке при создании необходимого соотношения между скважинным гидростатическим и горным давлениями. Пороховые газы помимо механического воздействия также производят и физико-химическое воздействие в ПЗП, проявляющееся в частичной очистке ее от отложений парафина, асфальто-смолистых веществ, продуктов химических реакций и песчано-глинистых частиц.

Интенсивный газовый поток в пласт обеспечивает занос разрушенных фрагментов скелета и цементного камня в образованные трещины, что исключает их смыкание.

По окончании горения заряда в интервале обработки имеет место падение давления ниже гидростатического за счет охлаждения газов и поднятия столба жидкости. После чего происходит падение столба жидкости, сопровождающееся гидроударом и затухающими колебаниями столба жидкости в течение 30–40 секунд.

Протяженность трещин на карбонатных коллекторах достигает 14 м на коллекторах, сложенных аргиллитами и песчаниками 8–10 м.

Комплект ЗГРП01-1 состоит из зарядов, изготовленных из твердого ракетного топлива, узла воспламенения и оснастки, предназначенной для сборки и спуска в зону обработки. Количество зарядов определяется расчетным путем, исходя из данных по глубине залегания интер-



вала воздействия, коллекторских свойств пластов, пластового давления и т.д. Оснастка представляет собой составленную из нескольких элементов металлическую штангу для сборки секций заряда. Секции штанги соединяются между собой при помощи резьбы. Секции заряда при помощи верхнего и нижнего конусов через пружину и проставку стягиваются вплотную друг к другу.

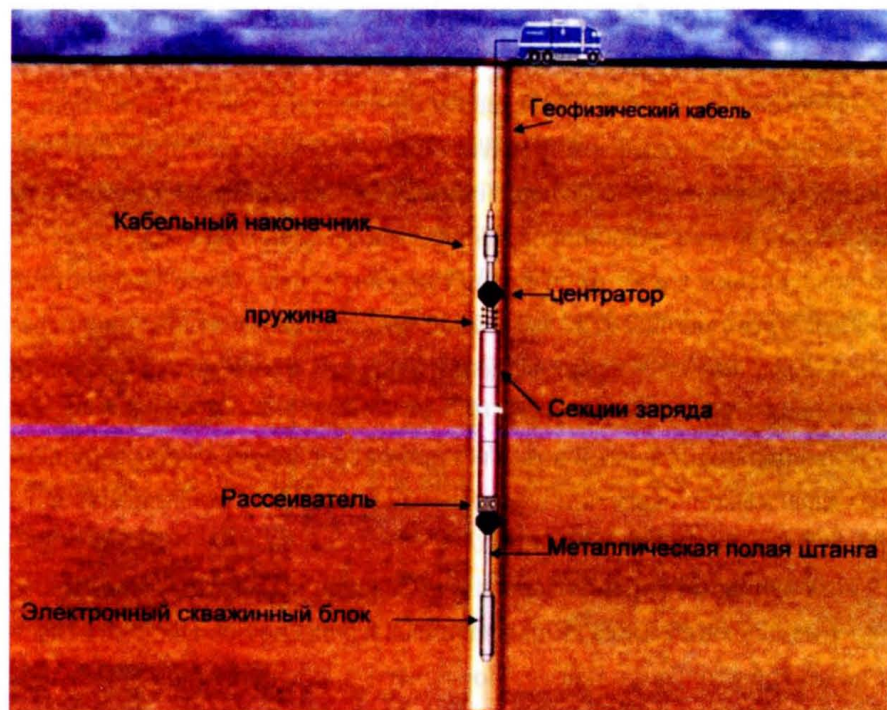


Рис. 5.7. Технология микрогидро разрыва пласта зарядами ЗГРП

Соединение ЗГРП 01-1 с геофизическим кабелем осуществляется через стыковочный узел и кабельный наконечник.

На кабеле закрепляется измерительный блок для регистрации изменения во времени значений давления и температуры в зоне обработки.

Успешность проведенных работ по данной технологии составляет 95%, увеличение дебита – от 1,5 до 5 раз.

Технология предназначена для обработки прискважинной зоны продуктивного пласта нефтяных и газовых действующих, добывающих и нагнетательных скважин с целью:

- повышения продуктивности скважин;
- освоения скважин;
- вызова притока из нефтяного пласта разведочных скважин;
- увеличения приемистости нагнетательных скважин.

ЗГРП 01-1 применяют только после вскрытия пласта глубоко проникающей перфорацией по всем интервалам обработки.

Разрыв прискважинной зоны продуктивного пласта производится путем последовательного сжигания двух или трех сборок ЗГРП 01-1.

Определение количества сжигаемых секций производится по расчетным таблицам (табл. 5.1). В таблице приведены расчетные количества секций при средней плотности σ вышележащих пород геологического разреза меньше $2,1 \text{ г/см}^3$ и больше $2,1 \text{ г/см}^3$. При наличии 40 и более вновь пробитых перфорационных отверстий допускается увеличение количества секций первого и второго сжигания на одну единицу.

Таблица 5.1

Определение количества сжигаемых секций ЗГРП

Гидростатическое давление, МПа	Количество секций первого сжигания, шт.		Количество секций второго сжигания, шт.	
	$\sigma < 2,1 \text{ г/см}^3$	$\sigma > 2,1 \text{ г/см}^3$	$\sigma < 2,1 \text{ г/см}^3$	$\sigma > 2,1 \text{ г/см}^3$
5–9	4	5	6	6
10–24	5	6	7	8
25–39	6	7	8	9
40–50	6	7	9	10

При наличии нескольких близко лежащих интервалов обработки их можно считать одним интервалом, при условии, если их общая протяженность по скважине, включая промежутки между ними, меньше 12 м. В противном случае обрабатываемая область разбивается на два или более объектов.



Установка ЗГРП01-1 производится в интервале перфорации обрабатываемого пласта так, чтобы нижняя секция заряда находилась выше подошвы интервала перфорации на величину 0,5 м.

ЗГРП 01-1 позволяет осуществить газогидравлическое воздействие на прискважинную зону продуктивного пласта с разрывом пласта, не нарушая целостности обсадной колонны и цементного камня. Конструкция применяемой оснастки обеспечивает прочность заряда при механических и температурных нагрузках. Кроме того, оснастка не остается в скважине и может использоваться повторно. Кабельный наконечник удален на расчетное расстояние от зоны горения удлинительной и соединительной штангами, что снижает воздействие турбулентного потока на кабель и снижает вероятность его выхода из строя от температурного воздействия. Применение секций заряда, не покрытых защитным слоем, позволяет заряду возгораться со всех сторон – с торцевой, наружной и внутренней, что сокращает время его сгорания. Конфигурация центрального канала имеет форму с развитой поверхностью горения, что обеспечивает заданное время горения и давление, необходимое для разрыва пласта.

§ 5. Очистка призабойной зоны пласта

Помимо использования для извлечения нефти и газа из пластов процессов, сопровождающихся созданием трещин и частичным разрушением породы, находят применение упоминавшиеся ранее более слабые динамические воздействия. Речь идет об использовании зарядов из детонирующего шнура, электроискрового разряда и пневмовыхлопа. Последний основное применение находит в неглубоких, главным образом водозаборных скважинах. Торпеды из детонирующего шнура успешно применяются и в нефтяных скважинах. Обработка скважин носит характер своеобразной

косметики, поскольку при этом в первую очередь удаляются осадки, загрязняющие поверхность пласта и фильтра, а иногда трещины и прифилтровую зону, прилегающую к стволу. Когда загрязнений нет, отсутствуют и основания для проведения подобной обработки.

Рассмотрим использование взрывных и импульсных процессов для увеличения дебита водозаборных, как наиболее массовых, скважин. Причины низкого (если скважина выходит из бурения) или снизившегося в ходе эксплуатации дебита заключаются в том, что при бурении в поры или трещины продуктивного пласта проникают частицы глины из глинистого раствора или захваченные жидкостью из разбуриваемых пластов. Они же перемещаются со стенок ствола на поверхность фильтра при его спуске в скважину. Фильтр обычно представляет из себя жесткий каркас, на который намотана проволока или сетка, пропускающие воду, но препятствующие поступлению песка в скважину. Глиной затирается фильтрующая поверхность, становясь малопроницаемой для жидкости. Частицы глины имеют коллоидную структуру. При вскрытии бурением водоносного горизонта на начальном этапе они способны перемещаться в порах породы. С ростом сольватной оболочки эта способность у многих из них теряется, и частицы превращаются в маленькие «пробки», застревающие в порах. Откачки, проводимые до чистой воды, выносят только часть осадка. Откачки – длительный процесс. Для освоения скважины нужно удалить осадок с поверхности фильтра и извлечь засоряющие частицы из пласта. Так формулируется одна из задач освоения и увеличения дебита водозаборных скважин, выходящих из бурения.

На рис. 5.8 показаны этапы действия взрыва заряда из детонирующего шнура на фильтр, проводимого в скважине. Заряд (рис. 5.8 а), если фильтр сетчатый или проволочный, как правило, состоит из нитки детонирующего шнура ДШВ и располагается по центру ствола для того, чтобы снизить бризантное действие взрыва на объекты скважины. По длине он превышает фильтр. Узел инициирования, чтобы не повредить

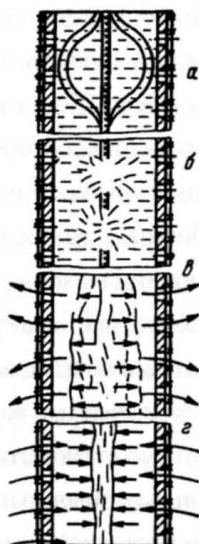


Рис. 5.8. Действие взрыва ДШВ на фильтр

а – исходное положение; *б* – момент взрыва; *в* – расширение газового пузыря;
г – схлопывание газового пузыря.

фильтр, выносится вверх за его пределы примерно на 0,5 м. В узле инициирования, против электродетонатора, удельная энергия заряда примерно в 4 раза превышает его удельную энергию в зоне ДШВ, и, несмотря на малую протяженность участка, этого бывает достаточно для повреждения фильтрующей поверхности.

Волна взрыва, подойдя к сетке, наносит удар, вызывая дробление и сбивание осадка (рис. 5.8 б). Почти без потерь она уходит дальше в породу, воздействуя на структуру частиц глины, находящихся в пласте. Продукты взрыва, расширяясь, вызывают движение жидкости через фильтр в породу (рис. 5.8 в), а на этапе схлопывания перерасширившегося пузыря (рис. 5.8 г) – из пласта в скважину. Такое переменное по направлению движение жидкости способствует удалению с поверхности фильтра осадка и, что не менее важно, нарушению структуры загрязнений в пласте с восстановлением подвижности внесенных туда

частиц. Если сразу после взрыва провести откачки, то засоряющие частицы будут вынесены, очистка прифилтровой зоны пласта будет более глубокой, и дебит скважины возрастет. Если же откачку задержать, то структура осадка начнет восстанавливаться и работа может оказаться бесполезной. Взрыв позволяет сократить время освоения скважин после бурения и увеличить их дебит. С недостаточной разглинизацией пласта при введении в эксплуатацию связаны многочисленные случаи роста продуктивности за пределы начальной после проведения взрывных работ в скважинах, длительное время эксплуатировавшихся и снизивших дебит.

Причиной снижения дебита скважин, находящихся в эксплуатации, может быть засорение фильтра и прифилтровой зоны осадками, выпадающими из воды при движении ее из пласта.

Осадком могут быть карбонаты кальция и магния (CaCO_3 , MgCO_3), соединения трехвалентного железа и др. Осадок выпадает в результате нарушения углекислотного равновесия при движении жидкости из пласта, окисления двухвалентного железа в трехвалентное с изменением растворимости образовавшихся соединений и даже жизнедеятельности бактерий. На процессы сильно влияют режимы эксплуатации скважины. Образование осадка на фильтре по ряду показателей аналогично образованию накипи в чайнике, но только в последнем случае фактором, определяющим его образование, служат тепловые процессы. Таким образом, если в составе воды много кальция, магния и железа и скважина снизила дебит, то есть основание предполагать, что снижение связано с засорением фильтра. Точные данные о содержании примесей могут быть получены из анализов воды.

Чтобы не спутать низкий дебит эксплуатируемой скважины, связанный со снижением пластового давления и истощением водоноса, с низким дебитом из-за засорения фильтра и прифилтровой зоны, нужно иметь данные о поведении скважины в ходе эксплуатации, химическом



составе воды и изменении статического уровня жидкости во времени. Желательно также располагать материалами по эксплуатации соседних скважин, которые могут существенно дополнить картину. Части сведений может и не быть. Но даже при отрицательных показателях, например сильном уменьшении статического уровня, свидетельствующем об истощении водоноса, принимая решение относительно целесообразности проведения работ, следует помнить, что вероятность того, что скважина вводилась в эксплуатацию с заниженным дебитом из-за недостаточной разглинizations, велика. Устраняя этот дефект, удастся увеличить ее дебит, несмотря на снижение водообильности горизонта.

Организация работ по увеличению дебита скважины предполагает, что сразу после взрыва на ней будет проведена откачка с целью удаления осадка из ствола и пласта. Повторные взрывы нужно проводить с большой осторожностью. Деформации элементов конструкции фильтра накапливаются, например деформации после повторного взрыва заряда из одной нитки шнура близки по эквиваленту действия к деформациям после одновременного взрыва двух ниток шнура. Повреждения сетки при взрыве, если это происходит, имеют характер просечки, через которую может поступать песок. Допускать их нельзя. В районах, где засорение фильтра осадком, выпадающим из жидкости, происходит за короткое время, целесообразно применять при строительстве скважины прочные фильтры, многократно выдерживающие взрыв. Такую рекомендацию полезно дать организациям, ведущим бурение подобных скважин.

Одним из недостатков описанного выше взрывного метода является отсутствие цикличности воздействий на объекты скважины. Кроме того, даже заряд из одной нитки ДШВ при взрыве оказывает достаточно сильное воздействие на объекты скважины и, если в конструкции есть ослабленные места, может вызывать повреждения.

Торпеда из детонирующего шнура находит применение и для увеличения дебита скважин на нефть. В первую очередь речь идет о сква-

жинах, где могло быть засорение перфорационных каналов осадками, выпадающими из пластовых жидкостей. Как показала практика применения торпедирования, после взрыва удается увеличить их дебит на 25–50 %. Но так как исходный дебит большинства подобных скважин мал, абсолютный прирост и объем дополнительно добытой нефти незначителен. Но, учитывая простоту и дешевизну работы, возможность совмещения ее с другими операциями, выполняемыми в скважине, проведение взрывной очистки во многих случаях оправдано. В отличие от работ на воду, в скважинах на нефть, где фильтром служит перфорированная колонна и вероятность повреждения скважины меньше, допускается усиление заряда до нескольких ниток детонирующего шнура.

Для чистки забоев бурящихся и действующих скважин применяют имплозийные ловители.

Ловители имплозийные типа ЛИ (рис. 5.9) предназначены для: очистки забоя бурящихся скважин от скрапа и кусков металла с максимальными размерами, не превышающими 0,4 диаметра скважин; очистки внутреннего пространства труб от пробок из металлической стружки и других материалов; извлечения шарошек долот диаметром 112–190 мм и стальных шаров с забоя скважин и из труб; подъема шлама с забоя скважин при необходимости проверки работы долот; очистки забоя скважин при переходе к бурению алмазными долотами.

Имплозийный ловитель спускают в скважину на одножильном грузонесущем геофизическом кабеле, а приводят в действие с помощью универсального взрывного патрона типа ПГ.

Принцип работы ЛИ заключается в следующем. Его спускают 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

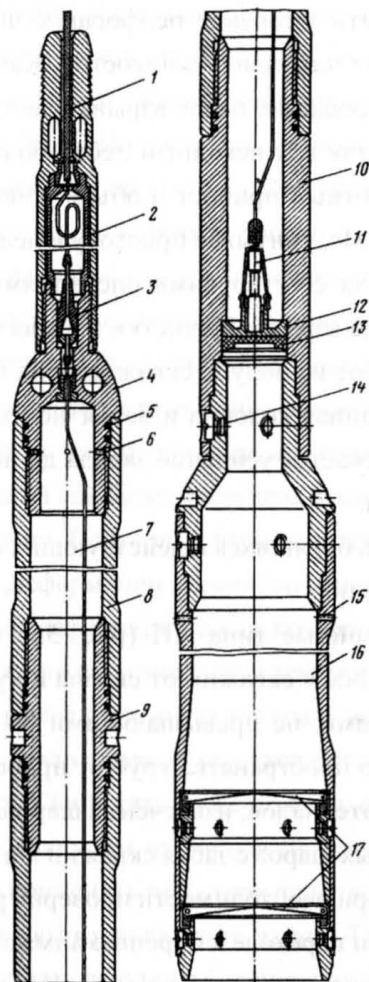


Рис. 5.9. Ловитель импlosionный типа ЛИ

1 – кабель; 2 – кабельный наконечник; 3 – электроввод; 4 – головка; 5 – резиновое кольцо;
6 – отверстия для стравливания остаточного давления из герметичной камеры;
7 – герметичная камера; 8 – корпус; 9 – ниппель; 10 – корпус; 11 – взрывной патрон типа ПГН;
12 – диафрагма; 13 – уплотнительная пробка; 14 – винты; 15 – отверстие для выравнивания
давления в камерах с гидростатическим в скважине; 16 – приемная камера; 17 – механизм захвата

Принцип работы ЛИ заключается в следующем. Его спускают на заданную глубину и устанавливают на предмет, подлежащий извлече-

нию. Взрывом патрона ПГ разрушается часть диафрагмы и уплотнительной пробки, которые отделяют герметичную камеру, заполненную воздухом с атмосферным давлением, от приемной камеры и скважинной жидкости. В результате 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 в приемной камере заполнит герметичную камеру. Произойдет выравнивание давления в камерах с гидростатическим давлением жидкости в скважине, что обеспечит снятие усилия, прижимающего ЛИ к забою. Работа с двумя комплектами ловителей позволяет уменьшить время между спуско-подъемными операциями до 5–10 мин.

Объемы герметичной и приемной камер составляют по $0,01 \text{ м}^3$, что вполне удовлетворяет требованиям эффективной работы ловителя. При необходимости их увеличения, например, для извлечения шлама, песка, устанавливают дополнительные промежуточные секции в корпусе герметичной и приемной камер. При этом объем камер может быть увеличен до $0,02\text{--}0,04 \text{ м}^3$. Ограничением служат максимальная длина ловителя, препятствующая нормальному прохождению по стволу скважины или труб, грузоподъемность кабеля.

Наличие в ловителе диафрагмы специальной конструкции и отверстий определенного размера в корпусе приемных камер и в головке обеспечивает высокую работоспособность всех деталей, устраняет возможность прихвата и повышает безопасность обращения и ловителем. Узел захвата в приемной камере надежно удерживает извлеченные из скважины предметы независимо от их размеров. Взрывное разрушение диафрагмы, крепление камер на винтах обуславливают высокую производительность при работе с ловителем по сравнению с известными конструкциями подобных устройств.



По сравнению с механическими, гидростатическими, гидравлическими и другими конструкциями имплозийные ловители обладают важным преимуществом: с увеличением глубины скважины эффективность их работы возрастает. В отличие от магнитного ловителя на работоспособность ЛИ не влияет наличие шлама на забое. Ограничением по использованию имплозийных ловителей являются скважины, забой которых представлен мягкими породами типа водонасыщенных глин.

В качестве имплозионной камеры для очистки призабойной зоны пласта после проведения взрывного воздействия могут применяться испытатели пластов на трубах. В этом случае сразу после проведения воздействия на пласт в интервале пласта устанавливают испытатель пластов и отрабатывают им на приток.

ГЛАВА 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ В СКВАЖИНАХ

§ 1. Ориентирование бурового инструмента при направленном бурении

Поскольку существуют требования как к профилю ствола скважины, так и к точности достижения забоем проектной точки, должны существовать методы и средства, позволяющие проконтролировать выполнение этих требований. При бурении наклонно-направленных скважин применяется комплекс маркшейдерских работ, включающий специальное оборудование, инструмент, приборы, особые технологические приемы и связанный как с заданием направления ствола скважины, так и с постоянным контролем за положением оси ствола скважины в пространстве. Последнее и является задачей инклинометрии.

Таким образом, задачей инклинометрии является контроль за положением в пространстве оси ствола наклонно-направленной скважины. В результате проведения инклинометрических измерений и их обработки должны быть получены данные о положении каждой точки ствола скважины в пространстве, например, в виде вертикальных и горизонтальных проекций ствола, об отклонениях фактического профиля от проектного, о положении конечного забоя и о попадании его в круг допуска.

В инклинометрию входят технические средства, методическое и математическое обеспечение. С помощью технических средств измеряют первичные параметры, позволяющие в конечном итоге определить пространственные координаты ствола, а в ряде случаев



и обрабатывать информацию. Методическое обеспечение сводится к наиболее рациональному использованию технических средств и обработке данных. Задача математического обеспечения – дать алгоритмы, а в ряде случаев и программы обработки первичной инклинометрической информации. Первичная информация иногда обрабатывается по простейшим тригонометрическим формулам, а иногда требует сложных вычислительных процедур, осуществимых только с использованием ЭВМ.

Требования к точности контроля пространственного положения ствола наклонно-направленных скважин постоянно растут. Это однозначно связано с ужесточением требований к соблюдению проектного профиля скважины. Как отмечалось, на многих месторождениях повторно разбуриваются площади с уплотнением сетки скважин. Поэтому круг допуска имеет тенденцию к сужению. При кустовом бурении очень важно предотвратить встречу стволов бурящейся и ранее пробуренной скважины. Опасность встречи стволов возрастает с увеличением числа скважин в кусте. Отсюда повышение требований к точности контроля положения оси ствола скважины.

При разведочном бурении дополнительно появляются требования точного определения интервала залегания продуктивного пласта с целью его геологической привязки, а также оценки эффективной мощности продуктивного пласта. Совершенно очевидна необходимость высокой точности при проводке вспомогательной скважины для тушения горящего фонтана.

Отмечают, что ошибка в 15 м при определении отклонения ствола скважины может привести к возникновению опасного осложнения, к неправильной оценке мощности продуктивного пласта.

Наряду с необходимостью повышения точности контроля пространственного положения ствола скважин очень важно оперативно

получать инклинометрическую информацию и соответственно сокращать время, которое непроизводительно тратится на инклинометрические замеры.

Оперативность получения информации о пространственном положении оси ствола скважины и о направлении действия отклонителя – одно из важнейших направлений повышения эффективности наклонно-направленного бурения. Неоперативность получения инклинометрической информации, связанная с необходимостью вызова инклинометрической партии, остановки бурения для спуска и подъема инклинометра, невозможностью получения информации о направлении действия отклонителя непосредственно в процессе бурения, приводит к тому, что отклонение фактического профиля от проектного достигает величин, требующих корректировки профиля с повторным использованием отклонителя.

Группу приборов и систем, не требующих для получения информации остановки бурения (исключая кратковременные остановки в пределах нескольких минут), в отечественной литературе принято называть телеметрическими системами. В дальнейшем будем придерживаться этого термина. В зарубежной литературе подобные системы называются МВД-системы («Межемент вайл дриллинг» – измерение во время бурения).

По виду канала связи телеметрические системы можно разделить на следующие группы (рис. 6.1): с проводным каналом связи (проводные системы); с передачей информации в виде импульсов давления по столбу промывочной жидкости (системы с импульсами давления); с электромагнитным каналом связи по породе и по колонне бурильных труб (ЭМ-системы); с использованием акустических колебаний, распространяющихся по столбу промывочной жидкости или по колонне бурильных труб (акустические системы); с каналами связи других видов.

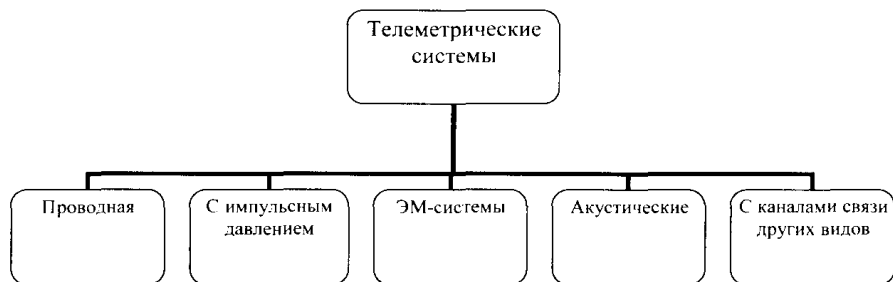


Рис. 6.1. Классификация телеметрических систем

Отечественные телеметрические системы развивались по следующим основным направлениям: системы с проводным каналом связи, системы с электромагнитным каналом связи по породе и по колонне бурильных труб, системы с передачей информации по столбу промысловой жидкости. Наиболее активно разрабатывались телеметрические системы с проводным каналом связи. Работы в этом направлении стали вести в связи с развитием электробурения. Естественно было использовать токоподвод электробура как канал связи между забоем и устьем скважины и передавать по нему информацию о забойных параметрах.

Телеметрические системы серии СТЭ, разработанные СКБПЭ (г. Харьков), предназначены для контроля параметров трассы скважины в процессе электробурения. С их помощью также осуществляется ориентация отклонителя в случаях, требующих изменения направления оси ствола скважины. Системы обеспечивают измерение зенитного угла, азимута, угла установки отклонителя и передачу инклинометрической информации на поверхность по токоподводу электробура. Системы выпускаются в различных вариантах, отличающихся диаметром глубинного измерительного устройства (164, 185, 215 мм) и диапазоном измерения зенитного угла.

На базе телеметрической системы СТЭ в СКБПЭ разработаны телеметрические системы типа СТТ, предназначенные для использования при турбинном бурении. Устройство и технические характеристики этих систем аналогичны СТЭ. Отличие заключается в том, что связь глубинной аппарату-

ры с наземной осуществляется проводным каналом связи сбросного типа или каналом связи типа КЛС. Система при соответствующей комплектации обеспечивает контроль ряда технологических параметров. Линия связи сбросного типа выполнена в виде стандартного каротажного кабеля, снабженного контактными разъемами. Используются специальные узлы герметизации и подъемное устройство (каротажный подъемник или специальная лебедка).

Спуск линии связи возможен в двух вариантах: через уплотнение вертлюга с использованием узла ввода кабеля в вертлюг и через кабельный переходник. Недостатки сбросной линии связи – низкая надежность и большие затраты времени на спуско-подъемные операции. Это побудило приступить к разработке секционированного канала связи типа КЛС, в котором кабельная секция заранее встраивается в каждую бурильную трубу и состоит из полого контактного стержня, муфты, отрезка кабеля с компенсатором длины. Кабель прижимается к внутренней стенке бурильной трубы с помощью пружинных блоков. Контакт осуществляется при свинчивании труб.

Для управления отклонителем на забое перед спуском колонны отклонитель привязывается к датчикам системы, что обеспечивает возможность на основании получаемой с забоя информации устанавливать его в требуемом положении посредством вращения бурильной колонны.

В состав глубинного измерительного устройства входит глубинный блок БГЭ или БГТ, в зависимости от назначения системы. Они предназначены для измерения и преобразования в высокочастотный сигнал с целью передачи на поверхность по линии связи непосредственно при проходке скважин электробурами или турбобурами следующих физических параметров:

- угла наклона или зенитного угла (в зависимости от модификаций), азимута, угла установки отклонителя для всех конструктивных исполнений;

- осевой нагрузки на долото, частоты вращения вала забойного двигателя и виброускорения на корпусе глубинного блока (в зависимости от конструктивного исполнения блока).



Глубинное измерительное устройство (рис. 6.2) состоит из составного немагнитного корпуса (2), внутри которого установлен герметичный контейнер (5), содержащий блок БГЭ (БГТ) (6). Электрическое соединение блока БГЭ с токоподводом электробура осуществляется посредством кабельного ввода, снабженного герметизированными разъемами. С целью защиты блока БГЭ от внешних механических факторов контейнер и блок имеют радиальные (4) и осевые (3) амортизаторы. С электробуром и бурильными трубами глубинное измерительное устройство соединяется посредством принятых в бурении резьб через нижний (7) и верхний (1) переводники.

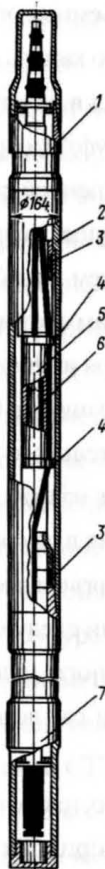


Рис. 6.2. Глубинное измерительное устройство системы СТЭ (СТГ)

Телеметрические системы с электромагнитным беспроводным каналом связи были первоначально разработаны с целью контроля частоты вращения турбобура. В СПКБ «Нефтегазпромавтоматика» (г. Грозный) создан электротурботахометр ЭБТ-1. В дальнейшем работы по созданию подобных телеметрических систем развивались во ВНИИГИСе (г. Октябрьский Башкирской АССР), где была разработана забойная инклинометрическая система ЗИС-1, предназначенная для непрерывного автоматического контроля в процессе бурения зенитного угла, азимута и угла установки отклонителя. В дальнейшем опыт разработки системы ЗИС-1 и ряда ее узлов был положен в основу телеметрической системы «Забой», где помимо инклинометрических параметров осуществляется контроль за технологическими и геофизическими параметрами.

Телеметрические системы с гидравлическим каналом связи создавали для контроля частоты вращения турбобура. Это различные гидротурботахометры, один из которых – ГТН-ЗМ – выпускался серийно. Сигнализатор направления бурения скважин СНБ-1, разработанный ВНИИБТ, предназначен для получения в процессе бурения информации об угле установки отклонителя. Информация передается по столбу промывочной жидкости с использованием частотной модуляции. Для регистрации гидравлических импульсов в манифольд устанавливается датчик давления, сигналы с которого поступают на усилитель, активный фильтр и регистрируются самопишущим прибором. В процессе бурения по частоте приходящих гидроимпульсов определяют направление отклонителя относительно апсидальной плоскости. Отсутствие гидроимпульсов свидетельствует о совпадении плоскости действия отклонителя с апсидальной плоскостью.



§ 2. Определение места прихвата различных труб в скважине

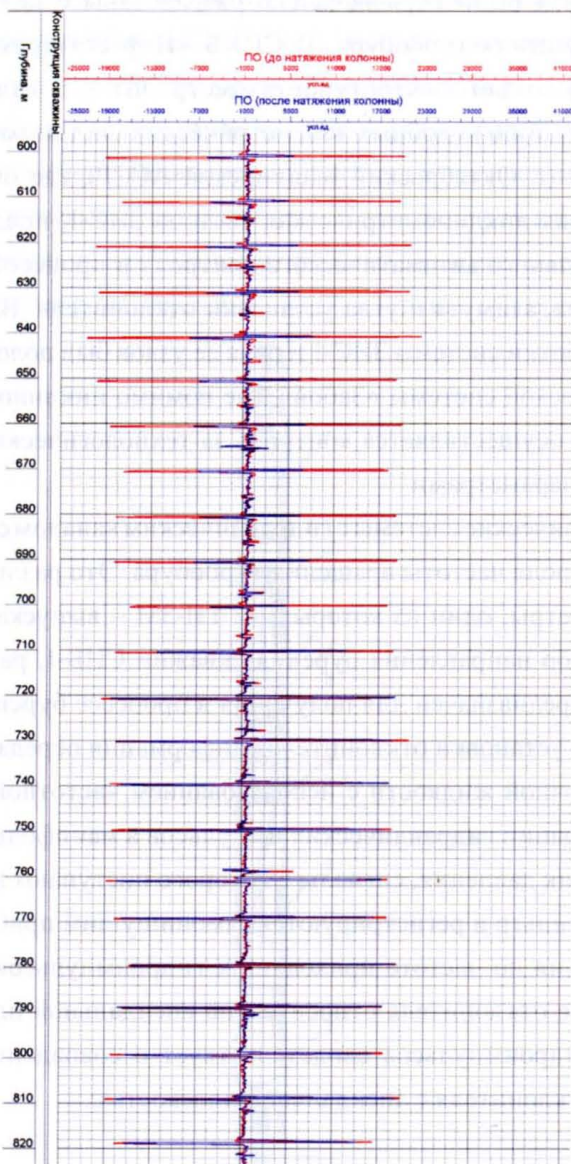


Рис. 6.3. Определение местоположения прихвата обсадной колонны с помощью прихватоопределятеля

Определение мест прихвата осуществляют с помощью приборов, называемых прихватоопределителями. Прихватоопределитель отличается от локатора муфт тем, что кроме локации муфт может работать в качестве намагничивающего устройства.

Сначала снимают обычную диаграмму ЛМ. Затем в скважину опускают намагничивающее устройство и через определенный интервал ставят на колонне магнитные метки – намагничивают небольшие участки труб. Снова снимают диаграмму ЛМ, на которой будут отбиты уже не только соединительные муфты, но и магнитные метки. После этого трубу подвергают механическому усилию – начинают вытаскивать ее с помощью специальных домкратов или закручивать. Это механическое воздействие вызывает размагничивание магнитных меток, и они исчезают. Но ниже прихвата механическое усилие не передается, и магнитные метки там сохраняются. Еще раз снимают диаграмму ЛМ. По промежутку, где исчезают магнитные метки, определяют положение прихвата. После этого труба может быть обрезана выше места прихвата и извлечена на поверхность для повторного использования.

§ 3. Контроль правильности интервалов фактической перфорации

Контроль правильности интервалов фактической перфорации осуществляют обычно путем сравнения записей локатора муфт до и после проведения вторичного вскрытия пласта, а также по наличию термической аномалии в интервале перфорации сразу после проведения работ (рис. 6.4).

Более точную информацию о положении интервала перфорации могут дать записи электромагнитного дефектоскопа ЭМДС (рис. 6.5) либо скважинного акустического телевизора САТ. При этом записи последнего позволяют произвести подсчет количества проделанных отверстий.

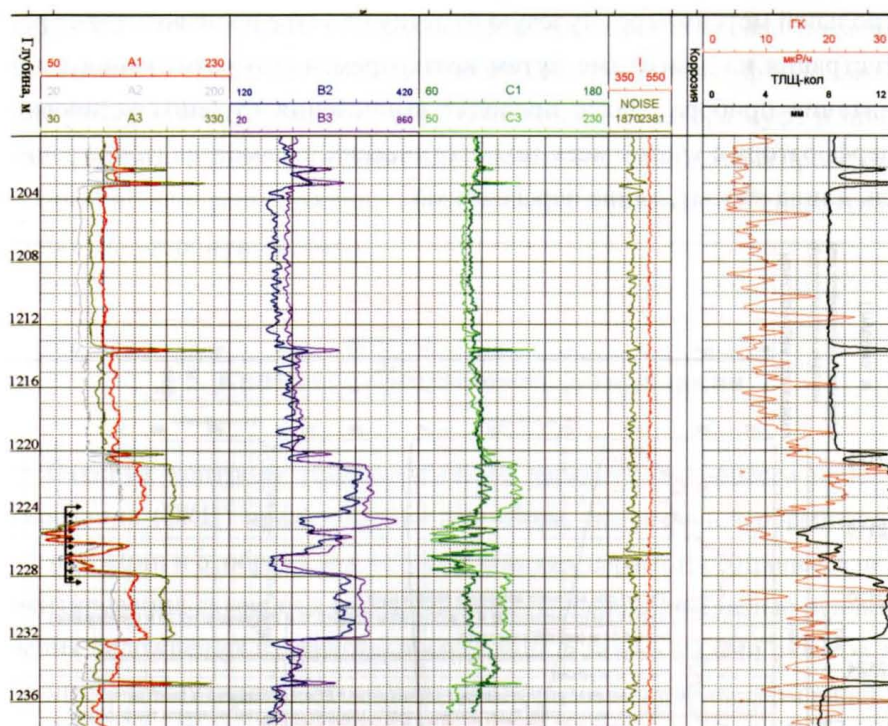


Рис. 6.5. Контроль правильности интервала фактической перфорации прибором ЭМДС-ТМ-42

§ 4. Привязка глубин при перфорации, торпедировании, ИПТ и других работах

Привязка глубины установки перфоратора (торпеды, ИПТ) производится по кривым ГК.

При проведении работ на геофизическом кабеле (перфорация, торпедирование) прибор спускается до интервала перфорации, на кабеле вяжется «контрольная метка». После этого прибор опускается на точку начала записи и производится запись. При прохождении «кон-



трольной метки» через нулевую отметку на устье производится ее регистрация на диаграмме путем кратковременного размыкания цепи питания прибора. Далее проводят вычисления глубины установки перфоратора с учетом всех технологических параметров (точка записи, длина «косы», длина переводника).

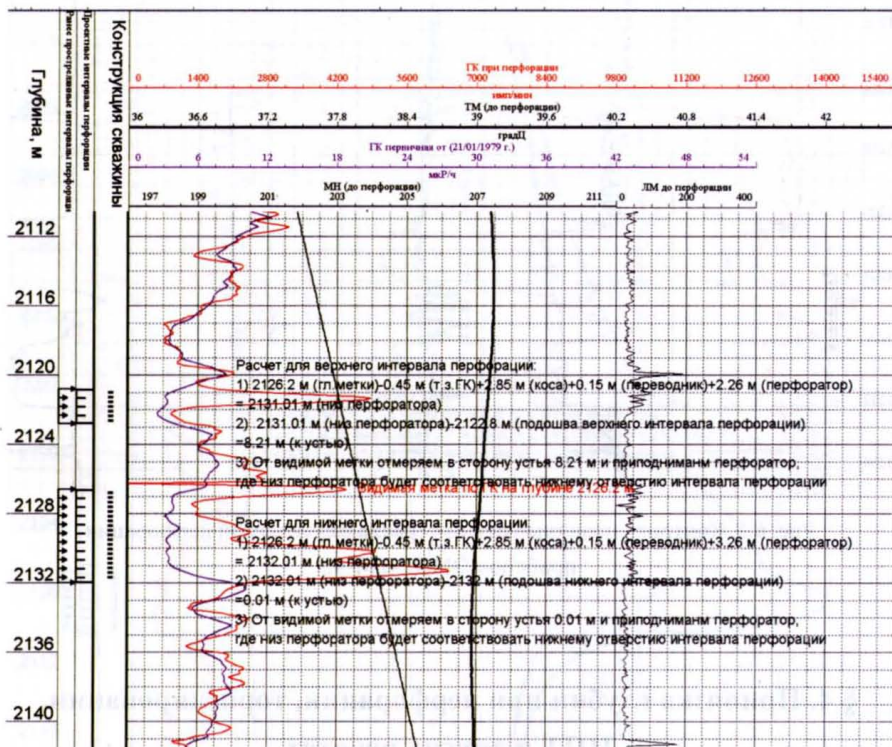


Рис. 6.6. Привязка глубин при перфорации на кабеле

При проведении работ на трубах (перфорация на трубах, ИПТ) привязка производится по совместной записи ГК и локатора муфт (рис. 6.6). Специально для целей привязки выше спускаемого оборудования (обычно 2–3 трубы) в колонну труб устанавливается реперный патрубок. В процессе спуска замеряется точное расстояние от элементов оборудования (головка перфоратора, пакер ИПТ и т.п.) до реперного

патрубка. После спуска оборудования в заданный интервал по мере инструмента производят запись кривых ГК и локатора муфт. Положение реперного патрубка определяют по кривой локатора муфт и привязывают его к разрезу скважины по кривой ГК. После этого проводят корректировку расположения оборудования в скважине и снова проводят привязочную запись.

§ 5. Контроль процесса цементирования

Станция контроля технологических параметров процесса цементирования (СКЦ) предназначена для сбора, оперативной обработки, регистрации и отображения технологических параметров процесса цементирования скважин в реальном масштабе времени с целью исключения осложнений и аварийных ситуаций, а также выдачи отчетов в процессе цементирования скважин (в цифровом и графическом виде).

Станция обеспечивает контроль пяти основных технологических параметров тампонажного раствора в нагнетательной линии блока манифольда. Основные технологические параметры, диапазон их измерения, значения предела допускаемой абсолютной погрешности измерения приведены в таблице 6.1.

Станция состоит из самоходной лаборатории и самоходного блока манифольда (рис. 6.7). Регистратор представляет собой ПК и контроллер сбора информации, смонтированные в лаборатории. На блоке манифольда установлен комплект первичных преобразователей D1–D4.

Контроль должен начинаться непосредственно перед началом проведения работ и может длиться не более 20 часов, контроль ведется с частотой опроса датчиков равной 1 секунде, для графического отображения результатов цементирования предусмотрено использование усредненных значений.

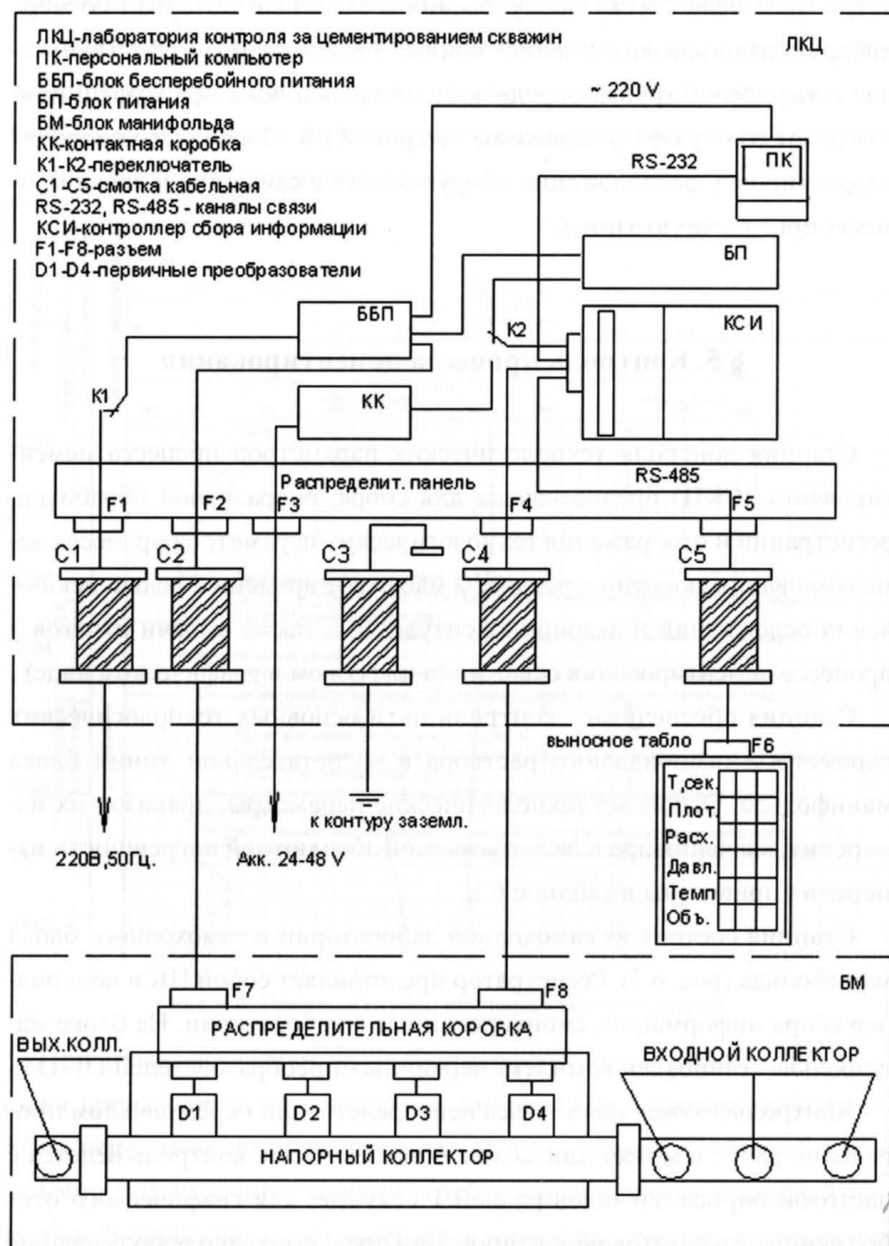


Рис. 6.7. Функциональная схема станции технологического контроля цементирования

Таблица 6.1

Основные технологические параметры

Наименование	Единица измерения	Диапазон измерения	Предел допускаемой абсолютной погрешности	Первичный преобразователь (датчик)
Гидростатическое давление	МПа	от 0 до 40	$\pm 0,6$	М-43ДИ
Мгновенный расход	л/с	от 1 до 50	$\pm 0,75$	РГР-100
Плотность	г/см ³	от 0,8 до 2,2	$\pm 0,15$	АКПР
Температура	°C	от 0 до 50	$\pm 0,5$	М-200Т
Объем закачки тампонажных растворов	м ³	от 0 до 100	-	Расчетная величина

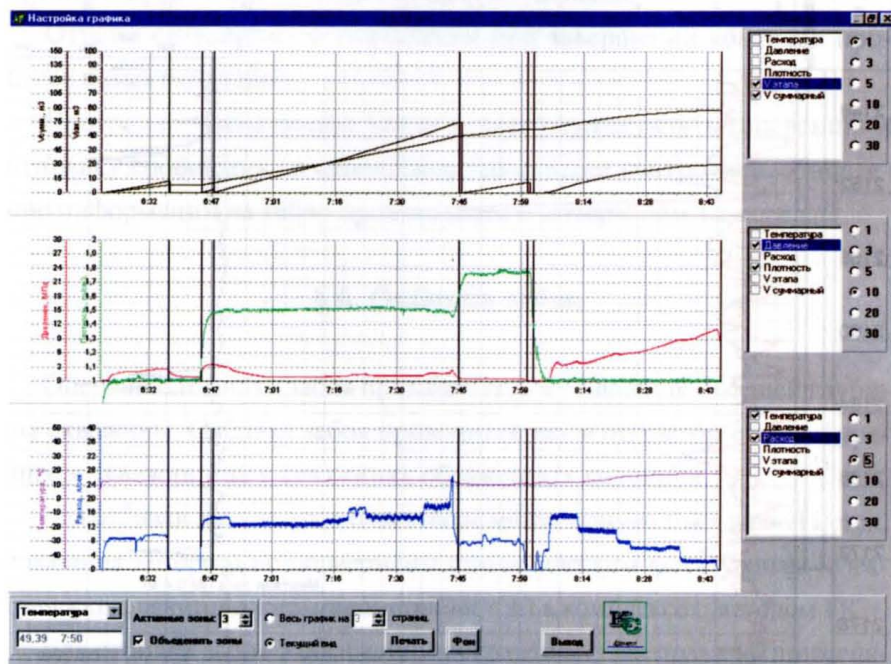


Рис. 6.8. Окно регистрации параметров цементирования



По прибытии на скважину, за два–три часа до начала цементирования обсадной колонны, необходимо:

- установить блок манифольда на скважине в непосредственной близости к устью скважины;
- лабораторию в любом месте, но не более 50 м от блока манифольда;
- соединить с помощью кабеля заземления лабораторию и блок манифольда к контуру заземления скважины;
- подключить станцию к электропитанию скважины сетевым кабелем, расположенном в навесном шкафу (20);
- соединить с помощью кабельных линий связи С2 и С4, регистра-

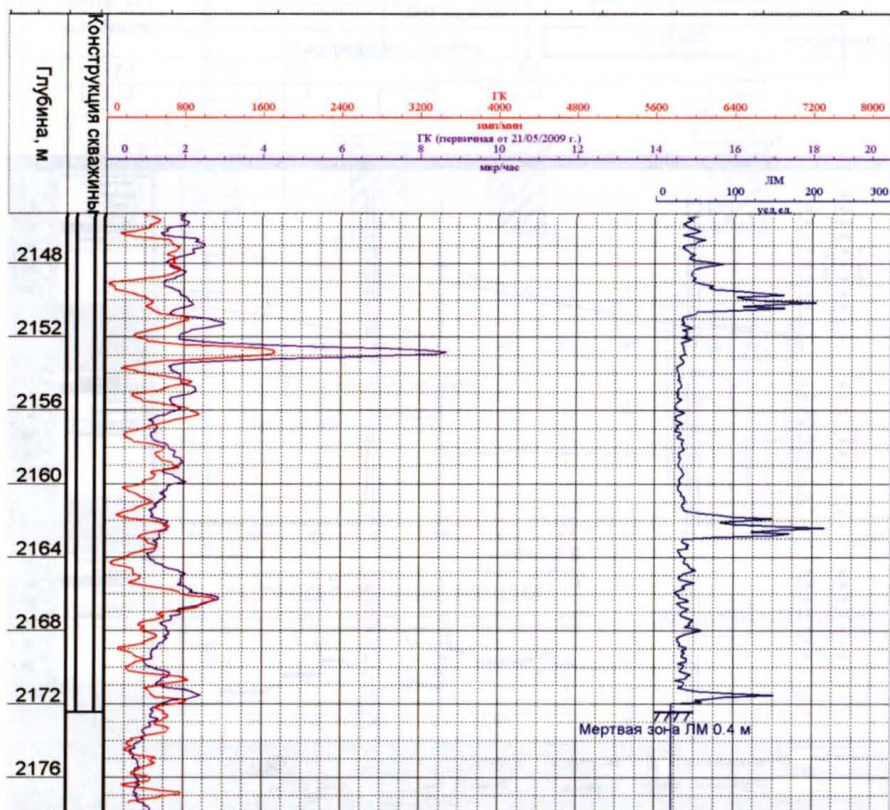


Рис. 6.9. Отбивка забоя

тор к распределительной коробке, соединенной с первичными преобразователями D1–D4 блока манифольда;

- извлечь с помощью манипулятора источник гамма-излучения из специального контейнера и поместить его в коллиматор первичного преобразователя плотности.

В процессе работы специалисты, анализируя измерительную информацию в табличной и графической форме, принимают решения и передают команды машинистам УНБ. Последние, выполняя команды, управляют процессом цементирования в реальном времени, предотвращая при этом возможные осложнения процесса и аварийные ситуации.

После окончания процесса цементирования в проект записывается время окончания работ и объемы растворов.

Графики показаний датчиков можно вывести на экран (рис. 6.8), результаты представить в виде таблицы и графиков.

Отчеты создаются автоматически при завершении контроля процесса цементирования.

Программа регистрации также может осуществлять генерацию и отправку сообщения на переносное табло через контроллер, обновление информации на табло производится с интервалом 1 секунда.

§ 6. Отбивка забоя

Операцию отбивки забоя применяют для уточнения текущей глубины скважины. Отбивка забоя проводится как в открытом стволе бурящихся скважин, так в скважинах обсаженных колонной.

Для отбивки забоя в открытом стволе может применяться любой метод, показания которого не подвержены статистическим флуктуациям (электрические, акустические, манометрия и т.д.) в комплексе с методом ГК.

Для отбивки забоя в обсаженных скважинах, как правило, применяется локатор муфт в комплексе с методом ГК (рис. 6.9).



§ 7. Шаблонирование ствола скважины

Шаблонирование ствола скважины силами геофизической партии проводится в следующих случаях:

- перед проведением прострелочно-взрывных работ;
- перед спуском в скважину приборов, содержащих источники ионизирующих излучений.

Целью шаблонирования является тестирование скважины на проходимость, что необходимо для предотвращения аварий с прострелочно-взрывной аппаратурой и источниками ионизирующих излучений. Следовательно, диаметр и длина шаблона должны соответствовать длине и диаметру применяемой аппаратуры, чтобы максимально точно имитировать ее спуск.

Как правило, геофизические предприятия в качестве шаблонов используют те же приборы, но без взрывчатых и радиоактивных веществ. Так, для шаблонирования ствола скважины перед ПВР используются пустые корпуса перфораторов, торпед, взрывпакеров, а перед спуском прибора с ИИИ – тот же прибор без установки в него ИИИ.

Список принятых сокращений и условных обозначений

АДС	– аккумуляторы давления скважинные (пороховые)
ВВ	– взрывчатые вещества
ВМ	– взрывчатые материалы
ВП	– взрывной пакер
ВПМ	– взрывной пакер манжетный
ВПШ	– взрывной пакер шлипсовый
ВНК	– водонефтяной контакт
ГГП	– гамма-гамма-плотномер
ГИРС	– геофизические исследования и работы в скважинах
ГК	– гамма-каротаж (интегральный)
ЕПБВР	– Единые правила безопасности при взрывных работах
ЗГРП	– заряд гидроразрыва пласта
ИВВ	– инициирующие взрывчатые вещества
ИИИ	– источник ионизирующего излучения
Инкл.	– инклинометрия
ИП	– интенсификация притока
ИПТ	– испытатель пластов на трубах
КВД	– кривая восстановления давления
КВУ	– кривая восстановления давления на забое скважины при подъёме уровня жидких флюидов в стволе
КД	– капсоль-детонатор
КИП	– контрольно-интерпретационная партия
ЛПС	– лаборатория перфораторной станции
ЛБТ	– легкосплавные бурильные трубы (легкие бурильные трубы)
ЛМ	– локация муфт колонн
МН	– манометрия
НКТ	– насосно-компрессорные трубы
ОЗЦ	– ожидание затвердевания цемента

ПВА	– прострелочно-взрывная аппаратура
ПВР	– прострелочно-взрывные работы
ПВПД-Н	– патрон взрывной предохранительного действия нечувствительный
ПГДБК	– пороховой генератор давления бескорпусной
ПГИ	– промыслово-геофизические исследования
ПГН	– патрон герметичный нечувствительный
ПГЦ	– гидравлический пакер самоцентрирующийся
ПЗП	– призабойная зона пласта
ПК	– перфоратор корпусной
ПКО	– перфоратор корпусной одноразовый
ПКТ	– перфоратор корпусной трубный
ПО	– прихватаопределитель
СВ	– средства взрывания
СИ	– средства инициирования
СТКЦ	– станция технологического контроля цементирования
СКО	– сверлящий керноотборник
СПО	– спуско–подъемные операции
ТДШ	– торпеда из детонирующего шнура
ТКО	– торпеда кумулятивная осевая
ТМ	– термометрия
ТРК	– труборез кумулятивный
ТШ, ТШТ	– торпеда шашечная
ТТНК	– терригенная толща нижнего карбона
УБР	– управление буровых работ
УБТ	– утяжелённые бурильные трубы
УГР	– управление геофизических работ
ЭД	– электродетонатор

Список используемой литературы

1. *С.А. Ловля.* Прострелочно-взрывные работы в скважинах. – М.: Недра, 1987.
2. *Краткий справочник по прострелочно-взрывным работам/под редакцией Н.Г. Григоряна.* – М.: Недра, 1990.
3. *Н.Г. Григорян, Д.Е. Пометун, Л.А. Горбенко, С.А. Ловля, Б.Л. Каплан.* Прострелочные и взрывные работы в скважинах. – М.: Недра, 1972.
4. *Н.Г. Григорян.* Вскрытие нефтегазовых пластов стреляющими перфораторами. – М.: Недра, 1982.
5. *Л.Я. Фридляндер.* Прострелочно-взрывная аппаратура и ее применение в скважинах. – М.: Недра, 1985.
6. *Р.Г. Габдуллин, Р.К. Иникаев.* Новые способы вторичного вскрытия пластов и конструкций забоев скважин. – Тюмень: Вектор Бук, 1998.
7. *Инструкция по разрыву пластов давлением пороховых газов.* – М.: 1970.
8. *Инструкция по освобождению прихваченных труб в скважинах взрывом.* – М.: Недра, 1982.
9. *В.Х. Исаченко.* Инклинометрия скважин. – М.: Недра, 1987.
10. *И.Г. Сковородников.* Геофизические исследования скважин. – Екатеринбург, 2009.
11. *М.А. Садовский.* Опытные исследования механического действия ударной волны взрыва.: Труды сейсмологического института АН СССР, № 116. – М.–Л.: 1945.
12. *Г.М. Ляхов, Г.И. Покровский.* Взрывные волны в грунтах. – М.: 1962.
13. *А.Я. Атин, Г.В. Димза.* О детонации наполненных и смесевых ВВ. – М.: Госгортехиздат, 1974. Взрывное дело № 74/31.
14. *М.П. Мохначев, В.В. Пришташ.* Динамическая прочность горных пород. – М.: Наука, 1982.
15. *З.Ш. Ахмадишин.* Совершенствование технологии и результаты применения заколонных пакеров на месторождениях Тюменской области. – М. 1986. Нефтяное хозяйство.
16. *Ю.П. Желтов.* Разработка нефтяных месторождений. – М.: Недра, 1986.

17. *Ш.Г. Шаисламов*. Совершенствование методических основ выбора перфорации для одновременно-раздельной эксплуатации пластов. – Уфа, 2008.
18. *О.В. Терехов*. Совершенствование аппаратуры акустического телевизора и разработка методики исследования технического состояния скважин. – Уфа, 2007.
19. *Ф.А. Баум, А.С. Державец, Н.С. Санасарян*. Термостойкие взрывчатые вещества и их действие в глубоких скважинах. – 1969.

Предметный указатель

Б

Бризантность 12

Бризантные (вторичные) взрывчатые вещества 36

В

Взрыв 11

Взрывной процесс 9

Взрывной пакер 137

Взрывчатые вещества 36

Г

Газообразование 10

Горение 11

Грунтонос 124

Д

Детонация 11

Детонационная способность ВВ 37

Детонирующие шнуры 45

Дымный порох 41

З

Заряды гидроразрыва пласта 191

Зона пластических деформаций 24

Зона упругих деформаций 24

И

Изоэнтропа 12

Иницирующие (первичные) взрывчатые вещества 47

Имплозийный ловитель 200

К

Капсюль-детонатор 90

Калорийность (теплота сгорания) 39

Кольцевой пакер 140

Кумулятивное действие заряда ВВ 26

Кумулятивный заряд 26

Кумулятивная перфорация 67, 78

Кумулятивная струя 26
Кумулятивные труборезы 160
Кумулятивный эффект 26

Л

Локатор муфт 219

М

Медленное термическое разложение 10

О

Огнепроводные шнуры 45

П

Передача детонации 28
Пиротехнические составы 37
Плотность перфорации 102
Пороха (метательные ВВ) 36, 39
Прихватоопределитель 210
Пробоотборник 134
Пулевая перфорация 73

Р

Разобшение пластов 135
Работоспособность 11
Расстояние передачи детонации 28

С

Сила пороха 40
Скорость горения пороха 40
Скорость детонации 10, 12
Средства инициирования 42

Т

Телеметрические системы 206, 207
Температура взрыва 37
Теплота взрыва 9
Термостойкость заряда 33
Топливо-окислительные системы 36
Торпедная перфорация 75

Торпеды кумулятивные осевого действия 149

Торпеда из детонирующего шнура 198

У

Ударная волна 9

Ф

Фугасность 11

Фугасные торпеды 158

Ц

Цементировочный взрывной пакер 139

Ч

Чувствительность ВВ 35

Чувствительность ВВ к удару 34

Чувствительность к наколу 35

Чувствительность к трению 35

Чувствительность ВВ к взрывному импульсу 35

Ш

Шаблонирование 220

Шлипсовый взрывной пакер 137

Э

Экзотермичность процесса 9

Экссудация 55

Электродетонатор 44

Электровоспламенитель 42

Электрозапал 42

Энергия активации 56