

Ю. С. КОСТИН

СОВРЕМЕННЫЕ
МЕТОДЫ
НАПРАВЛЕННОГО
БУРЕНИЯ
СКВАЖИН



МОСКВА «НЕДРА» 1981

УДК 622.243.23

Костин Ю. С. Современные методы направленного бурения скважин. М. Недра, 1981, 152 с.

Приведен анализ современных технических средств для искусственного искривления скважин и даны рекомендации по выбору наиболее перспективных из них. Изложены методы проектирования направленных скважин. Описаны разработанные автором отклонители непрерывного действия типа ТЗ и автоматический ориентатор АЗОР-1, получившие широкое признание специалистов. Даны рекомендации по повышению точности искусственного искривления и рациональной организации работ. Большое внимание уделено опыту применения современных методов направленного бурения.

Для инженерно-технических и научных работников геолого-разведочных предприятий.

Табл. 26, ил. 46, список лит. — 22 назв.

Рецензент д-р техн. наук Е. Л. Лиманов (Казахский политехнический институт).

К $\frac{20804-200}{043(01)-81}$ 146—81 2502000000

© Издательство «Недра», 1981

ВВЕДЕНИЕ

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» сказано: «Обеспечить ускоренное развитие работ по геологическому изучению территории страны, увеличению разведанных запасов минерально-сырьевых ресурсов...»

Развитие минерально-сырьевой базы страны неразрывно связано с необходимостью совершенствования техники и технологии разведочного бурения, на которое ежегодно затрачивается до 30% ассигнований геологоразведочных работ. При этом постоянно возрастают объемы колонкового разведочного бурения. В связи с необходимостью форсирования поисков и разведки на 15% увеличился объем буровых работ на ряде месторождений в северных, восточных и среднеазиатских районах страны, а также в зоне БАМа. В седьмой пятилетке темпы прироста скорости бурения составили 3,1%, в восьмой—3,7% (369 м/ст.-мес в 1970 г.), в девятой—5,5% (470 м/ст.-мес). Эти высокие технико-экономические показатели развития разведочного бурения достигаются на основе технического переоснащения отрасли (создания новых высокоскоростных буровых установок, легкосплавной бурильной колонны, новых видов породоразрушающего инструмента), внедрения новых способов бурения (со съемными керноприемниками, гидротранспортом керна, ударно-вращательным, алмазными коронками), широкого внедрения высокоскоростной технологии бурения с применением новых видов промывочной жидкости и смазывающих добавок, уменьшения диаметра скважин и породоразрушающего инструмента.

В связи с этим возрастает актуальность проблемы направленного бурения, так как применение форсированных режимов и уменьшение диаметра скважин сопровождается более интенсивным естественным искривлением, нарушающим параметры разведочной сети и снижающим качество работ. Повышение актуальности исследований по проблеме направленного бурения обусловлено и постоянным увеличением глубинности геологоразведочных работ: за девятую пятилетку объем буровых скважин большой глубины (1200—2000 м) увеличился на 31,3%. Задачи по сокращению сроков разведки месторождений без снижения качества геологической информации успешно решаются при использовании направленных и многоствольных скважин, экономическая эффективность которых возрастает с увеличением глубины разведки, сгущении разведочной сети.

Внедрение методов направленного бурения на основе современной техники и технологии, совершенствование методики разведки по прогнозу ВИТРа может обеспечить до 40—50 млн. руб. экономии за пятилетие по отрасли.

Особую актуальность приобретают методы направленного бурения при геологоразведочных работах в восточных и северных районах страны, где транспортировка бурового оборудования, строительство новых буровых площадок и коммуникаций связаны с огромными трудностями и затратами.

Повышение требований к качеству буровых работ, общий рост технического уровня отрасли, внедрение новой системы планирования и материального стимулирования, появление новых надежных технических средств и другие положительные изменения в отрасли геологоразведочного производства способствовали в последние годы широкому распространению методов направленного бурения на твердые полезные ископаемые не только на месторождениях Казахстана, Украины, Урала, где впервые в отечественной практике колонкового бурения они были успешно применены и получили развитие, но и на месторождениях Западной и Восточной Сибири, Таймыра, Якутии, Чукотки, Дальнего Востока, Средней Азии, Закавказья, Северо-Запада, Забайкалья, Приамурья и других регионов страны. Однако технический уровень работ по направленному бурению неодинаков. Во многих производственных организациях практикуются устаревшие методы направленного бурения, что безусловно снижает эффективность и не позволяет в полной мере использовать их возможности для совершенствования методики разведки. В связи с этим издание книги, освещающей наиболее прогрессивные методы выполнения работ при направленном бурении, является настоятельной необходимостью.

В Забайкальском комплексном научно-исследовательском институте в течение последних пятнадцати лет в тесном сотрудничестве с рядом производственных организаций проводят работы по созданию и внедрению современных технических средств и технологии направленного бурения скважин. В настоящее время бесклиновые отклонители ЗабНИИ успешно прошли приемочные отраслевые испытания и выпускаются серийно. Разработки института получили широкое внедрение в геологоразведочных предприятиях страны, а также на некоторых месторождениях Монголии, Афганистана и Чехословакии.

Автором предпринята попытка обобщить результаты исследований по проблеме направленного бурения. При этом основное внимание уделено методам направленного бурения, основанным на способах искусственного искривления с применением наиболее прогрессивной техники — отклонителей непрерывного действия (ОНД). В книге изложены в основном

результаты исследований отдела направленного бурения ЗабНИИ, выполненных под научным руководством и при непосредственном участии автора.

Главы II, III, VI написаны по материалам исследований, в которых принимали участие В. В. Перминов, Ю. Г. Соловов, Г. Д. Куклин, С. В. Голубин, Ю. Ф. Блохин (ЗабНИИ), В. Р. Бруев, Б. Е. Стеблов, В. М. Вторых, М. П. Олексенко и другие специалисты производственных организаций. При подготовке глав VII—IX использованы материалы экспериментальных исследований, выполненных Ю. Ф. Блохиным, С. В. Голубиным, И. В. Кукушкиным под руководством автора. Большую помощь при оформлении книги оказали С. М. Лобанов, О. А. Бобылева и А. Б. Мержеевский. Всем этим товарищам автор выражает глубокую благодарность.

Кроме того, автор считает своим приятным долгом выразить признательность Г. П. Гагарину, Е. Н. Смирнову, И. М. Селезневу и В. Ф. Жабреву за постоянную поддержку и неоценимую практическую помощь при разработке и внедрении отклонителей, а также С. С. Сулакшину.

В связи с тем, что данная работа была подготовлена до введения в действие СТ СЭВ 1052—78, в ней применены единицы системы СГС. Для перевода этих единиц в соответствующие единицы СИ ниже даны переводные коэффициенты.

Давление. $1 \text{ кгс/см}^2 = 98\,066,5 \text{ Па} \approx 0,1 \text{ МПа}$.

Сила, вес. $1 \text{ кгс} = 9,806\,65 \text{ Н} \approx 10 \text{ Н}$.

Момент силы. $1 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 9,806\,65 \text{ Н} \cdot \text{м} \approx 10 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Глава I

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН

§ 1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

Методы направленного бурения, применяемые ранее в основном для удержания скважины на проектной трассе и предотвращения нежелательного искривления, в последние два десятилетия все более широко и успешно используют для проходки скважин сложного профиля, содержащего проектные криволинейные интервалы и дополнительные стволы в различных направлениях.

Возникающие при этом вопросы и задачи геолого-методического, технологического, экономического и конструкторского характера в целом составляют проблему направленного бурения, актуальность которой, несмотря на имеющиеся достижения, с годами не снижается, а, наоборот, повышается в связи с тенденцией уменьшения диаметра скважин, увеличения глубинности геологоразведочных работ, повышения требований к качеству работ и другими факторами.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по проблеме направленного бурения геологоразведочных скважин в нашей стране выполняют специализированные лаборатории научно-исследовательских институтов (ВИТРа, КазИМСа, ИМРа и ЗабНИИ), кафедры некоторых вузов (Томского, Донецкого, Новочеркасского, Тюменского, Уральского, Ташкентского и других институтов), опытно-методические партии новой техники многих производственных геологических объединений (Уральского, Красноярского, Северо-Западного, Восточно-Казахстанского, Иркутского, Читинского, Северо-Восточного и др.).

Решением вопросов теории и практики направленного бурения колонковых скважин занимается ряд специалистов, работы которых получили широкую известность, С. С. Сулакшин, А. О. Кайзер, А. Г. Калинин, В. В. Щитихин, Е. Л. Лиманов, Ю. Т. Морозов, Ю. Л. Боярко, Б. И. Спиридонов, И. Н. Страбыкин, В. Г. Вартикян, А. М. Курмашев, И. М. Юдборовский, Г. Г. Анненков, Л. И. Петрачков, М. П. Олексенко, С. В. Шаравин, Б. Е. Стеблов, В. М. Вторых, В. В. Перминов, Я. С. Сайфуллин и многие другие.

В настоящее время известно большое число технических

средств для бурения направленных и многоствольных скважин. Среди этих средств необходимо отметить конструкции ВИТРа, прошедшие приемочные испытания и изготавливаемые опытным заводом института — извлекаемые отклонители СО для искусственного искривления от естественного забоя в скважинах диаметром 76, 59 и 46 мм; неизвлекаемые отклонители КОС для забуривания дополнительных стволов, пробка-забой ПЗ диаметром 76, 59 и 46 мм для перекрытия ствола скважин, алмазные комбинированные коронки 12А3 и 13ИЗ (АКШ и ИКШ) для скважин диаметром 76 и 59 мм, используемые при отбурке от клина, расширении скважин и в составе шарнирных компоновок; буровые шарниры ШУ диаметром 73, 57, 44 и 34 мм; ориентирующая аппаратура «Курс» и «Луч» для ориентирования отклонителей в скважинах; инклинометр одноточечный ОК-40У с лебедкой ЛОК-2000.

За период 1968—1975 гг. опытным заводом ВИТРа выпущено отклонителей КОС-73, 57, 44 с пробками ПЗ более 1700 комплектов; СО-73, 57 — более 1350; ШУ-73, 57, 44 — более 1600 шт., ориентаторов «Курс» — более 300 комплектов, инклинометров ОК-40У — около 250 комплектов.

Кроме создания технических средств, сотрудниками ВИТРа внесен большой вклад в разработку методических вопросов направленного бурения, исследованы и разработаны параметры шарнирных компоновок, обобщен производственный опыт бурения направленных и многоствольных скважин, оказана научно-методическая помощь по внедрению методов направленного бурения на ряде важнейших месторождений страны. В последние годы в ВИТРе ведутся исследования по созданию бесклинового отклонителя непрерывного действия, совершенствованию и разработке ориентирующей и инклинометрической аппаратуры. Кроме того, ВИТР — головная организация научно-исследовательских работ по проблеме направленного бурения на твердые полезные ископаемые в СССР.

Отделом техники разведки ИМРа (г. Днепропетровск) в последние годы разработан ряд технических средств, которые широко используются на Украине — отклонитель непрерывного действия СНБ-ИМР; технологический снаряд ТС с кислотным инклинометром, обеспечивающий оперативный замер зенитного угла с одновременной проработкой интервала искривления; электрический ориентатор СТ-1А для ориентирования отклонителей; шарнирные компоновки различных конструкций. В ИМРе выполнены работы по исследованию и использованию закономерностей естественного искривления скважин в Кривбассе и Донбассе, определено влияние технических параметров бурения на интенсивность искривления скважин, исследована работа различных отклонителей. При испытании СНБ-ИМР установлено, что искривление скважины происхо-

дит по кривой параболического вида со средней интенсивностью 1,7 градус/м. При этом набор кривизны регулировали длиной рейса. Для работы в крепких породах сотрудниками ИМРа было применено керноприемное долото с накопителем. Большая работа проведена в ИМРе по анализу работы шарнирных компоновок в породах различной категории буримости. Установлено, что в породах VIII—IX категорий интенсивность набора кривизны шарнирной компоновкой в 2—2,5 раза выше расчетной (по параметрам вписываемости), в породах X категории полученная кривизна близка к расчетной, в породах XI—XII категорий фактическая кривизна ниже расчетной. При этом отмечено, что наиболее стабильна работа компоновки при зенитных углах более 15 градусов.

В КазИМСе исследования по направленному бурению ведут с 1957 г. Сотрудниками института внесен значительный вклад в развитие техники, технологии и методики бурения направленных и многоствольных скважин. В последние годы разработан ряд технических средств для направленного бурения — клиновые отклонители типа СНБ-КО для скважин диаметром 93, 76, 59 и 46 мм; технологические снаряды СПИ для плавного набора кривизны; снаряды-фрезеры для проработки дополнительных стволов в интервале их ответвления; контейнеры для доставки тампонажных смесей в скважину с целью создания искусственного забоя; ориентаторы УШО-1, которые получили широкое внедрение; инклинометр «Зенит» для непрерывного измерения пространственного положения скважины. Сотрудниками КазИМСа оказана помощь по внедрению технологии направленного бурения Мурманской, Северо-Уральской, Амакинской ГРЭ и ряду экспедиций Казахстана, Украины, Якутии. В институте ведут интересные исследования по применению динамических жестких компоновок снаряда для стабилизации направления скважин в условиях проявления интенсивного естественного искривления. В последние годы начата разработка бесклинового отклонителя непрерывного действия с гидроприводом.

В ЦНИГРИ разрабатывают специальный алмазный породоразрушающий инструмент для целей направленного бурения. Проведены приемочные испытания долот АНД-08 и ИНД-08 для скважин диаметром 76 мм и завершают испытания долот диаметром 59 мм.

В ЗабНИИ исследования по проблеме направленного бурения ведутся с 1965 г. Здесь разработан ряд технических средств для бурения направленных и многоствольных скважин — бесклиновой отклонитель непрерывного действия ТЗ-3 для скважин диаметром 112, 93, 76 и 59 мм; буровые шарниры ШБЗ и ШБА; тампонажные снаряды СТ для доставки быстротвердеющих смесей в скважину при создании искусствен-

ного забоя; угломерный прибор ПУ для ориентирования отклонителей на поверхности; ориентатор ОП; перебурник ЛП-3 и другие устройства, входящие в комплекс техники для направленного бурения. Кроме того, разработан ряд методик по рациональному выполнению различных работ при направленном бурении — проектирование и проведение направленной скважины, определение параметров искусственного искривления, документирование работ, определение точности искривления, анализ эффективности технических средств и технологии, оценка перспектив направленного бурения в конкретных условиях; оказана научно-методическая и практическая помощь ряду производственных организаций по внедрению современных методов направленного бурения (Уральскому, Северо-Западному, Якутскому, Красноярскому, Иркутскому, Читинскому, Центрально-Казахстанскому, Восточно-Казахстанскому, Северо-Восточному ПГО и др.).

Сотрудники кафедры техники и технологии разведочных работ Томского политехнического института в течение многих лет ведут исследования по проблеме направленного бурения. С. С. Сулакшин и его ученики внесли большой вклад в развитие теоретических основ методики и технологии направленного бурения. Среди технических разработок коллектива кафедры следует отметить самоориентирующий дефлектор, отклонители для выкручивания скважин, бесклиновой отклонитель, специальные алмазные коронки для измерения направления скважин в анизотропных породах. Кроме того, разработана методика изучения закономерностей естественного искривления и составлена программа обработки данных на ЭВМ. Под руководством С. С. Сулакшина классифицированы современные способы направленного бурения и предложена классификация типов месторождений для оценки перспектив направленного бурения. Большая научно-методическая помощь оказана сотрудниками кафедры по внедрению методов направленного бурения в Кузбассе.

Значительный вклад в развитие направленного бурения вносят специалисты производственных организаций. Партией новой техники Восточно-Казахстанского ПГО разработан съемный клиновой отклонитель СНБ, стационарный клин КС с надежным отбуривающим устройством ОУ, одноточечный инклинометр МИ-42, буровой шарнир и ряд компоновок технологических снарядов. Партией новой техники Центрально-Казахстанского ПГО разработаны отклонители БСНБ-108, 89, 73, которыми произведено более 500 циклов искривлений. Партией новой техники Южно-Казахстанского ПГО разработан комплекс технических средств СНБ-АС-76, 59, в который входят отклонитель съемный, расширитель пилот-скважины, механический ориентатор, шарнирная компоновка, стол для

ориентации отклонителя, поворотная плита. Эти технические средства применяются в ряде ПГО. Комплекс СНБ-АС выпускается Алма-Атинским геологоремонтным заводом сериями 50—60 комплектов ежегодно. Партией новой техники Уральского ПГО разработан и внедрен, в основном на месторождениях Урала, ряд технических средств направленного бурения — клиновой отклонитель НД, отклонитель АН-57, прошедший приемочные испытания, электромеханический ориентатор СЭОКЛ. Партией новой техники Читинского ПГО разработан клиновой отклонитель СКО-73, 57 в сочетании с гидромеханической пробкой-забоем, который имеет некоторые преимущества перед аналогичной разработкой ВИТРа. СКО успешно применяются на объектах работ ЧПГО для забуривания дополнительных стволов. Кроме того, специалисты партии проводили исследования по созданию конструкции бесклинового отклонителя на базе ТЗ-3 с введением гидравлического узла, заменяющего статорную пружину. Подобная работа выполнена специалистами Волго-Донского ПГО. Эта работа представляется перспективной, так как расширяет методические возможности применения отклонителей типа ТЗ. Партией новой техники Северо-Кавказского ПГО разработаны шарнир кулачковый и специальные шарнирные компоновки для выполнения и выкручивания скважин, которые применялись при направленном бурении на некоторых месторождениях Азербайджана.

В зарубежной практике направленное бурение осуществляется в основном с помощью клиновых отклонителей типа Холл-Роу, Клаписсона и забойного винтового двигателя фирмы «Дайна-дрилл» (США). Этот двигатель диаметром до 47 мм с кривым переводником в последние годы приобрел широкое распространение в практике американских и западногерманских фирм при бурении направленных скважин. Однако он требует большого расхода промывочной жидкости и развивает недостаточную мощность на забое. Использование малогабаритных забойных двигателей для направленного бурения является перспективным направлением, поэтому ЗабНИИ совместно с ВНИИБТ начаты и ведутся исследования по созданию новых отклонителей на базе отечественного двигателя Д-54.

Таким образом, характеризуя общий технический уровень проблемы направленного бурения, можно отметить следующее.

1. Исследователями разных организаций созданы различные технические средства, в целом составляющие комплекс техники для направленного бурения. При этом часть средств сходна по назначению и по технико-экономическим показателям, например клиновые отклонители (СО, СНБ, СНБ-КО,

СНБ-АС), буровые шарниры, технологические снаряды, шарнирные компоновки, ориентаторы («Курс», УШО-1, СЭОКЛ и т. п.). Многообразие аналогичных конструкций местного значения затрудняет выбор наилучшей и организацию серийного выпуска.

2. Для набора кривизны скважин наиболее целесообразен комплекс технических средств, включающий отклонитель непрерывного действия, долото, ориентатор, угломер и технологические компоновки для проработки изгиба скважины и дополнительного набора кривизны. Для бурения многоствольных скважин этот комплекс дополняется для крепких пород пробкой-забоем, стационарным клином, отбурочным устройством; для пород средних категорий — контейнером или тампонажным устройством с БТС.

3. Недостаточно внимания уделяется разработке технических средств направленного бурения скважин диаметром 59, 46, 93 и 112 мм.

4. Среди новых разработок перспективно создание отклонителей на базе забойного малогабаритного двигателя.

5. Многие исследователи ведут разработку бесклиновых отклонителей непрерывного действия, что подтверждает актуальность и перспективность этого направления.

6. Недостаточно внимания уделяется созданию технических средств стабилизации направления скважин в условиях проявления естественного искривления.

7. Недостаточно исследованы вопросы автоматизации контроля за пространственным положением ствола скважины в процессе бурения.

§ 2. СОСТОЯНИЕ НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАХ СТРАНЫ

Геологоразведочные скважины глубиной более 300 м большей частью являются направленными, так как для их проведения в заданные точки разведочной сети необходимо выполнить тот или иной объем специальных работ — изучение и учет закономерностей искривления, применение техники и технологии искусственного искривления, предупреждение естественного искривления, стабилизация направления и т. п. В Министерстве геологии СССР в девятой пятилетке выполнен значительный объем направленного бурения. По данным ВИТРа из 12550 скважин, пробуренных за период 1971 — 1975 гг., в 7350, или 58,5%, проводилось искусственное искривление. При этом общее количество искусственных искривлений составило 25 000—30 000. В связи с увеличением общих объемов буровых работ и увеличением глубины разведки следует ожидать возрастания объемов работ, связанных с методами направленного бурения.

В соответствии с результатами опроса производственных организаций, проведенного ВИТРОм в 1975 г., шестнадцатью организациями пройдено 125 дополнительных стволов, сэкономлено 37,1 тыс. м, причем при бурении многоствольных скважин проходило от одного до четырех дополнительных стволов средней длиной от 125 до 480 м. В среднем экономический эффект на каждом сэкономленном метре скважин составил не менее 10 руб. При этом отмечена недостаточная обеспеченность производственных организаций техническими средствами направленного бурения — 50% опрошенных организаций либо не имеют специальной техники, либо обеспечены ею на 25—50%. Среди производственных организаций, где методы направленного бурения применяются стабильно в течение многих лет в больших объемах, где накоплен богатый опыт решения ряда производственных задач и где на высоком уровне ведется совершенствование технологии направленного бурения с применением современной техники, следует отметить геологоразведочные предприятия Украины, Урала, Казахстана, Таймыра. При этом методы направленного бурения в основном используются для корректировки трассы при проходке направленных и многоствольных скважин. В последние годы «география» направленного бурения значительно расширилась: при разведке железорудных месторождений Ангаро-Илимского бассейна специалистами Иркутского ТГУ успешно применяются эти методы при выведении скважин на заданные трассы в условиях интенсивного естественного искривления и бурения многоствольных скважин; специалистами Читинского ПГО эти методы с большим экономическим эффектом применялись при разведке Итакинского месторождения; широкое распространение эти методы приобрели в Гагаринской ГРП; без использования направленного бурения оказалась весьма затруднительной разведка оловорудных штокверков в Чаунской ГРЭ СВПГО; с применением наклонно-направленных скважин значительно усовершенствована методика поисков и сокращены сроки работ на Карамкенском месторождении, началось бурение многоствольных скважин при разведке глубоких горизонтов месторождений в Приморском ПГО; большую работу по внедрению методов направленного бурения провели специалисты Комсомольской ГРЭ Дальневосточного ПГО, специалисты Аллах-Юньской ГРЭ Якутского ПГО; для борьбы с интенсивным естественным искривлением успешно применены методы направленного бурения на Холоднинском месторождении Бурятского ПГО. В последнее время методы направленного бурения заинтересовали специалистов производственных организаций Армении, Азербайджана, Грузии, Башкирии и ряда других регионов страны. Как правило, на первом этапе использование методов направленного бурения носит вынуж-

денный характер, т. е. их необходимо применять для устранения нежелательных последствий естественного искривления или ликвидации аварий. После освоения и отработки технологии с учетом местных условий начинается творческое использование возможностей направленного бурения для совершенствования методики поисков и разведки, таким образом использование этих методов принимает плановый характер. Решение задач по изысканию резервов повышения качества геологоразведочных работ, сокращение затрат и сроков разведки заставляет все более широко использовать методы направленного бурения. Для современного состояния проблемы характерно резкое возрастание требований к качеству выполнения работ и сокращению непроизводительных затрат времени при направленном бурении. Особенно растут требования к точности искривления, к надежности отклонителей, ориентаторов, породоразрушающего инструмента. При этом возникает необходимость расширения научно-исследовательских работ по совершенствованию методов направленного бурения, созданию современной, экономичной техники, развитию технологической службы в геологоразведочных организациях и обеспечению ее соответствующей технической базой.

Таким образом, можно отметить:

а) ежегодный значительный рост объема работ, связанных с методами направленного бурения;

б) наиболее высокую экономичность, которую обеспечивают методы направленного бурения скважин при совершенствовании методики разведки;

в) значительное расширение «географии» внедрения методов направленного бурения за счет восточных регионов страны;

г) актуальность методов направленного бурения на современном этапе технического развития геологоразведочной отрасли и связанное с этим повышение требований к улучшению качества, надежности и экономичности техники и технологии выполнения этих работ;

д) недообеспеченность производственных организаций средствами направленного бурения.

Вместе с тем нельзя не сказать об отставании в разработке методологических вопросов экономики направленного бурения. Например, рекомендуемый СУСН поправочный коэффициент 1,15 при планировании многоствольных скважин «стимулирует» проводку неоправданно удлиненных дополнительных стволов с малым угловым отклонением от основного ствола, в то время как наиболее целесообразно бурить короткие дополнительные стволы с максимальным угловым отклонением, что потребует значительно меньших затрат времени и средств. Назрела необходимость замены постоянного попра-

вочного коэффициента на дифференцированный, учитывающий угловое отклонение, длину дополнительного ствола, удаленность отклонения от поверхности и другие факторы. Такой дифференцированный коэффициент, характеризующий трудоемкость направленного бурения скважин, должен учитываться и при планировании показателей производительности труда на буровых работах, что повысит заинтересованность производственных организаций и в итоге будет способствовать внедрению наиболее прогрессивных методов направленного бурения.

Исходя из обзорного анализа современного состояния проблемы направленного бурения и основных тенденций в развитии методики и техники разведки, можно выделить основные пути исследований и решений этой проблемы:

а) совершенствование методики разведки на основе современных технических средств направленного бурения;

б) разработка малооперационной технологии направленного бурения на основе отклонителей непрерывного действия в комплексе с вспомогательным инструментом, учитывающей изменяющиеся горнотехнические условия;

в) исследование и повышение надежности технических средств направленного бурения;

г) повышение точности и результативности работ при направленном бурении;

д) исследование вопросов экономики направленного бурения.

Глава II

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН

§ 1. НАЗНАЧЕНИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДОВ НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

Методы направленного бурения, обеспечивающие проведение скважины по наиболее экономичной трассе прямолинейного или криволинейного характера с ответвлениями дополнительных стволов независимо от особенностей естественного искривления, позволяют решать ряд практических задач при геологоразведочных работах, выполняемых с помощью бурения (рис. 1).

1. Проведение скважины по проектной трассе в условиях интенсивного естественного искривления (рис. 1,а), что предотвращает брак буровых работ.

2. Увеличение угла встречи с рудным телом или продуктивным пластом, что способствует получению более представительных данных буровой разведки.

3. Обход горных выработок или мест тяжелых буровых аварий (рис. 1,б).

4. Повторное пересечение рудных тел или продуктивных залежей (рис. 1,в), что значительно повышает геологическую информацию и представительность буровых работ.

5. Бурение многоствольных скважин при разведке глубокозалегающих рудных тел и продуктивных пластов (рис. 1,г), крутопадающих рудных тел (рис. 1,д) по плотной разведочной сети, что позволяет на 30—40% сократить объем работ и сроки их выполнения.

6. Бурение вертикально-наклонных скважин (рис. 1, е) с целью использования высоких копров и улучшения технологического состояния стволов в верхних малоустойчивых интервалах разреза.

7. Исследование мест заложения шахт многоствольными скважинами (рис. 1,е) с целью сокращения затрат времени и средств.

8. Пересечение наклонно направленными скважинами серии субпараллельных близрасположенных крутопадающих рудных тел (рис. 1, ж), что повышает информативность буровых работ и сокращает затраты и сроки разведки.

9. Бурение скважин в труднодоступной местности, когда невозможно заложить ствол в нужном месте (рис. 1,з).

10. Бурение скважин со стороны лежащего бока крутопа-

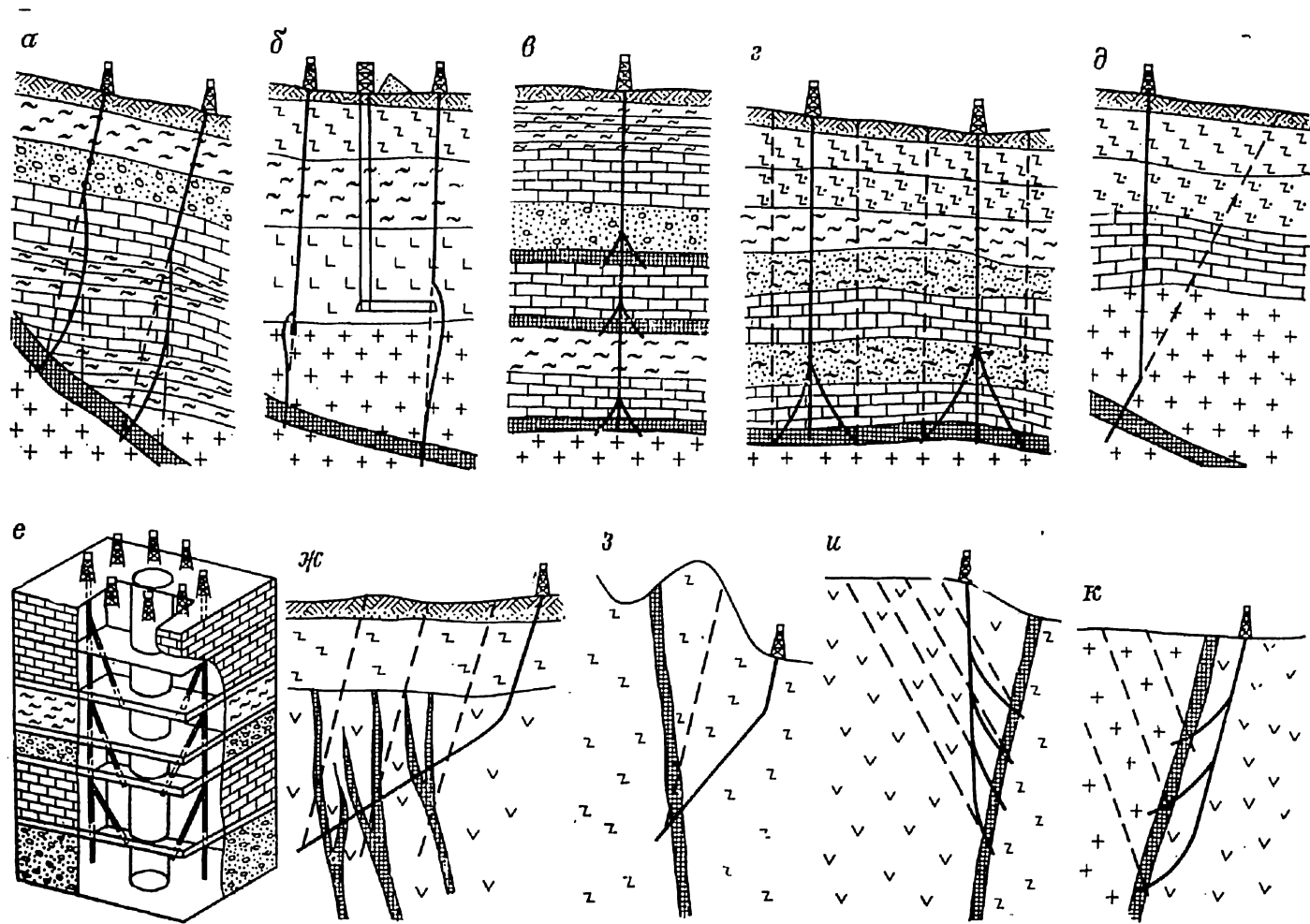


Рис. 1. Схемы к решению основных задач, решаемые методами направленного бурения

дающего рудного тела, когда проходка с висячего бока сопровождается значительными геологическими осложнениями (рис. 1,к).

11. Повторный отбор керна с отдельных интервалов скважины, необходимость в котором возникает при бескерновом бурении, при недостаточном выходе керна и других подобных случаях.

12. Проверка аномальных интервалов, выделенных геофизическими работами, путем повторного бурения дополнительных стволов.

13. Отбор технологической пробы повторным бурением по рудному телу или пласту с целью замены горной выработки.

14. Поиски слепых и оконтуривание сложных рудных тел.

Перечисленные задачи, взятые из практики направленного бурения передовых производственных организаций страны, безусловно, не исчерпывают всех возможностей направленного бурения.

Среди методов направленного бурения выделяются методы, основанные на использовании закономерностей естественного искривления, и методы, основанные на использовании способов искусственного искривления. Как показывает практика передовых организаций, наибольшая эффективность достигается при комплексном применении этих методов, сочетающих использование закономерностей естественного искривления скважин с возможностями способов искусственного.

§ 2. ОСНОВНЫЕ ГЕОЛОГО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

Основой в выборе методов направленного бурения является оценка ряда признаков геолого-методического характера, среди которых можно выделить глубину залегания, угол падения, мощность рудных тел или продуктивность залежей, характер распределения полезного компонента, стадию геологоразведочных работ, плотность разведочной сети и т. п.

С увеличением глубинности геологоразведочных работ обычно возрастают перспективы методов направленного бурения, так как появляются благоприятные предпосылки для эффективного использования многоствольных скважин. Кроме того, при бурении дорогостоящих глубоких скважин повышаются требования к точности проведения трассы. Обычно на объекте насчитывается небольшое число глубоких скважин и поэтому трудно учесть закономерности их естественного искривления на глубоких горизонтах. В связи с этим возрастает необходимость в методах направленного бурения. Например, на объектах треста Укрюжгеологии и Норильской ГРЭ оказалась невозможной буровая разведка горизонтов ниже 1200 м без надежных методов направленного бурения.

При увеличении угла падения рудного тела возрастают трудности в обеспечении требуемого угла встречи при использовании обычного бурового оборудования. При крутом и субвертикальном падении рудных тел зачастую искажаются данные о мощности этих тел, что резко снижает качество разведочных работ. В этих условиях использование методов направленного бурения становится необходимым, так как, увеличивая зенитный угол скважины, можно увеличить угол встречи с рудным телом.

С увеличением глубины и сгущением плотности разведочной сети предпосылки направленного бурения также возрастают, но при этом возрастают и объемы работ, связанные с большим набором кривизны, поэтому необходим экономический расчет. При пологом залегании и значительной глубине рудных тел и продуктивных залежей перспективы направленного бурения возрастают, так как при этом появляются благоприятные предпосылки для бурения многоствольных скважин с дополнительными стволами на основном и соседних разведочных профилях.

Мощность рудных тел при оценке перспектив направленного бурения обычно рассматривается в сочетании с характером распределения полезного компонента и сохранностью его при отборе кернового материала — при избирательном истирании керна, когда полезный компонент уносится промывочной жидкостью, возрастает необходимость в повторном перебурировании, особенно при малой мощности рудных тел и при неравномерном распределении содержания рудного материала.

Стадийность геологоразведочных работ, выражающаяся обычно в размерах разведочной сети, глубине и объемах буровых работ и требованиях к точности проведения скважин, обычно способствует развитию перспектив направленного бурения, особенно в виде многоствольных скважин. Вместе с тем на практике известны примеры успешного использования возможностей направленного бурения и при ранних стадиях работ, когда, например, с помощью наклонно направленных скважин с интенсивным набором кривизны успешно осуществляют поисково-оценочные работы субпараллельных круто падающих близрасположенных рудных тел [18].

Специалисты Томского политехнического института при определении перспектив направленного бурения вводят признак «степень дислоцированности горных пород», от которой зависят проявление особенностей искривления, расположение рудных тел в пространстве и т. п. Отмечено при этом, что для месторождений, характеризующихся слабой дислоцированностью горных пород, перспективы направленного бурения невелики; для месторождений, характеризующихся интенсив-

ной дислоцированностью, необходимость в направленном бурении значительно возрастает.

Морфология рудных тел также должна учитываться при оценке перспектив направленного бурения.

Сотрудниками ЗаБНИИ при рассмотрении этого вопроса на примере рудных месторождений Забайкалья выделены три основные группы рудных тел:

выдержанные жило-, линзо- и пластообразные с относительно равномерным распределением содержания;

сложные, изменчивые по мощности и содержанию часто ветвящиеся жилы, жильные зоны, зоны прожилково-вкрапленной минерализации;

сложные по морфологии, но относительно выдержанные по содержанию — короткие линзы, гнезда, трубы, мощные короткие прерывистые жилы, неправильные прихотливые столбопластообразные залежи.

При разведке месторождений первой группы перспективы направленного бурения возрастают на стадии предварительной и детальной разведки в зависимости от глубины и угла падения рудного тела. При этом эффективны многоствольные скважины с ответвлениями дополнительных стволов на основной и соседние профили. Кроме того, бурение наклонно направленных скважин с интенсивным набором кривизны по жильным зонам можно обеспечить не только сокращение объемов работ, но и улучшить качество вследствие увеличения угла встречи и интервала статиграфического разреза.

При разведке месторождений второй группы бурение многоствольных скважин на флангах рудного тела будет способствовать качественному определению характера и степени изменчивости мощности и содержания на флангах с изменением глубины и внутри контура рудного тела, избегая малоопределяющей интерполяции по данным «пустой» и «рудной» скважин. При разведке жильных зон и зон прожилково-вкрапленной минерализации дополнительные стволы могут значительно повысить геологическую информацию при выделении, увязке и оконтуривании отдельных обособленных рудных тел.

При разведке месторождений третьей группы бурение многоствольных скважин является весьма перспективным и наиболее предпочтительным, так как это позволяет с наибольшей достоверностью и наименьшими затратами определять формы и размеры рудного тела.

Бурение многоствольных скважин в сочетании с геохимическим опробованием и современными методами скважинной геофизики может обеспечить высокоэффективное проведение поисков «слепых» рудных тел, изучение параметров линзообразных и трубчатых тел, а также рудных тел, находящихся под широкой полосой глубокой зоны окисления.

Как показывает этот краткий анализ, при оценке перспектив направленного бурения необходим комплексный учет ряда геолого-методических признаков на основе экономического расчета.

§ 3. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВ НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Для оценки перспектив направленного бурения в условиях конкретного месторождения необходимо изучить ряд факторов геологического, технического и экономического характера с привлечением соответствующих служб геологоразведочного предприятия. Изучение этих факторов носит комплексный характер и проводится в определенной последовательности.

В Забайкальском комплексном НИИ, имеющем большой опыт работ по внедрению методов направленного бурения на новых объектах, практикуется методика оценки возможностей и определения перспектив тех или иных методов направленного бурения применительно к конкретной производственной организации.

На первом этапе выполнения работы с точки зрения использования направленного бурения оцениваются следующие факторы.

1. Геологоразведочные работы на объекте, объемы и перспективы их развития. На перспективных объектах с большим объемом работ и последующей их детализацией внедрение методов направленного бурения, например, в виде многоствольных скважин может дать значительный народнохозяйственный эффект. Так, планомерное использование в большом объеме многоствольных скважин при разведке средних и глубоких горизонтов Талнахского и Октябрьского месторождений помимо экономии объемов бурения и удешевления работ позволило на несколько месяцев раньше начать промышленное освоение этих объектов.

2. Геолого-методические особенности разведочных работ — морфология рудного тела и основные его параметры (мощность, угол падения, характер залегания), плотность разведочной сети, глубина бурения, естественное искривление скважин и требования к точности их проведения в проектные точки, состояние и представительность керна, наличие зон трещиноватости и т. п. Эти факторы могут иметь решающее значение, поэтому необходимо их детальное изучение.

3. Особенности рельефа и заселенности участка, где проводятся буровые работы. Порой этот фактор вынуждает использовать методы направленного бурения даже при остальных неблагоприятных факторах. Например, в труднодоступных, гористых районах Закавказья, Якутии, Бурятии или в насе-

ленных пунктах при действующих горнорудных предприятиях приходится забуривать скважину с отклонением от проекта, а затем с помощью методов направленного бурения выводить ее на требуемую траекторию.

После изучения факторов 1—3 конкретизируются основные геолого-методические задачи, которые целесообразно выполнять с помощью направленного бурения.

4. Особенности технологии бурения скважин. Состояние стенок скважин, наличие или отсутствие вывалов, шламонакопления на забое, тип и качество промывочной жидкости, сужение ствола в призабойной части, режимы бурения и т. п. могут способствовать или, наоборот, препятствовать эффективному использованию этого вида работ. Кроме того, изучение особенностей технологии бурения может привести к выделению отдельных интервалов геологического разреза с приемлемыми или, наоборот, неподходящими условиями для работ по направленному бурению.

5. Организационно-технический уровень буровых работ, наличие технологической и каротажной служб, оснащенных механических мастерских и т. п., которые безусловно способствуют успешному освоению и эффективному использованию методов направленного бурения. Можно привести массу примеров положительного влияния этих факторов на результативность направленного бурения, в частности в Мурманской, Норильской, Карамкенской, Главно-Кавказской, Гагаринской, Зыряновской и других геологоразведочных экспедициях. И наоборот, отсутствие например, кавернометрии лишает технолога возможности выбрать наиболее благоприятный интервал скважины для ответвления, задержка инклинометрии или некачественная инклинометрия делает порой невозможным осуществление требуемого контроля и своевременное корректирование трассы скважины.

6. Закономерности естественного искривления, так как при наличии достаточно представительного материала они могут быть успешно использованы при проектировании скважин. Например, изучение характера естественного искривления скважин на месторождениях Восточного Казахстана, Западной Сибири, Таймыра, Чукотки, Кольского полуострова, проведенное разными специалистами, позволило изменить методику проектирования скважин и сократить объем работ по их искусственному искривлению.

7. Опыт направленного бурения на анализируемом объекте. Сопоставление имеющихся результатов с опытом передовых предприятий и рекомендациями научно-исследовательских организаций также необходимо учитывать, чтобы не повторять старых ошибок, и четко представлять технологические особенности, присущие данному объекту. При этом следует учитывать

некоторое психологическое влияние первых отрицательных результатов на мнение специалистов предприятия.

8. Виды геологических и наиболее частых технологических осложнений, аварийность при бурении, затраты времени на устранение аварий, состояние и вид бурильных труб, так как все это имеет немаловажное значение при выборе способов направленного бурения.

9. Техничко-экономические показатели буровых работ (производительность труда, стоимость бурения одного метра на разных интервалах разреза, скорость бурения, стойкость применяемого породоразрушающего инструмента и т. п.), баланс рабочего времени, стоимость отдельных видов работ при бурении скважин (строительство дорог, рекультивация земель, коммуникации, монтаж — демонтаж, транспортировка оборудования и т. п.). Эти данные необходимы при выборе вариантов решения задач рациональных способов направленного бурения и проведения различных расчетов.

Полученные материалы являются исходными для выполнения следующих этапов, на которых рассматриваются рациональные способы и технические средства, производится выбор рациональных и экономичных профилей направленных и многоствольных скважин, экономическая оценка выполнения работ при различных вариантах использования методов направленного бурения и выбирается оптимальная система разведки.

§ 4. ПОКАЗАТЕЛИ СЕБЕСТОИМОСТИ РАБОТ ПРИ НАПРАВЛЕННОМ БУРЕНИИ

Основой экономических расчетов являются правильно выбранные показатели себестоимости работ. Работы при направленном бурении отличаются определенной специфичностью. Они не приводят к повышению производительности труда при бурении, выражаемой количеством метров на один станок в месяц, но их использование ведет к повышению качества бурения и сокращению сроков и затрат средств. Если при анализе новых эффективных способов бурения можно оперировать стоимостью углубления на 1 м, то при экономическом анализе направленного бурения необходимы иные показатели.

Среди методических задач, решаемых с помощью направленного бурения, можно выделить две основные: набор кривизны в заданном направлении и забуривание дополнительного ствола из скважины. Исходя из этих задач выбирают физические показатели. При наборе кривизны, когда требуется изменить направление скважины на определенный угол, единицей измерения может служить градус искривления; при ответвлении, если нужен новый забой скважины, за единицу может быть принят цикл ответвления.

Для экономического анализа направленного бурения необ-

ходимо пользоваться таким показателем, как себестоимость работ, т. е. стоимость искривления на один градус и стоимость одного цикла ответвления. Стоимость искривления на один градус можно выразить формулой [11]

$$a = (A_1 + A_2 + A_3)/\delta, \quad (1)$$

где A_1 , A_2 и A_3 — затраты соответственно на цикл искусственного искривления при наборе кривизны по количеству станко-смен, амортизацию специальных технических средств, аварийные работы, вызванные искусственным искривлением; δ — полный угол искривления за цикл работ.

При определении параметра A_1 необходимо учитывать, что помимо основного результата — набора кривизны (в градусах) одновременно происходит и углубление скважины (в м). Поэтому для определения затрат непосредственно на искривление следует из общего времени на цикл исключить нормируемое время на углубления скважины, т. е.

$$A_1 = C [T_{\text{и}} - N_{\text{вр}} (l_{\text{и}} + l_{\text{п}})], \quad (2)$$

где C — стоимость бурения 1 ст.-ч, $T_{\text{и}}$ — время цикла искривления; $N_{\text{вр}}$ — норма времени на бурение данного интервала скважины; $(l_{\text{и}} + l_{\text{п}})$ — общее углубление скважины за цикл искривления (бурение отклонителем и проработка).

Стоимость амортизации специальных технических средств, требуемых при искусственном искривлении, выражается формулой

$$A_2 = \frac{C_0 t_0}{R_0} + \frac{C_{\text{и}} t_{\text{и}}}{R_{\text{и}}} - \frac{C_{\text{п}} t_{\text{п}}}{R_{\text{п}}}, \quad (3)$$

где C_0 , $C_{\text{и}}$, $C_{\text{п}}$ — соответственно стоимость отклонителя, специального инструмента, истирающих материалов за цикл искривления; t_0 , $t_{\text{и}}$, $t_{\text{п}}$ — соответственно время работы отклонителя, специального инструмента, истирающих материалов за цикл искривления; R_0 , $R_{\text{и}}$, $R_{\text{п}}$ — соответственно ресурс отклонителя, специального инструмента, истирающихся материалов.

Стоимость аварийных работ, вызванных искусственным искривлением, может достигать значительной величины, что является негативной стороной направленного бурения. Она обязательно должна учитываться при анализе себестоимости проведенных работ. В расчет принимаются прежде всего наиболее вероятные по сравнению с обычными условиями виды аварий — обрывы бурильных труб. Тогда

$$A_3 = C \bar{t} k \bar{n} L_{\text{нб}}/100, \quad (4)$$

где \bar{t} — среднее время ликвидаций обрыва; k — коэффициент, выведенный на основе статистического анализа и показывающий, во сколько раз увеличивается число обрывов на 100 м бурения с искусственным искривлением по сравнению с обычным; \bar{n} — среднестатистическое число обрывов бурильных труб

при обычном бурении на 100 м; $L_{\text{исб}}$ — объем буровых работ с искусственным искривлением.

Определение A_1 и a облегчается при использовании специальных номограмм (рис. 2 и 3). Для иллюстрации рассмотрим примеры.

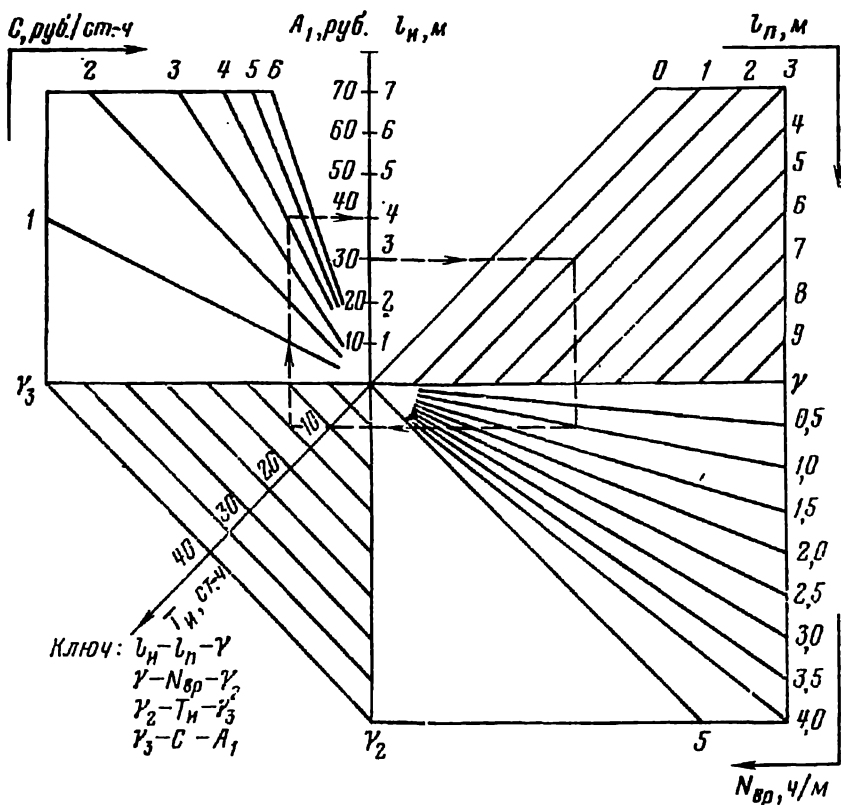


Рис. 2. Номограмма для определения стоимости искусственного искривления

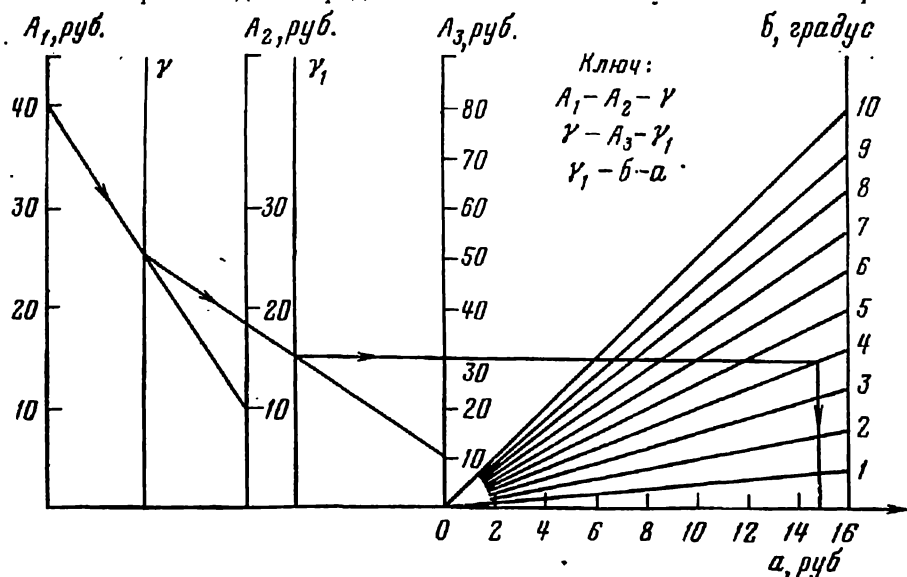


Рис. 3. Номограмма для определения себестоимости градуса искривления

Пример 1. При работе отклонителем углубление за цикл работ составило: $l_{\text{н}} + l_{\text{п}} = (3 + 2)$ м; затраты времени на весь цикл искривления $T_{\text{н}} = 15$ ст.-ч; искривление производилось в породах, норма времени для которых $N_{\text{вр}} = 1$ ч/м; стоимость станко-часа в данных условиях $C = 4$ руб/ст.-ч. Работа с номограммой (см. рис. 2) протекает следующим образом. По шкале $l_{\text{н}}$ находят отметку, соответствующую 3 м (длина рейса искривления отклонителем), от которой проводят прямую до пересечения с линией 2, соответствующей углублению скважины при проработке после работы отклонителем. Далее прямую проводят перпендикулярно к оси абсцисс до пересечения с линией 1, соответствующей норме времени по шкале $N_{\text{вр}}$. Затем прямая проходит в другой квадрант до пересечения с линией 15, соответствующей затратам времени на цикл работ по шкале $T_{\text{н}}$. От этой точки проводят прямую параллельно оси ординат до встречи с линией 4 (стоимость 1 ст.-ч). Из полученной точки опускают перпендикуляр на шкалу A_1 и получают точку, в которой $A_1 = 40$ руб. Эта величина соответствует стоимости чистого времени искривления.

Пример 2. Определить себестоимость искривления при $A_1 = 40$ руб; $A_2 = 10$ руб., $A_3 = 10$ руб. и $b = 4^\circ$. Порядок работы: по шкале A_1 (см. рис. 3) находят отметку 40, от которой проводят прямую до отметки 10 на шкале A_2 . От точки пересечения прямой со вспомогательной шкалой γ проводят прямую в отметку 10 на шкале A_3 . Затем из точки пересечения этой прямой со вспомогательной шкалой γ_1 проводят прямую параллельно оси абсцисс до пересечения с линией 4, соответствующей отклонению 4° по шкале b , а из полученной точки опускают перпендикуляр на шкалу a , где определяется себестоимость градуса искривления, в данном случае $a = 15$ руб.

Стоимость цикла ответвления при забурировании дополнительного ствола находят из выражения

$$b = B_1 + B_2 + B_3, \quad (5)$$

где B_1, B_2, B_3 — затраты соответственно на весь цикл ответвления, на амортизацию специальных технических средств, на аварийные работы, вызванные искусственным искривлением.

Затраты на цикл ответвления можно выразить формулой

$$B_1 = C [T_0 - N_{\text{вр}} (l_0 + l_{\text{п}})], \quad (6)$$

где T_0 — общее время цикла ответвления; $(l_0 + l_{\text{п}})$ — углубление нового ствола за весь цикл работ при ответвлении (забурирование и проработка).

Затраты на амортизацию технических средств определяют по формуле

$$B_2 = \frac{C_0 t_0}{R_0} + \frac{C_3 t_3}{R_3} + \frac{C_d t_d}{R_d} - \frac{C_{\text{н}} t_{\text{н}}}{R_{\text{н}}}, \quad (7)$$

где C_3, C_d — стоимость специального устройства для перекрытия ствола скважины и дополнительного инструмента, t_3, t_d — ресурс специального устройства и дополнительного инструмента, R_3, R_d — время использования специального устройства и дополнительного инструмента.

При определении стоимости аварийных работ, связанных с ответвлением, необходимо учитывать главным образом обрывы бурильных труб в интервале искривления.

§ 5. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ НАПРАВЛЕННОМ БУРЕНИИ

Определение экономической эффективности от внедрения методов направленного бурения является сложной методической задачей, так как в каждом конкретном случае должны учитываться уровень применяемой техники и технологии. Исходя из этого, можно выделить следующие основные случаи, наиболее часто встречающиеся в практике.

1. Экономический эффект от внедрения новой техники, позволяющей уменьшить себестоимость искусственного искривления. В случае снижения стоимости искривления на градус эффект подсчитывается по формуле

$$\mathcal{E} = [(a_6 + EK_6) - (a_n + EK_n)] \Sigma \Psi, \quad (8)$$

где a_6, a_n — стоимость искривления на 1° соответственно с применением базовой и новой техники; K_6, K_n — удельные капитальные затраты при использовании базовой и новой техники; E — отраслевой нормативный коэффициент сравнительной эффективности капиталовложений, равный 0,2; $\Sigma \Psi$ — суммарный набор кривизны за год.

Так, замена отклонителей СО на отклонители типа ТЗ в Норильской ГРЭ обеспечила экономию 243 тыс. руб. в 1973—1975 гг. вследствие снижения на 60% стоимости искривления на 1° . В случае сокращения затрат на цикл ответвления

$$\mathcal{E} = [(b_6 + EK_6) - (b_n + EK_n)] M, \quad (9)$$

где b_6, b_n — стоимость ответвления при базовой и новой технике; M — число ответвлений за год.

2. Экономический эффект в случае ликвидации аварий методом обхода с помощью искусственного искривления

$$\mathcal{E} = (D_1 + D_2) - (b + \Psi a), \quad (10)$$

где D_1, D_2 — стоимость бурения ствола до аварийного интервала и бурения повторного ствола с поверхности; Ψa — стоимость работ по корректированию направления скважины после обхода места аварий.

3. Экономический эффект от предотвращения брака бурения вследствие нежелательного естественного искривления скважин

$$\mathcal{E} = Q q d - \Sigma \Psi_1 a, \quad (11)$$

где Q — годовой объем буровых работ, м; q — объем буровых работ, забракованных вследствие отклонения скважин от требуемых трасс, % (по опыту предшествующих работ); d — стоимость 1 м бурения; $\Sigma\Psi_1 a$ — стоимость работ по искусственному искривлению.

4. Экономический эффект от применения многоствольных скважин, позволивших сократить проектный объем буровых работ

$$\mathcal{E} = \Sigma Q_1 d - (\Sigma Q_2 d + \Sigma\Psi_2 a + \Sigma b) + \Delta\Sigma C_c + \Delta\Sigma C_p, \quad (12)$$

где ΣQ_1 — общий объем буровых работ, выполняемых с помощью одиночных скважин; ΣQ_2 — общий объем буровых работ, выполняемых с использованием многоствольных скважин; $\Sigma\Psi_2 a$ — стоимость работ по набору кривизны дополнительных стволов; Σb — стоимость работ по ответвлению в многоствольных скважинах; $\Delta\Sigma C_c$ — сумма средств, сэкономленных при строительстве подъездных путей, коммуникаций, площадок и т. п.; $\Delta\Sigma C_p$ — сумма средств, сэкономленных при рекультивации земель.

5. Экономический эффект от перехода на бурение скважин меньшего диаметра в случае, если ранее это было невозможно вследствие опасности резкого увеличения естественного искривления

$$\mathcal{E} = Q (d - d_1) - \Sigma\Psi_3 a, \quad (13)$$

где Q — объем буровых работ, выполняемых после перехода на бурение скважин меньшего диаметра; d, d_1 — стоимость бурения 1 м до и после перехода; $\Sigma\Psi_3 a$ — общие затраты по корректированию трасс скважин после перехода на меньший диаметр.

Предлагаемые показатели искусственного искривления и описанные методики решения некоторых вопросов экономики направленного бурения применяются в ряде производственных организаций для определения его эффективности, анализа и оценки новой техники. Например, в Гагаринской ГРП при сравнении клинового отклонителя СНБ-КО и отклонителя ТЗ-3 одним из показателей служила стоимость искривления на градус, которая составила 21,2 и 10,7 руб. соответственно. В Норильской ГРЭ за период 1971—1972 гг. эта величина при использовании отклонителя ТЗ-3 равнялась в среднем 13,9 руб. Повышение уровня технологии и совершенствование отклонителей, рациональный подбор долот и снижение аварийности позволили снизить ее в 1973—1974 гг. до 7 руб.

§ 6. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ГЛУБИНЫ ИСКУССТВЕННОГО ИСКРИВЛЕНИЯ

В практике направленного бурения часто приходится решать, с какой глубины экономически выгодно применять искусственное искривление скважины. Ранее А. М. Курмашов и И. М. Юд-

боровский исследовали этот вопрос применительно к бурению двуствольной скважины вместо двух обычных на основе сравнения стоимости обоих вариантов. Позднее автором рассмотрен вопрос для различных случаев направленного бурения и предложены формулы определения критической глубины искривления $L_{кр}$, т. е. глубины, ниже которой искусственное искривление экономически выгодно. Предлагаемые показатели себестоимости позволяют уточнить приведенные зависимости.

Для определения критической глубины необходимо рассматривать два возможных варианта выполнения задачи: бурение новой скважины с поверхности и искусственное искривление. Затраты по первому варианту составят

$$C_1 = C \left(L \frac{N}{\Pi} + t_n \right), \quad (14)$$

где C — стоимость 1 ст.-ч; L — длина скважины, соответствующая глубине интервала предполагаемого искривления; N — месячный ресурс времени; Π — месячная производительность труда бригады при бурении в аналогичных условиях; t_n — затраты времени на перестройку оборудования в связи с забуриванием новой скважины.

Затраты средств по второму варианту необходимо рассчитывать исходя из вида поставленной геолого-методической задачи, величины требуемого угла отклонения, стоимости градуса искривления и других факторов.

Например, при искривлении трассы скважины, когда предполагается применять отклонитель непрерывного действия типа ТЗ или клиновой отклонитель типа СО затраты

$$C_{II} = \Psi a, \quad (15)$$

где Ψ — полный угол искривления, на который необходимо изменить трассу скважины для проведения ее в проектное направление.

Очевидно, обязательным условием применения искусственного искривления должно быть

$$C_1 > C_{II}, \quad (16)$$

т. е. когда ожидаемые затраты по первому варианту превышают затраты работ по второму варианту.

С учетом формул (14) и (15) это неравенство будет иметь вид

$$C \left(L \frac{N}{\Pi} + t_n \right) > \Psi a, \quad (17)$$

из которого можно определить критическую глубину искусственного искривления

$$L_{кр} \geq \frac{(\Psi a - t_n C) \Pi}{C N}. \quad (18)$$

Критическая глубина искривления при проектировании многоствольных скважин, когда необходимо осуществить ответвление и набрать заданную кривизну Ψ , выразится формулой

$$L_{кр} = \frac{(b + \Psi a - t_{п} C) \Pi}{C N}, \quad (19)$$

где $L_{кр}$ — глубина скважины до места предполагаемого искривления; Ψ — угол искривления; $t_{п}$ — затраты времени на монтажно-демонтажные работы при забурировании новой скважины с поверхности; b — стоимость ответвления.

При корректировании трассы скважины

$$L_{кр} = \frac{(\Psi a - t_{п} C) \Pi}{C N}. \quad (20)$$

При обходе прихваченного инструмента, когда необходимо лишь забурирование нового забоя

$$L_{кр} = \frac{(b - t_{п} C) \Pi}{C N}. \quad (20a)$$

Например, по материалам направленного бурения на одном из месторождений при $a=12$ руб.; $b=250$ руб.; $\Pi=500$ м/ст-мес; $N=720$ ст.-ч; $C=7$ руб/ч; $\Psi=27^\circ$; $t_{п}=8$ ч экономически целесообразно забуривать дополнительный ствол с глубины более 52 м, корректировать направление на $5-6^\circ$ с глубины более 10 м, обходить зону аварии с глубины более 30 м.

Описанные методики позволяют более обоснованно применять прогрессивные способы искусственного искривления скважин, проводить объективный анализ эффективности внедрения новой техники и методов направленного бурения и более полно учитывать возможности повышения эффективности.

Глава III

МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИСКРИВЛЕНИЯ

§ 1. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАПРАВЛЕННОЙ СКВАЖИНЫ

При направленном бурении скважины необходимо провести ее трассу в заданную точку пространства с наименьшими затратами времени и средств; поэтому применение способов искусственного искривления должно быть обоснованным и своевременным.

Среди способов построения трасс скважин наиболее наглядным и удобным для оперативной работы является изображение горизонтальной проекции скважины на планшете, где от нанесенной точки ее заложения на поверхности с учетом закономерностей естественного искривления прокладывают основное направление до конечной требуемой точки подсечения на рудном теле. Иногда делают наоборот — трассу скважины прокладывают от конечной точки на рудном теле до точки заложения.

Трассу скважины разбивают на 25- или 50-метровые интервалы, длину которых на планшете рассчитывают по формуле

$$p = P \sin \frac{\theta_n + \theta_k}{2}, \quad (21)$$

где p — длина проекции отдельного интервала на планшете; P — длина интервала скважины; θ_n и θ_k — зенитные углы скважины в начале и конце анализируемого интервала.

После этого составляют таблицу значений зенитного и азимутального углов проектного направления скважины.

Попадание скважины в требуемую точку пространства должно осуществляться с учетом допустимого линейного отклонения трассы. Известно, что линейное отклонение R допускается в пределах до 20% от предусмотренных разведочной сетью расстояний между рудными пересечениями [21]. Для ряда рудных месторождений величина R колеблется в пределах 5—20 м. Исходя из этого условия скважина при бурении по проектной трассе должна находиться внутри своеобразного конуса с вершиной в точке заложения и с основанием, равным $2R$ на плоскости рудного тела. При бурении вертикальной скважины на горизонтально расположенную продуктивную толщу или пласт допустимое рассеивание точек попадания скважиной ограничивается кругом с радиусом R .

В общем виде допустимое угловое отклонение по зенитному углу можно выразить формулой

$$[\Delta \theta] = \pm \operatorname{arctg} \frac{[R] \sin \gamma}{L}; \quad (22)$$

по азимуту

$$[\Delta \alpha] = \pm \operatorname{arctg} \frac{[R] \sin \lambda}{L}, \quad (23)$$

где $[\Delta \theta]$ и $[\Delta \alpha]$ — допустимое отклонение зенитного и азимутального углов от проектной трассы; $[R]$ — допустимое линейное отклонение трассы скважины от проектной точки; γ — угол встречи с рудным телом; L — удаление анализируемого интервала от проектной точки встречи; λ — острый угол между азимутальным направлением скважины и простиранием рудного тела.

Угол встречи определяется по формуле

$$\gamma = 90^\circ - \beta - \theta_k, \quad (24)$$

где β — угол падения рудного тела; θ_k — требуемый зенитный угол в точке встречи с рудным телом.

Так как скважина должна пересекать рудное тело перпендикулярно к его простиранию, то

$$\lambda = 90^\circ - |\Delta \alpha|, \quad (25)$$

где $\Delta \alpha$ — угол между фактическим и требуемым азимутами скважины.

Рассмотрение зависимостей (22) и (23) показывает, что при бурении направленной скважины необходимо контролировать ее направление и своевременно принимать меры по удержанию ее трассы в конусе допустимых угловых отклонений.

Специалистами Западно-Казахстанского геологического управления разработана специальная номограмма, по которой удобно производить проверку допустимых отклонений. Номограмма (рис. 4) представляет собой четверть окружности, описанной радиусом $[R]$ — допустимым линейным отклонением для данного месторождения; по осям в выбранном масштабе нанесены допустимые угловые отклонения трассы от проектного направления по зенитному и азимутальному углам. На рис. 4 показан пример построения номограммы отклонений для направленного бурения скважины глубиной 500 м. При этом $[\Delta \theta]$ и $[\Delta \alpha]$ составили соответственно $2^\circ 24'$ и $8^\circ 36'$. Предположим, в 300 м от конечной точки отклонения составили по зенитному углу 2° и по азимутальному 8° . При нанесении этих значений на номограмму видно, что точка A' находится вне круга

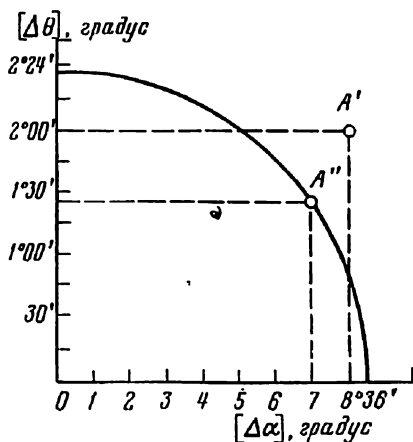


Рис. 4. Номограмма для контроля угловых отклонений скважины

допустимых отклонений и необходимо принимать меры по корректированию трассы. Например, при $[\Delta\theta] = 1^\circ 25'$ и $[\Delta\alpha] = 7^\circ$ (точка A'') скважина находится в допустимых пределах отклонений.

§ 2. ПРОФИЛИРОВАНИЕ СКВАЖИН ПРИ НАПРАВЛЕННОМ БУРЕНИИ

Вопросы выбора рационального профиля скважины при направленном бурении и методика его построения наиболее полно рассмотрены в работах С. С. Сулакшина и И. П. Мельничука.

При бурении одноствольных скважин можно выделять прямолинейные, криволинейные и комбинированные профили (т. е. содержащие прямолинейные и криволинейные интервалы) с различным расположением в пространстве — от вертикального до горизонтального.

При бурении многоствольных скважин выделяются следующие скважины: перистого типа одного азимута, перистого типа противоположного азимута, субпараллельно-ветвистого, перисто-субпараллельно-ветвистого, межпрофильного и веерообразного типов [14].

Профили скважин при направленном бурении не ограничиваются вышеприведенными типами. Их разнообразие определяется многими факторами, среди которых основную роль играют геолого-методические особенности геологоразведочных работ и технические возможности имеющегося оборудования и инструмента. С появлением надежного отклонителя на основе винтового забойного двигателя, не требующего вращения бурильной колонны, правомерно ожидать появления новых типов профилей одно- и многоствольных скважин при направленном бурении.

При рассмотрении различных профилей скважин, проходных методами направленного бурения, выделяют прямолинейные и криволинейные интервалы. Расчет параметров криволинейных интервалов, определение места забуривания дополнительных стволов и другие вопросы проектирования исследовались многими специалистами. При этом предложен ряд оригинальных методик, сопровождающихся аналитическими расчетами. Сотрудники ЗабНИИ применяют графоаналитический способ профилирования с помощью специальных палеток, основой которого послужил способ С. С. Сулакшина.

Исходными материалами для изготовления палетки являются размеры технологического радиуса и параметры естественного искривления скважин в условиях буровых работ.

Технологический радиус искривления — это общий радиус кривизны всего интервала искусственного искривления скважины, состоящего из нескольких участков локальных искривлений и участков прямолинейных. Локальные участки искривлений при использовании ОНД бурят с интенсивностью около 1 градус/м. Вследствие чередования участков искривлений с прямолинейны-

ми и проведения специальной проработки изгибов общая интенсивность (технологическая) уменьшается до 0,5—0,6 градус/м и соответственно технологический радиус увеличивается до 100—110 м.

Палетка (рис. 5) содержит два участка: AB — отражает ве-

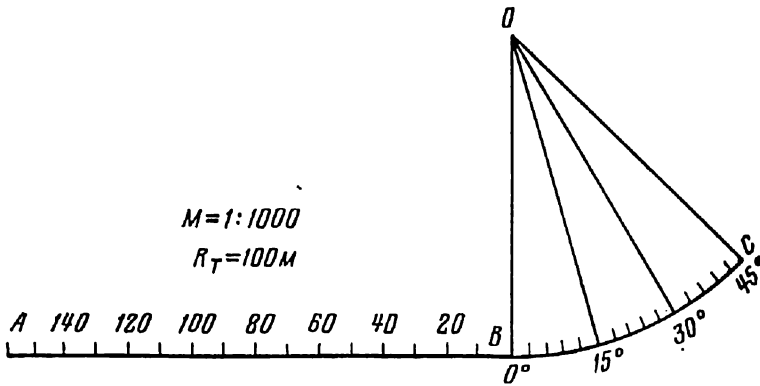


Рис. 5. Палетка для профилирования скважин при направленном бурении

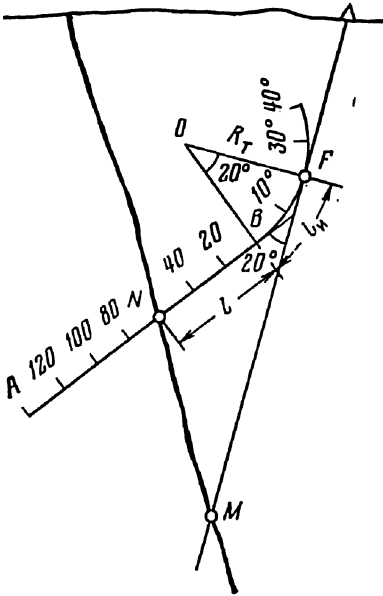


Рис. 6. Профилирование дополнительного ствола с помощью палетки:
 MN — рудное тело; FM — основной ствол; FN — дополнительный ствол

личину естественного искривления и BC — криволинейный с технологическим радиусом 100 м. На криволинейном участке нанесена угломерная шкала, соответствующая центральным углам дуги окружности, на прямолинейном — шкала расстояний. Отсчет по шкалам начинают от точки B . Масштаб построения палетки должен соответствовать масштабу рабочих геологических разрезов. При проектировании многоствольных скважин палетку накладывают на разрез таким образом, чтобы луч AB пересекал конечную точку дополнительного ствола и дуга участка BC касалась профиля основного ствола (рис. 6). При этом возможны

ется углом установки отклонителя, его замеряют транспортиром и обозначают $+\omega$, если искривление производится вправо от апсидальной плоскости с увеличением азимута (в данном случае вправо от линии OA), и $-\omega$, если искривление производится влево с уменьшением азимута.

Число циклов искривления n для получения общего полного угла Ψ определяют по формуле

$$n = \Psi/\delta, \quad (26)$$

где δ — полный угол искривления за один цикл работы, который на основании опытных данных колеблется в пределах 2,5—5 градусов.

С учетом обработанности керна и кавернометрии определяют ориентировочную разработанность ствола скважины в призабойной части и рассчитывают оптимальную интенсивность искривления i .

Затем при использовании отклонителя типа ТЗ-3 определяют рациональную длину жесткой базы отклонителя.

$$l = 21,4 \sqrt{\frac{D_c - d}{i}}, \quad (27)$$

где l — длина жесткой базы отклонителя; D_c — диаметр скважины; d — диаметр отклонителя.

На основании полученных данных производят расчет длины рейса по формуле

$$l_n = 0,00218 \delta l^2 \Delta D, \quad (28)$$

где ΔD — диаметральный зазор между стенками скважины и корпусом отклонителя ($D_c - d$).

Расчет параметров при работе клиновыми отклонителями в основном аналогичен показанному и достаточно подробно описан в работе [16] и поэтому опускается.

§ 4. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ И ТОЧНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИСКРИВЛЕНИЯ

Затем при использовании отклонителя типа ТЗ-3 определяют необходимость изменения ее направления на расчетные величины $\Delta\theta$ и $\Delta\alpha$. Однако в практике часты случаи несоответствия фактических величин искривления расчетным. Степень этого несоответствия различна, иногда полученное искривление бывает противоположным требуемому. Для оценки уровня выполнения поставленной задачи необходим показатель, определяющий полезность проведенной работы — показатель результативности искусственного искривления, который можно представить отношением полезной работы при искривлении к затраченной.

Для определения показателя результативности используем

графоаналитический метод. Рассмотрим общий случай: из точки A (рис. 8) необходимо произвести искривление под углом установки ω_p к апсидальной плоскости с расчетным полным углом искривления ψ , чтобы привести скважину в точку B над диаграммой.

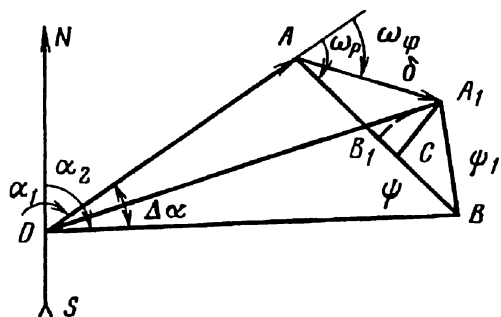


Рис. 8. Схема определения результативности искусственного искривления

После цикла искривления и инклинометрии по измерениям зенитного и азимутального углов получена на диаграмме точка A , т. е. искривление произведено под углом установки ω_ϕ , который отличается от расчетного на величину $\Delta\omega$ (погрешность

искривления, или ошибка искривления по углу установки отклонителя). При этом набор кривизны составил величину δ вместо расчетной Ψ . Степень полезности произведенного искривления оценивают в зависимости от того, насколько промежуточная точка A приблизилась к требуемой B и какой требуется дополнительный набор кривизны Ψ_1 чтобы направить скважину в точку B . Отложив на линии AB отрезок B_1B , равный A_1B , показывающий недостающий набор кривизны Ψ_1 , можно определить полезность искривления по формуле.

При этом набор кривизны составил величину δ вместо расчетной Ψ . Степень полезности произведенного искривления оценивают в зависимости от того, насколько промежуточная точка A приблизилась к требуемой B и какой требуется дополнительный набор кривизны Ψ_1 чтобы направить скважину в точку B . Отложив на линии AB отрезок B_1B , равный A_1B , показывающий недостающий набор кривизны Ψ_1 , можно определить полезность искривления по формуле.

$$K_p = \frac{AB_1}{AA_1} = (\Psi - \Psi_1)/\delta. \quad (29)$$

После некоторых преобразований формула (29) примет вид

$$K_p = \cos \Delta\omega - \frac{\Psi_1 + \delta \cos \Delta\omega - \Psi}{\delta}. \quad (30)$$

При рассмотрении полученного выражения видно, что первый член характеризует в основном точность искривления по погрешности $\Delta\omega$ и может служить показателем точности ориентации искривления. Второй член показывает влияние величины полного угла искривления на результат работ;

Для анализа и оценки точности ориентации искривления наиболее удобным и достаточно объективным является показатель точности

$$K_T = \cos |\Delta\omega| \quad (31)$$

или

$$K_T = \cos |\omega_\phi - \omega_p|. \quad (32)$$

Анализ формул (30) и (32) показывает, что при уменьшении погрешности искривления $\Delta\omega$ и недостающей величины Ψ_1 , т. е. при

совпадении полученного искривления δ с расчетным Ψ по величине и направлению показатель результативности стремится к 1, и наоборот — при искривлении в противоположном направлении $K_p = -1$.

При проведении нескольких циклов искривлений с целью набора большой величины Ψ и выполнения задачи общий показатель результативности искусственного искривления принимается как средняя величина

$$\bar{K}_p = \sum_1^n K_p/n, \quad (33)$$

где n — число проведенных циклов искривлений.

Безусловно, показатель K_p носит условный характер, неточен при малых наборах кривизны, однако позволяет с допустимой для современного уровня точностью оценить общее качество работ при искусственном искривлении.

§ 5. МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ОБЩЕЙ ДИАГРАММЫ ИСКРИВЛЕНИЯ СКВАЖИНЫ

При большом объеме искусственных искривлений, для разработки оптимальной методики направленного бурения скважин целесообразно по каждой скважине вычерчивать диаграмму ее искусственного и естественного искривлений. Производится это на основе графоаналитического метода следующим образом. Рассмотрим обобщенный пример. На планшете (рис. 9) наносят фактическое (точка I ; α_1 и θ_1) и расчетное (точка B ; α_p и θ_p) положения скважины. Поскольку направление естественного искривления в общем соответствовало проектному, скважину бурили обычным способом с контролем углового отклонения в допусти-

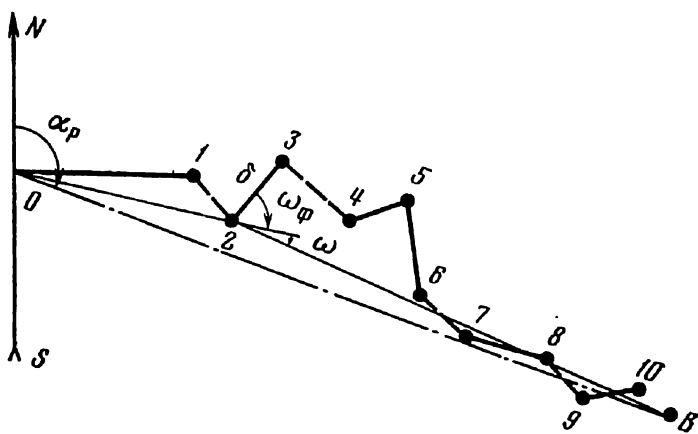


Рис. 9. Схема определения общей результативности направленного бурения скважины

мых пределах. В точке 2, где в результате естественного искривления зенитный угол достиг величины θ_2 и азимутальный — α_2 , угловое отклонение превысило допустимую величину, поэтому было решено произвести искусственное искривление с расчетным углом установки ω_p . Однако в результате определенных причин, которые в данный момент не рассматриваются, искривление δ произошло под углом установки ω_f , что отражается параметрами точки 3. Аналогичным образом наносят векторы искривлений скважины в последующих промежуточных точках. Последняя корректировка произведена в точке 9 в направлении, учитывающем последующее действие естественного искривления. Одновременно на планшете заполняют карточку векторов искривления, пример которой приведен ниже.

| Номер точки скважины | Глубина L | Зенитный угол θ | Азимутальный угол α | Угол установки | | Полный угол искривления δ | Интенсивность искривления i | Вид искривления (искусственное, естественное) |
|----------------------|-----------|------------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---|
| | | | | расчетный ω_p | фактический ω_f | | | |
| | | | | | | | | |

Полученная диаграмма векторов искривлений скважины наглядна и информативна, что позволяет анализировать качество работы и совершенствовать методику направленного бурения скважин. По ней можно оперативно определять общий показатель результативности направленного бурения скважины

$$K_{\text{риб.}} = OB / (\Sigma \delta_n + \Sigma \delta_e), \quad (34)$$

где $\Sigma \delta_n$ — арифметическая сумма абсолютных значений векторов искусственного искривления (в данном примере векторы 2—3, 4—5, 7—8, 9—10); $\Sigma \delta_e$ — арифметическая сумма абсолютных значений векторов естественного искривления (в данном примере векторы 1—2, 3—4, 6—7, 8—9).

При отсутствии естественного искривления показатель результативности направленного бурения равен общему показателю результативности искусственного искривления.

Описанную методику построения векторов искривления успешно использовали при направленном бурении в Норильской ГРЭ, Аргунской и Гагаринской ГРП.

Таким образом, расчетные работы при искусственном искривлении включают следующие основные этапы.

1. Расчет проектной трассы с определением допустимых угловых отклонений.
2. Контроль за текущим направлением скважины.
3. Определение угловых параметров искривления графоаналитическим способом.

4. Определение технологических параметров искривления.
5. Нанесение на диаграмму фактических результатов искривления.
6. Определение показателей точности ориентации и результативности искусственного искривления по каждому циклу искривления.
7. Определение общих показателей результативности искусственного искривления и направленного бурения по скважине.

§ 6. МЕТОДИКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ИСКРИВЛЕНИИ

Известно, что применение одних и тех же технических средств в разных производственных организациях дает разную эффективность.

Внедрение методов направленного бурения требует постоянного анализа технико-экономического уровня выполнения работ для своевременного выявления недостатков в технологии и внесения соответствующих коррективов.

Для проведения такого анализа кроме показателей экономического характера необходимы дополнительные данные, отражающие наиболее характерные стороны технологического процесса и формирующие общее представление об эффективности. Необходимость в технологических показателях возникает и при сравнении разных технических средств, когда нужно объективно оценить преимущества новой техники.

И. П. Мельничук в работе [14] предлагает оценивать эффективность техники, связывая ее с полным углом искривления, длиной рейса и затратами времени при работе новой и базовой техники, что явно недостаточно, так как при этом не учитываются показатели качественного характера. Можно иметь превосходные показатели по набору кривизны, длине рейса при минимальных затратах времени, но получать искривления в нежелательном направлении или настолько интенсивно искривить скважину, что дальнейшее бурение осложнится многочисленными обрывами бурильных труб. Кроме того, по ряду причин применение одной и той же техники в разных условиях дает различные результаты, например в породах средних категорий отклонитель типа ТЗ обеспечивает искривление до $10-15^\circ$ за цикл работ, а в породах XI—XII категорий по буримости — до $2-3^\circ$ вследствие низкой стойкости долота. Можно привести много примеров неполного использования возможностей клиновой и бесклиновой техники по причине несовершенства применяемой в данных условиях технологии.

Накопленный опыт разработки новой техники, испытаний и внедрения ее в разнообразных горнотехнических условиях показывает, что наиболее правильно оценивать уровень выполнения работ при искусственном искривлении в сопоставлении с общим

уровнем основного процесса бурения. Такой подход диктуется основным требованием к технике и технологии направленного бурения — работы должны выполняться без снижения производительности труда, достигнутой при обычном бурении.

Сотрудниками ЗабНИИ разработана методика технико-экономического анализа и оценки уровня выполнения работ при искусственном искривлении скважин, которую в течение многих лет успешно используют при внедрении современных методов направленного бурения на месторождениях Сибири и Дальнего Востока.

При анализе эффективности используются показатели технологического характера: сложность технологии, точность ориентации искривления, стабильность искривления, безаварийность и показатели экономического характера (чистое время искривления на 1 градус и на 1 цикл ответвления, себестоимость градуса искривления и цикла ответвления, сохранение уровня производительности труда при искривлении), т. е. показатели, характеризующие работоспособность всей системы отклонитель — ориентатор — технология.

1. Показатель сложности технологии $K_{ст}$ определяют отношением числа основных операций в цикле обычного бурения $n_б$ к числу операций в цикле искривления $n_{и}$

$$K_{ст} = n_б/n_{и}. \quad (35)$$

Например, при использовании шарнирной компоновки с наиболее простой технологией искривления число операций в цикле искривления равно числу операций при обычном бурении, поэтому $K_{ст}=1$; при использовании клиновых отклонителей $K_{ст}$ колеблется в пределах 0,10—0,14; при использовании отклонителей непрерывного действия ОНД — $K_{ст}=0,20÷0,33$ в разных условиях. При разработке ОНД с автоматической системой ориентации, обладающего регулируемой кривизной, $K_{ст}$ может быть увеличен до 0,5÷1,0.

Аналогичным образом оценивается и технологическая сложность ответвления. Например, при использовании стационарного клина с гидравлическим распорником $K_{ст}=0,25$, так как $n_{и}=4$ (ориентирование, закрепление, отбуривание, расширение); при спрямлении изгиба скважины жестким снарядом $K_{ст}=1$.

2. Показатель точности ориентации искривления K_T характеризует соответствие полученного направления расчетному по погрешности угла установки при наборе кривизны и при ответвлении

$$K_T = \cos |\Delta \omega|.$$

Как ранее отмечалось, K_T может изменяться от 1 до —1. Наибольшей эффективностью обладают техника и технология с K_T близким к 1.

3. Показатель стабильности искривления K_c характеризует

соответствие полученного набора кривизны расчетному по погрешности полного угла $\Delta\delta$ или интенсивности искривления Δi

$$K_c = 1 - \frac{|\Delta\delta|}{\delta_p}; \quad (36)$$

$$K_c = 1 - \frac{|\Delta i|}{i_p}, \quad (37)$$

где δ_p — расчетный полный угол искривления; i_p — расчетная интенсивность искривления.

Как показывает практика, наибольшей стабильностью обладают ОНД.

4. Показатель безаварийности K_a характеризует надежность и безотказность работы отклонителя при полном соблюдении требований технологии. Так как отказы и их последствия могут быть разными (в одних случаях их ликвидация не сопровождается специальными ловильными работами, в других случаях они неизбежны и требуют много времени, а иногда отказ может быть ликвидирован лишь обходом аварийного интервала), то степень тяжести отказа необходимо учитывать коэффициентами

$$K_a = (n - 0,2m - 2P - 4q)/n, \quad (38)$$

где n — общее число циклов искривления; m — число циклов с отказами, не требующими специальных ловильных работ; P — число отказов, сопровождающихся специальными ловильными работами; q — число отказов, ликвидация которых сопровождалась обходом аварийного интервала.

Эти показатели, характеризующие отдельные технико-технологические факторы или признаки, в целом определяют эффективность и работоспособность всей системы отклонитель — ориентатор — технология. При увеличении достоинств этой системы все показатели стремятся к единице.

Приведенные показатели, полученные при выполнении ряда искривлений на объекте, позволяют с достаточной объективностью оценивать технико-экономическую эффективность применяемой техники и технологии, вскрывать новые резервы и выбирать реальные пути совершенствования. Однако сравнение и выбор конкретных технических средств при наличии четырех различных показателей затруднительны. Кроме того, значимость каждого показателя в общей системе различна.

В связи с этим более рационально ввести общий показатель технико-технологической эффективности $K_{тэ}$, объединив выведенные показатели. При этом необходимо оценить значимость каждого в отдельности в баллах (в долях единицы, при сумме баллов всех показателей, равной единице) и суммировать произведения значений показателей на их баллы [3]

$$K_{тэ} = k_1 K_{ст} + k_2 K_{т} + k_3 K_c + k_4 K_a, \quad (39)$$

где k_1, \dots, k_4 — показатели значимости отдельных признаков.

Величины показателей значимости определены путем коллегиально-экспертных оценок: сложность технологии 0,20; точность ориентации 0,25; стабильность 0,30; безаварийность 0,25

$$K_{тз} = 0,20 K_{ст} + 0,25 K_{т} + 0,30 K_{с} + 0,25 K_{а}. \quad (40)$$

Общий показатель технико-технологической эффективности характеризует общий уровень техники и для лучших образцов близок к 1.

5. Чистое время искусственного искривления на 1° $t_{и}$ определяют отношением разности между затратами времени на цикл и нормируемым временем углубления к полному углу искривления δ

$$t_{и} = \frac{T_{и} - (l_{и} + l_{п}) N_{вр}}{\delta}, \quad (41)$$

а чистое время на одно ответвление t_o определяют по формуле

$$t_o = T_o - (l_o + l_{п}) N_{вр}, \quad (42)$$

где $T_{и}$, T_o — затраты времени на цикл искривления при наборе кривизны и ответвлении соответственно; $(l_{и} + l_{п})$, $(l_o + l_{п})$ — углубка скважины за цикл искривления при наборе кривизны и ответвлении соответственно; $N_{вр}$ — норма времени на бурение обычным способом.

6. Себестоимость градуса искривления a и цикла ответвления определяют по формулам (1) и (5)

$$a = (A_1 + A_2 + A_3) / \delta;$$

$$b = B_1 + B_2 + B_3.$$

7. Показатель сохранения производительности труда при искусственном искривлении определяют в сравнении с обычным бурением:

при наборе кривизны

$$k_{п} = \frac{(l_{и} + l_{п})}{v T_{и}}; \quad (43)$$

при ответвлении

$$K_{п} = \frac{(l_o + l_{п})}{v T_o}, \quad (44)$$

где v — рейсовая скорость бурения обычным способом.

8. Общий показатель сохранения производительности труда при направленном бурении $K_{оп}$ определяют сопоставлением с производительностью обычного бурения

$$K_{оп} = 1 - \frac{П_{об} - П_{нб}}{П_{об}}, \quad (45)$$

где $П_{об}$, $П_{нб}$ — производительность труда соответственно при обычном и направленном бурении тождественных групп скважин. Этот показатель отражает уровень снижения производи-

тельности при направленном бурении скважины вследствие затрат времени на искусственное искривление и ликвидацию осложнений, которые могут быть вызваны этими работами. При хорошей организации работ, использовании современной техники и оптимальной технологии этот показатель будет приближаться к 1. Например, при бурении многоствольных скважин глубиной до 2000 м в Североуральской ГРЭ производительность составила в среднем 434 м/ст.-мес; при бурении одноствольных — 571 м/ст.-мес. Показатель сохранения уровня производительности составил 0,76.

В Гагаринской ГРП при бурении многоствольных скважин из горных выработок производительность составила в среднем 304, а одноствольных — 368 м/ст.-мес; $K_{оп} = 0,82$. Следует заметить, что в отдельных скважинах он приближался к 1.

Таким образом, с помощью этой методики можно не только оценить общий уровень выполнения работ, но и найти резервы повышения эффективности, что подтверждается опытом ее использования. Это позволяет рекомендовать ее для более широкого применения.

Глава IV

СПОСОБЫ ИСКУССТВЕННОГО ИСКРИВЛЕНИЯ СКВАЖИН И ИХ КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

При рассмотрении большого числа случаев применения методов направленного бурения можно выделить две основные технологические задачи искусственного искривления: набор кривизны и забуривание дополнительного ствола или ответвление скважины.

Первая задача обычно конкретизируется величинами требуемого изменения зинитного и азимутального углов и расчетной интенсивности искривления, которые могут изменяться в широких пределах. Вторая — заключается в необходимости получения нового забоя в заданном направлении, причем величина угла отклонения играет второстепенную роль. Исходя из этого, к способам решения указанных задач предъявляют ряд требований, главное из которых — получение нужного результата с наименьшими затратами времени и средств без ухудшения технологического состояния скважин в различных породах независимо от глубины и диаметра ствола.

Как известно, для этих целей разработано и применяется большое число различных технических средств, зачастую аналогичного назначения, использование которых характеризуется разными технико-экономическими показателями. При этом многие технические средства, различающиеся по конструктивному исполнению, сходны по составу технологических операций, т. е. по способу искусственного искривления. В данном случае понятие «способ» можно применить в качестве классификационного признака при анализе технических средств. Выделение и последующее рассмотрение основных способов искусственного искривления для набора кривизны и ответвления позволяют по-новому и с большей обоснованностью рассмотреть достоинства и недостатки существующих технических средств, определить рациональные области их применения и выбрать наиболее перспективные направления в их совершенствовании и разработке новых.

§ 1. СПОСОБЫ ИСКУССТВЕННОГО ИСКРИВЛЕНИЯ ДЛЯ НАБОРА КРИВИЗНЫ

1. *Стационарно-клиновой способ* искусственного искривления с целью набора кривизны включает следующие основные технологические операции: ориентирование и закрепление клина на забое, отбурку от клина, разбуривание и проработку пилот-скважины. Этот способ искусственного искривления выполняют

клиновым отклонителем, стационарно устанавливаемым на забое скважины. Способ известен давно и долгое время был практически единственным. Он отличается простотой технических средств, доступен для реализации в условиях геологоразведочных партий, но сложен по технологии, нестабилен по результативности и требует больших затрат времени. Результативность способов в значительной степени зависит от опыта и аккуратности исполнителя. Применение способа зачастую сопровождается ухудшением технологического состояния скважины вследствие смещения клина в процессе бурения. Набор кривизны ограничивается 1—3°. В настоящее время для набора кривизны этот способ применяют редко, а используют главным образом для решения второй технологической задачи — для ответвления.

2. *Съемно-клиновой способ* искусственного искривления с целью набора кривизны с последующим разбуриванием ствола включает следующие основные технологические операции: подготовку забоя, ориентирование и закрепление клина на забое, отбурку от клина и его извлечение, расширение и проработку пилот-скважины с дополнительным набором кривизны или без него. Этот способ также выполняют в основном клиновыми отклонителями, но в отличие от предыдущего они не остаются в скважине, что требует некоторого усложнения технологии искривления, но снижает вероятность ухудшения технологического состояния скважины. Наибольшее распространение способ получил в конце 60-х — начале 70-х годов, когда были разработаны и широко освоены производственными организациями отклонители типа СО конструкции ВИТРа, СНБ-КО — КазИМСа и другие [14, 16, 22]. Способ применяют в породах различной категории буримости при использовании серийно выпускаемого шарошечного, твердосплавного и алмазного породоразрушающего инструмента. Недостатками способа являются: большое число технологических операций, сопровождающихся большими затратами времени; резкие перегибы скважины, ухудшающие условия работы бурильной колонны; невысокая эффективность в условиях интенсивного естественного искривления; недостаточная стабильность результатов. Вместе с тем этот способ отличается простотой технических средств, которые доступны для изготовления в полевых условиях.

3. *Съемно-отклоняющий способ* искусственного искривления с целью набора кривизны с сохранением основного диаметра ствола включает следующие основные технологические операции: ориентирование и закрепление отклонителя на забое, отбуривание и проработку изгиба скважины. Этот способ выполняют с помощью отклонителей типа ШПТО и КОБ конструкции Уральского ПГО, СНБ-З конструкции ВКПГО, разработанных в 60-годах для скважин диаметром 93 и 112 мм. В последующие годы этот способ развития не получил.

4. *Шарнирно-компоновочный способ* искусственного искрив-

ления с целью набора кривизны специальными гибкими или шарнирными компоновками снаряда включает одну технологическую операцию — бурение с искривлением. Способ выполняют различными компоновками нижней части бурового снаряда: одно- или двухшарнирными, с опорой на промежуточное звено или на коронку, с шарниром или бурильной трубой малого диаметра, с одним или несколькими расширителями и т. п. Способ применяют в основном для изменения зенитного угла при учете закономерностей естественного искривления, при этом обеспечивается плавный набор кривизны с небольшими затратами времени с сохранением основного диаметра скважины. Наиболее стабильные результаты получены при искривлении в изотропных породах в скважинах с большим зенитным углом (15° и более). В последние годы этот способ эффективно используют в качестве дополняющего к другим способам с целью продолжения локального искривления.

5. *Дискретно- или шагово-отклоняющий способ* искусственного искривления с целью набора кривизны специальными снарядами-отклонителями включает следующие технологические операции: ориентирование и установку отклонителя на забое, отбуривание на длину шага, перекрепление, отбуривание на следующий шаг и т. д. и проработку изгиба скважины. Этот способ существует в двух основных модификациях. В первой перекрепление осуществляют при остановке вращения исполнителем с дневной поверхности через колонну бурильных труб; во второй перекрепление производят автоматически специальным устройством, размещенным в корпусе отклонителя. Несмотря на перспективность способ мало исследован. Известно небольшое число технических средств для реализации этого способа.

6. *Непрерывно-отклоняющий способ* искусственного искривления с целью набора кривизны специальными снарядами-отклонителями включает следующие основные операции: ориентирование и установку отклонителя на забое, бурение с искривлением, проработку изгиба скважины. Этот способ выполняют отклонителями непрерывного действия БСНБ конструкции ЦКГУ, СНБ-ОП разработки ИМРа и ТЗЗ — ЗабНИИ и применяют в породах различной буримости при использовании бескернового породоразрушающего инструмента с сохранением основного диаметра скважины и получением плавной дуги. В последние годы этот способ находит все более широкое распространение. Разработаны и серийно выпускаются технические средства для скважин диаметром 76 и 59 мм. Отклонители диаметром 89 и 108 мм выпускаются небольшими партиями.

Непрерывно-отклоняющий способ искусственного искривления реализуют также при помощи малогабаритных забойных двигателей, например винтовых двигателей Д-54 или Д-85, разработанных ВНИИБТ. Двигатель, снабженный кривым переводником, позволяет осуществлять искусственное искривление сква-

жины по плавной дуге. Это подтверждается экспериментальными данными, полученными ЗабНИИ при направленном бурении скважин двигателем Д-54 в Гагаринской ГРП.

§ 2. СПОСОБЫ ИСКУССТВЕННОГО ИСКРИВЛЕНИЯ ДЛЯ ОТВЕТВЛЕНИЯ

1. *Стационарно-клиновой способ* искусственного искривления с целью ответвления содержит следующие основные технологические операции: установку пробки-забоя или специального перекрытия в скважине, ориентирование и закрепление клина в скважине, отбуривание от клина, разбуривание и проработку пилот-скважины. Этот способ выполняют стационарным клиновым отклонителем типа КОС в комплекте с пробкой-забоем ПЗ конструкции ВИТРа или комплексом СКО конструкции А. И. Середкина. Безотказность способа в основном зависит от степени разработанности стенок скважины; наиболее эффективен он в скважинах с незначительной разработанностью. Совмещение операций по созданию перекрытия и установки отклонителя, а также совмещение операций по отбуриванию с разбуриванием, безусловно, повышают его эффективность, однако не расширяют возможностей для работы в скважинах с повышенной разработанностью стенок.

2. *Съемно-клиновой способ* искусственного искривления с целью ответвления включает следующие технологические операции: ориентирование и установку клина на опорной колонне, отбурку от клина, бурение дополнительного ствола, захват и извлечение клина. Этот способ в отличие от предыдущего не содержит операцию по созданию искусственного забоя и выполняется клиновым отклонителем ЛП-2, разработанным Л. И. Петрачковым. Способ применялся в Забайкалье для повышения достоверности колонкового бурения при разведке жильных рудных тел с изменчивыми параметрами, в Западной Сибири и на Украине для перебурки угольных пластов [14]. Он обеспечивает получение требуемых результатов в скважинах с устойчивыми стенками. Достоинства способа — возможность извлечения и многократного использования клинового устройства, а также небольшие затраты времени на цикл ответвления — позволяют считать его перспективным для целей перебурки отдельных интервалов дополнительными стволами.

3. *Способ искусственного искривления отклонителем от искусственного забоя* с целью ответвления включает следующие основные технологические операции: создание искусственного забоя из твердеющего вяжущего материала, ориентирование и установку отклонителя, бурение с искривлением, проработку изгиба скважины. Этот способ выполняется с помощью твердеющих смесей (на основе цемента с ускорителями твердения или синтетических смол с соответствующими отвердителями), доставляемых в скважину известными специальными устройствами или контейнерами. Для отбурки ствола от затвердевающего

забоя и набора кривизны используют различные способы искусственного искривления, из которых наиболее перспективны дискретно-отклоняющий и непрерывно-отклоняющий.

Достоинством этого способа является возможность успешной работы в разработанных скважинах. К недостаткам следует отнести большие непроизводительные затраты времени на затверждение искусственного забоя и существенное влияние геокриологических условий на процесс затвердения. Кроме того, наиболее распространенные вяжущие материалы обеспечивают твердость и прочность затвердевшего материала забоя на уровне V—VIII категорий буримости горных пород, что пока ограничивает применение этого способа в крепких породах. Более высокие прочностные показатели достигаются при использовании компаундов на основе эпоксидной смолы, однако технология работы с этими смесями несмотря на ряд положительных результатов еще нуждается в доработке и широкой проверке в производственных условиях.

4. *Способ искусственного искривления «спрямлением» с помощью жесткого снаряда* с целью ответвления включают следующие основные технологические операции: создание изгиба скважины, бурение опережающего дополнительного ствола, бурение жестким снарядом в изгибе и спрямление.

Этот способ ответвления выполняют при бурении многоствольных скважин по методике «сверху — вниз», т. е. когда в основном стволе создают локальное искусственное искривление, направляющее скважину в верхнюю часть геологического разреза для подсечения рудной зоны. Затем с учетом параметров этого искривления (угла отклонения, диаметра ствола и др.) подбирают колонковый снаряд повышенной жесткости, затрудняющей прохождение через изгиб скважины. Этот снаряд спускают в скважину и в интервале искривления производят бурение при средней частоте вращения и пониженной осевой нагрузке с постепенным ее нарастанием. После получения керна полного диаметра бурение производят на обычных режимах, а скважину проводят в следующую нижележащую проектную точку разреза.

Преимуществом способа является малое число операций, требующее небольших затрат времени. Недостатки способа обусловлены уменьшением жесткости спрямляющего снаряда с уменьшением диаметра скважины, что снижает возможности успешного ответвления в скважинах малого диаметра. Кроме того, возможность ответвления значительно снижается при увеличении разработанности стенок скважин. В связи с этим иногда практикуют сочетание разных диаметров основного и дополнительного ствола, т. е. локальное искривление и бурение опережающего дополнительного ствола производят от уступа инструментом меньшего диаметра, обычно следующего по нормальному ряду буровых диаметров, сохраняя основной диаметр при спрямлении. Спрявление производят одновременно с расшире-

нием скважины, что способствует успешному проведению операции ответвления. При интенсивной разработанности скважины и невозможности использования сочетания разных диаметров способ дополняют операцией по перекрытию интервала искривления щебенистым материалом или цементированием.

Проведенный краткий анализ известных способов искусственного искривления с учетом опыта их использования в различных горнотехнических условиях позволяет сделать следующие выводы.

1. Развитие способов происходит в направлении упрощения технологии, сокращения числа операций и затрат времени, повышения надежности и результативности, что достигается совершенствованием технических средств, появлением более сложных конструкций, а также разработкой оптимальной технологии для различных местных условий.

2. Среди способов искусственного искривления для набора кривизны наиболее перспективными для применения конструкторской разработки и дальнейшего совершенствования являются дискретно-отклоняющий и непрерывно-отклоняющий. Среди способов для ответвления трудно выбрать универсальный. Так, стационарно-клиновой и съемно-клиновой способы приемлемы для скважин с устойчивыми стенками. Способ спрямлением эффективен в крепких породах при бурении опережающего дополнительного ствола. Способы искривления от уступа и с помощью отклонителя привлекают простотой и небольшими затратами времени, но нуждаются в экспериментальной проверке. Способ искривления отклонителем от искусственного забоя на современном этапе развития приемлем для скважин с повышенной разработанностью ствола, в дальнейшем при появлении эффективных и экономичных вяжущих материалов, обеспечивающих получение прочного материала в короткие сроки, и надежных средств доставки этот способ может стать преобладающим.

3. Для выполнения основных технологических операций существующих способов искривления необходим определенный комплекс технических средств: отклонитель, обеспечивающий плавный набор кривизны в требуемом направлении; ориентатор для обеспечения направленности искусственного искривления; специальные буровые технологические снаряды (для отбурки от клина, спрямления, проработки, расширения скважины и т. п.); клиновой отклонитель в сочетании с пробкой-забоем для ответвления в крепких породах; угломерный прибор для точного ориентирования отклонителя; инклинометр для оперативного контроля за направлением скважин и специальный породоразрушающий инструмент для отбурки от клина, работы отклонителями, расширения и проработки скважин. В связи с этим необходимы работы по созданию нормального ряда КТНБ — комплексов технических средств для направленного бурения скважин различного диаметра.

Глава V

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ОТКЛОНИТЕЛЕЙ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Создание отклонителей непрерывного действия (ОНД) — одно из перспективных направлений при разработке комплекса технических средств для направленного бурения.

Преимуществом ОНД является возможность набора сравнительно равномерной кривизны одновременно с бурением скважины без потери ее диаметра при малом числе операций. Это обеспечивается синхронным перемещением невращающегося наружного корпуса отклонителя вслед за породоразрушающим инструментом. Длину рейса при этом и соответственно набор кривизны выбирают в зависимости от интенсивности искривления и стойкости породоразрушающего инструмента.

Разработкой ОНД занимаются многие творческие коллективы и отдельные специалисты научно-исследовательских организаций. Несмотря на достигнутые успехи, пока еще нельзя считать задачу решенной, так как развитие технического прогресса влечет за собой и повышение требований к этому виду техники. В связи с этим представляется необходимым рассмотреть некоторые методические вопросы разработки ОНД на примере отклонителя ТЗ-3.

§ 1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИКЕ ДЛЯ НАБОРА КРИВИЗНЫ

Исходя из специфичности геологоразведочного бурения, современного уровня технологии и тенденций технического прогресса, можно сформулировать основные требования к технике для набора кривизны.

1. Возможность безотказной работы в породах, наиболее часто встречающихся в практике бурения, т. е. в породах VI — XI категорий.

2. Малое число операций, позволяющее до минимума сократить психологическую напряженность труда буровой бригады при выполнении специальных работ в скважине, уменьшить зависимость результата от влияния ряда субъективных факторов и выполнить работы без заметного снижения общей производительности труда.

3. Возможность эксплуатации при обычном буровом оборудовании, использовании промывки скважины водой и растворами, продувке воздухом, без ограничения глубины и направленности в пространстве.

4. Снижение до минимума отрицательных последствий работы отклонителя на технологическом состоянии скважины, а при его отказе в процессе искривления — возможность быстрого устранения неполадок без проведения специальных работ.

5. Возможность исполнения опытных и промышленных образцов для работы в скважинах малого диаметра.

6. Регулирование интенсивности искривления в пределах точности инклинометрии.

7. Возможность ремонта в условиях геологоразведочных организаций.

8. Экономичность.

Таковы в общих чертах основные требования к отклонителю, показывающие, что создание надежного и современного устройства является достаточно сложной задачей.

§ 2. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ И РАЦИОНАЛЬНАЯ МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ОТКЛОНИТЕЛЕЙ

Отклонитель относится к скважинным механизмам, конструирование которых имеет свои специфические особенности. Эти особенности в основном связаны с условиями эксплуатации механизма, являющегося частью общей системы скважина — механизм. Работающий в скважине буровой снаряд представляет собой своеобразную пружину, сильно растянутую в верхней и сжатую в нижней части, обладающую упругостью и собственной частотой колебания. Характер этих колебаний зависит от ряда факторов, среди которых немаловажную роль играют такие, как параметры скважины и бурильной колонны, вид и состояние пород и промывочной жидкости, параметры режима бурения, характер работы породоразрушающего инструмента, степень деформации стенок скважины и другие, учет которых в математической модели весьма затруднен.

При работе в скважине отклонитель подвергается воздействию разнообразных нагрузок знакопеременного характера, вибрации, трению о породы, ударам о выступы при спуске, величину которых трудно учесть при расчетах.

Работа отклонителя протекает в среде, имеющей высокую механическую активность. Эта активность обусловлена абразивным истиранием, проявлением кавитации, коррозии, зашламованием. Прокачиваемая жидкость создает перепады гидравлического давления между различными точками механизма, проникает во все его полости, особенно на большой глубине, вымывая смазку и оставляя частицы шлама в отдельных узлах. Особенно усиливается это действие при скоростных спусках и подъемах с большой глубины. Частое изменение среды жидкость — воздух способствует активной коррозии поверхностей, защитный слой которых быстро удаляется абразивным раствором.

Конструирование отклонителей осложняется жесткими условиями вписывания узлов в малые габариты диаметра скважины и необходимостью сохранять канал для подачи промывочной

жидкости на забой. Кроме того, тенденция уменьшения диаметра скважин при сохранении прежней мощности станка требует повышения надежности отклонителя.

Работа отклонителя протекает на большом удалении от наблюдателя, где невозможно обеспечить непосредственный контроль за эксплуатацией, а приходится лишь по косвенным признакам судить о состоянии рабочего процесса. Сигнал о тех или иных нарушениях в работе узлов приходит с опозданием, часто при полной поломке.

Оценку работоспособности отклонителя обычно производят по показателям, в формировании которых участвует сложная и многофакторная система скважина — колонна бурильных труб — отклонитель—долото—ориентатор — организация труда, поэтому при анализе необходимо учитывать роль этих звеньев и выделять показатели, непосредственно связанные с работой механизма, например его безотказность, ресурс, ремонтпригодность, долговечность и т. п. Можно иметь надежный отклонитель и не получать требуемой интенсивности искривления вследствие малоэффективного долота, например при работе в абразивных породах. При надежном отклонителе, работоспособном долоте, но ненадежном ориентаторе также трудно получить искривление в нужном направлении.

Эксплуатация отклонителя носит непостоянный по времени характер: иногда его применяют ежемесячно, а иногда один-два раза в месяц. С одной стороны, это позволяет проводить профилактику без ущерба для производственного процесса бурения, а с другой стороны, — ослабляет внимание и контроль за постоянной готовностью отклоняющей техники.

Серийное изготовление отклонителей производят, как правило, на уровне ремонтно-механических мастерских геолого-разведочных организаций с весьма ограниченными возможностями, не позволяющими использовать при конструировании новейшие материалы и комплектующие изделия, современные способы обработки и достижения других отраслей машиностроения. Все эти особенности создают серьезные трудности при разработке новых отклонителей.

Накопленный опыт в создании отклонителей и других скважинных механизмов, получивших признание широкого круга специалистов, позволил выработать определенную методику рационального выполнения этих специфических работ.

Работы по созданию отклонителя проходят следующие основные этапы.

1. Ознакомление с основными задачами, для решения которых необходим новый отклонитель.

2. Патентный поиск, анализ литературных источников и производственного опыта с целью классификации существующих способов искусственного искривления и выбор наиболее перспективных.

3. Группирование известных отклонителей, реализующих наиболее перспективный способ.

4. Разработка основных требований к отклонителю, обуславливающих необходимость нового качественного шага в техническом развитии этого направления с учетом тенденций технического прогресса; составление, согласование с будущим заводом-изготовителем и утверждение технического задания.

5. Выбор критериев эффективности.

6. Выбор рациональных кинематических схем отклонителя для параллельной проработки, расчет основных параметров, проверка патентной чистоты, составление технического проекта.

7. Типизация основных узлов механизма известных отклонителей, оценка их достоинств и недостатков.

8. Компоновка узлов по новым схемам отклонителя, разработка недостающих или совсем новых узлов и проверка их патентной чистоты.

9. Изготовление макетов нового отклонителя для скважины диаметром 59 мм, так как с этого диаметра нетрудно перейти к другим. Макет имеет небольшую массу, что облегчает экспериментальные исследования. При этом изготавливают не менее двух экземпляров.

10. Разработка методики испытаний макета, предусматривающей достоверную проверку новых характеристик отклонителя, уточнение расчетных зависимостей.

11. Проведение стендовых испытаний макета, предусматривающих проверку работоспособности отдельных узлов и всего механизма в целом в условиях, близких к скважинным.

12. Анализ материалов испытаний, корректирование конструкции, отработка отдельных узлов.

13. Изготовление нескольких опытных образцов и подготовка их к работе в производственных скважинах. При сборке необходимо участие разработчиков.

14. Производственные испытания, которые наиболее целесообразно проводить в скважинах, выполнивших проектное геологическое задание, в ГРП, где в большом объеме ведут работы по искусственному искривлению и есть производственная заинтересованность в развитии направленного бурения, а также ремонтно-механическая база для оперативного ремонта или переделки узлов отклонителя.

15. Анализ результатов, оценка эффективности, корректирование конструкции.

16. Изготовление небольшой партии отклонителей и проведение предварительных испытаний по программе, предусматривающей получение представительной информации о технико-экономических показателях отклонителя и сравнение с известными, наиболее прогрессивными в данный момент.

17. Представление и защита отчета о предварительных испытаниях в техническом управлении.

18. Составление, согласование и утверждение программы приемочных испытаний, которые обычно проводятся в двух-трех передовых производственных организациях, различающихся горнотехническими условиями.

19. Проведение приемочных испытаний отклонителя, которые, как правило, носят производственный характер решения конкретных задач.

20. Составление и утверждение отчета о приемочных испытаниях, решение вопроса о серийном выпуске.

21. Корректирование технической документации в соответствии с рекомендациями приемочной комиссии, согласование, утверждение технических условий, подготовка патентного формуляра, инструкций, передача технической документации заводу-изготовителю, утверждение цены отклонителя.

22. Авторский надзор за серийным выпуском и внедрением отклонителей, оказание научно-методической помощи производственным организациям при внедрении, сбор и обработка материалов об эффективности, доработка отдельных узлов в соответствии с этими материалами для повышения надежности, долговечности и экономичности рабочего образца.

23. Внесение изменений в техническую документацию и согласование с заводом сроков перехода на новую улучшенную модель.

Таковы основные этапы выполнения работ при создании отклонителя, требующие продолжительного времени.

Как показывает анализ содержания этапов, изучение опыта разработки отклонителей, а также разных машин в других отраслях, сокращение сроков разработки ОНД можно осуществлять параллельным выполнением и совмещением этапов, привлечением производственных организаций к выполнению отдельных этапов, связанных с изготовлением и испытанием макетов и опытных образцов, использованием ускоренных методов испытаний на специальных стендах, имитирующих скважинные условия и позволяющих заменить или значительно сократить объем продолжительных и дорогостоящих испытаний в производственных условиях.

§ 3. ВЫБОР КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОТКЛОНИТЕЛЯ ТЗ-3

Отклонитель предназначен для углубления скважины с определенным смещением забоя от имеющегося направления оси ствола, что в итоге выражается образованием плавного и направленного изгиба скважины в требуемой плоскости пространства. Это забойный механизм, обеспечивающий передачу породоразрушающему инструменту осевого, крутящего и смещающего

или отклоняющего усилий, состоящий из комплекса взаимодействующих узлов и элементов.

Анализируя известные ОНД, нетрудно заметить, что они, как правило, состоят из двух основных частей; невращающегося при работе корпуса (для удобства изложения назовем его статором) и размещенного внутри него вала — ротора. Статор обеспечивает отклоняющее усилие на породоразрушающем инструменте и стабилизирует направление этого усилия при искривлении. Ротор передает крутящие и осевые нагрузки на породоразрушающий инструмент и позволяет приводить отклонитель из транспортного положения в рабочее.

Отклонитель оснащается бескernовым породоразрушающим инструментом — долотом, так как при малом зазоре между колонковой трубой и kernом трудно создать необходимый перекося или отклоняющее усилие на долоте.

В рабочее положение отклонитель приводится осевым усилием, создаваемым через колонну бурильных труб на роторе, а от него на статоре, т. е. отклонитель имеет механический привод. В связи с этим во многих известных ОНД содержится шлицевой узел.

Для предотвращения углового смещения статора и обеспечения стабилизации направления отклонитель оснащается специальным стабилизатором, опорные элементы которого выполнены обычно в виде ребер, полозьев или катков.

В связи с различной разработанностью стенок скважин стабилизатор имеет возможность выдвигаться за габариты статора, сохраняя постоянный и напряженный контакт со стенкой.

Связь ротора со статором, необходимая на период ориентирования, выполняется в основном в виде срезного штифта. В некоторых ОНД для этой цели устанавливается специальный блокировочный узел. Эти положения послужили основой при выборе и разработке кинематической схемы отклонителя непрерывного действия типа ТЗ, искусственное искривление которым обеспечивается приложением к долоту направленного бокового усилия и одностороннего фрезерования стенки скважины.

Для отклонителя типа ТЗ были подобраны две схемы, разработка которых велась параллельно. По схеме отклонителя ТЗ-2 (рис. 10,а) ротор I состоит из несущего вала с долотом 1 и нижним опорным выступом 2, шлицевого узла 3, возвратной пружины 4, блокировочного зуба 5 и верхнего опорного выступа 6. Статор II содержит распорно-отклоняющий узел из нижнего 7 и верхнего 8 полуклиньев и выдвижного ползуна 9 с кареткой катков 10, блокировочный паз 11 и подшипниковый узел 12.

При установке долота на забой под действием осевого усилия верхняя часть вала ротора перемещается вниз за счет шлицевого узла. При этом блокировочный зуб 5 выходит из паза 11 на статоре. При дальнейшем перемещении верхней части ротора верхний опорный выступ 6 через подшипник 12 передает осевое

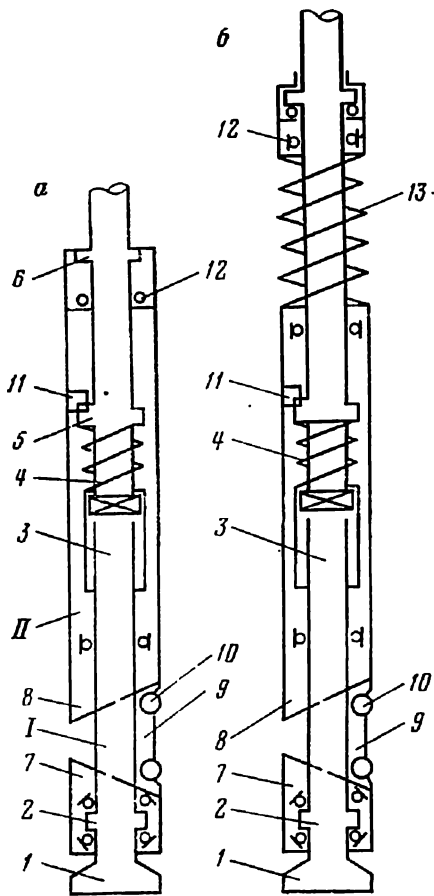


Рис. 10. Кинематическая схема отклонителей типа ТЗ:
 а — схема ТЗ-2; б — схема ТЗ-3

усилие на корпус статора, выдвигая ползун 9 до упора в стенку скважины. Через торцы полу-клиньев 7 и 8 осевое давление передается на нижний опорный выступ 2 и на долото. Под действием ползуна 9 на долоте создается отклоняющее усилие. Таким образом, распорно-отклоняющее усилие на выдвигном ползуне зависит от величины осевого, угловых параметров ползуна, трения в местах контактов деталей и может достигать больших значений.

Отклонитель ТЗ-3 (рис. 10,б) дополнительно снабжен силовым узлом в виде статорной пружины 13, размещенной между корпусом и верхним подшипниковым узлом и позволяющей дозировать усилие на корпус и распорно-отклоняющий узел в зависимости от характеристики пружины.

При испытаниях макетов ТЗ-2 отмечались задержки ползуна вследствие неровностей стенок скважины, зависание корпуса, снижение осевой нагрузки на забой и в итоге — ограничение длины рейса и резкое падение механической скорости бурения, чего не было при работе макетов ТЗ-3. Более того, наличие статорной пружины, снимающей часть осевой нагрузки, обеспечило постоянный напряженный контакт ползуна со стенкой скважины независимо от ее неровностей. Поэтому для дальнейшей разработки была принята схема отклонителя ТЗ-3.

§ 4. ВЫБОР И МЕТОДИКА РАСЧЕТА СТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО УЗЛА И ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЗ-3

Одним из основных условий работоспособности ОНД является стабилизация корпуса, т. е. обеспечение движения корпуса по образующей без углового смещения в процессе искривления.

При использовании забойных двигателей, например турбинного или винтового типов, стабилизацию корпуса и направления отклоняющего усилия обеспечивает жесткость невращающейся бурильной колонны с учетом угла закручивания от реактивного момента. При вращательном бурении механизм ОНД

снабжают специальным стабилизирующим узлом в виде распорника, удерживающего корпус отклонителя от углового смещения в процессе углубления забоя. Во многих известных конструкциях ОНД стабилизаторы выполнены в основном в виде клина с одним скосом, выступающим под действием осевой нагрузки до упора в стенку скважины, (снаряды СНИ-5 А. С. Юшкова, БСНБ М. П. Олексенко, УНБ А. Г. Калинина и М. П. Олексенко, ОНД-ТПИ В. И. Рязанова и в виде двухзвенного шарнирно-рычажного механизма (снаряды Б. Ф. Сафонова и Г. Е. Броуна и снаряд ИНБ-III В. В. Шитихина).

Среди технических требований, предъявляемых к стабилизирующему узлу ОНД, можно выделить следующие основные: стабилизация направления корпуса или статора отклонителя в пределах точности инклинометрии; сцепление опорных элементов с изменяющейся поверхностью стенки скважины в различных породах; требование к конструкции (в транспортном положении выдвижные опорные элементы не должны выходить за габариты корпуса, в рабочем положении должны выдвигаться до упора в стенку разработанного ствола диаметром до 15—20 мм); безотказность работы в зашламованной среде; надежные связи между элементами узла, предотвращающие их оставление в скважине в случае поломки при работе; простота монтажа — демонтажа и обслуживания; возможность ремонта в условиях механических мастерских геологоразведочных организаций.

Анализ работы стабилизирующих узлов известных ОНД показал, что несмотря на их достоинства, они имеют ряд конструктивных недостатков (снижение стабилизации при увеличении разработанности ствола, большое сопротивление при поступательном движении по скважине, подверженность деталей узла зашламованию, уменьшение прочности при малогабаритном исполнении и др.), значительно снижающих работоспособность и надежность всей конструкции ОНД.

В отклонителе ТЗ-3 для упрощения общей конструкции стабилизирующий узел совмещен с отклоняющим узлом и расположен непосредственно над породоразрушающим инструментом. Он выполнен клиновидным ползуном с двумя скосами на торцах, взаимодействующими с соответствующими скосами корпуса. Схематично этот узел представлен на рис. 11 и состоит из верхнего полуклина 1, клиновидного ползуна 2 и нижнего полуклина 3. К верхнему полуклину приложено усилие пружины P , благодаря которому ползун может

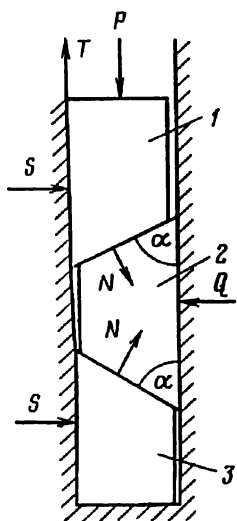


Рис. 11. Схема клинового механизма отклонителя ТЗ-3

выдвигаться до упора в стенку скважины. Ползун оснащен опорными элементами в виде катков и полозьев. Для выбора основных параметров: силы сжатия P пружины и угла скоса полуклиньев α необходимо определить усилия, возникающие при работе стабилизирующего узла.

Проведенный анализ взаимодействия усилий позволил получить следующие зависимости:

$$N = \frac{P}{\sin \alpha + f \cos \alpha + f_1 \cos \alpha - f_1 f \sin \alpha} ; \quad (46)$$

$$Q = \frac{2 P (\cos \alpha - f \sin \alpha)}{\sin \alpha + f \cos \alpha + f_1 \cos \alpha - f_1 f \sin \alpha} ; \quad (47)$$

$$S = \frac{P (\cos \alpha - f \sin \alpha)}{\sin \alpha + f \cos \alpha + f_1 \cos \alpha - f_1 f \sin \alpha} ; \quad (48)$$

$$T = \frac{P f_1 (\cos \alpha - f \sin \alpha)}{\sin \alpha + f \cos \alpha + f_1 \cos \alpha - f_1 f \sin \alpha} , \quad (49)$$

где N — сила реакции ползуна; f_1 — коэффициент трения в контакте «сталь по породе»; f — коэффициент трения в контакте «сталь по стали»; Q — сила реакции стенки скважины; S — распорное усилие, приложенное к ползуну; T — сила трения в контакте полуклина со стенкой скважины;

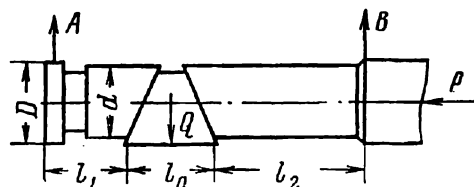
Рассмотрим связи и величины усилий в отклонителе ТЗ-3 при угле скоса 45° . При этом коэффициент трения в контакте «сталь по стали» в состоянии покоя при наличии смазки принимают равным $0,1-0,12$; в состоянии скольжения — $0,05-0,1$; коэффициент трения в контакте «сталь по породе» принимают равным $0,2-0,4$. Подставив предельные значения коэффициентов трения в формулы (46) — (49), получим предельные величины усилий: $1,05 P < Q < 1,53 P$; $0,92 P < N < 1,24 P$; $0,5 P < S < 0,76 P$ и $0,15 P < T < 0,28 P$.

Известно, что при вибрации коэффициенты трения уменьшаются. Поэтому можно предположить, что в описанном узле при $f \rightarrow 0$ Q стремится к $2P$, N — к $1,4P$, S — к P и T — к 0 . Таким образом, усилия, возникающие в клиновом узле, в частности усилие прижатия ползуна к стенке скважины, зависят от усилия сжатия или грузоподъемности пружины, при выборе которой необходимо учитывать требуемое отклоняющее усилие, прилагаемое к породоразрушающему инструменту.

Величину этого усилия определяют из условия создания удельного давления на боковой поверхности долота, достаточного для успешного фрезерования боковой стенки со скоростью, близкой к скорости разрушения забоя. Если учесть, что площадь боковой режущей части долота обычно в три-четыре раза меньше площади торцевой части и при фрезеровании стен-

ки скважины в работе участвует лишь половина боковой поверхности, величина отклоняющего усилия должна быть в пределах $(0,15-0,2)P_0$, где P_0 — осевая нагрузка на долото. Для работы в скважине диаметром 76 мм отклонитель должен иметь отклоняющее усилие не менее 200—300 кгс (эта величина впоследствии проверялась экспериментальным путем и получила подтверждение). Зависимость между отклоняющим усилием A (рис. 12) и усилием сжатия пружины P определяется соот-

Рис. 12. Взаимодействие усилий в распорно-отклоняющем узле отклонителя ТЗ-3



ношением линейных параметров распорно-отклоняющего узла и может быть выведена из уравнения момента сил относительно точки B

$$\Sigma m_B = P 0,5 D - Q (0,5 l_0 + l_2) + A (l_0 + l_1 + l_2); \quad (50)$$

$$A = \frac{Q (0,5 l_0 + l_2) - 0,5 P d}{l_0 + l_1 + l_2}, \quad (51)$$

где D — диаметр долота; l_0 — длина клиновидного ползуна; l_1 — расстояние от долота до ползуна; l_2 — расстояние от ползуна до опорного выступа на статоре; A — отклоняющее усилие на долоте; d — диаметр корпуса отклонителя. Для отклонителя ТЗ-3-76 l_0 , l_1 и l_2 соответственно равны 200, 250 и 90 мм. С учетом значений Q при разных коэффициентах трения $A = (0,38 \div 0,49)P$. Таким образом, для получения отклоняющего усилия 300 кгс пружина должна обеспечивать усилие сжатия не менее 600 кгс.

Исходя из схемы отклонителя ТЗ-3, силу сжатия статорной пружины можно выразить формулой

$$P = z (h - h_1), \quad (52)$$

где z — жесткость пружины; h — перемещение статорной пружины в шлицевом узле; h_1 — перемещение корпуса. Некоторое перемещение корпуса отклонителя вниз при установке его на забой связано с необходимостью рационального перемещения клиновидного ползуна до упора в стенку скважины, которая может быть разработана, т. е.

$$h_1 = 2 \operatorname{ctg} \alpha (\Delta D_c + D_{\text{н}} - d_{\text{к}}); \quad (53)$$

где α — угол скоса ползуна; ΔD_c — величина разработанности стенок скважины; $D_{\text{н}}$ — наружный диаметр породоразрушающего инструмента; $d_{\text{к}}$ — диаметр корпуса отклонителя. Для отклонителя ТЗ-3-76 $D_{\text{н}} = 76$ мм, $d_{\text{к}} = 70$ мм (в связи с необходимостью предотвращения задевания опорных элементов о стенки при спуске в скважину). С учетом этого

$$h_1 = 2 \operatorname{ctg} \alpha (\Delta D_c + 6). \quad (54)$$

Тогда формула (52) примет вид

$$P = z [h - 2 \operatorname{ctg} \alpha (\Delta D_c + 6)]. \quad (55)$$

Ход в шлицевом узле

$$h = \frac{P}{z} + 2 \operatorname{ctg} \alpha (\Delta D_c + 6). \quad (56)$$

При сравнении различных компоновок отклонителя, отличающихся разными значениями h , α и z , для ТЗ-3-76 выбрана оптимальная компоновка с $\alpha=45^\circ$, $h=60$ мм и $z=12,5$ кгс/мм. При этом немаловажное значение имели результаты конструкторской проработки узлов отклонителя.

§ 5. СТЕНДЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОТКЛОНИТЕЛЯ

Исследования работы отдельных элементов и узлов отклонителя, их последующие отработка и совершенствование с помощью специальных стендов, имитирующих те или иные условия работы, являются важным и неотъемлемым этапом в создании новой конструкции. Необходимо отметить, что многие исследователи недооценивают важность этого этапа, форсируя темпы разработки, практикуют испытания в производственных скважинах и получают при этом недостаточно полные результаты. По-видимому, по этой причине многие перспективные конструкции отклонителей оказались недоработанными и не получили должного признания и производственной реализации.

Известны работы, в которых описаны интересные стендовые исследования. В частности, в Томском политехническом институте на специальных стендовых установках проводили исследования по определению величины дезориентирующего усилия в момент отбурки нового ствола и усилия раскрепления клиновых распорников. Эти исследования позволили авторам разработать ряд интересных конструкций клиновых отклонителей. Сведения о стендах для исследований отклонителей непрерывного действия в литературе почти не приводятся.

Разработка отклонителя непрерывного действия ТЗ-3 потребовала создания специальных стендов, которые, конечно, нельзя считать совершенными, но они успешно могут быть применены при работе над другими конструкциями ОНД.

Задачами стендовых исследований отклонителя ТЗ-3 являлись: исследование силовой характеристики, проверка стабилизации статора, проверка отклоняющей способности, отработка системы шламозащиты, проверка работоспособности узлов при работе в условиях, приближенных к скважинным, исследование надежности узлов и др.

Одним из основных условий стабильности набора кривизны является создание на долоте отклоняющего усилия, направленного перпендикулярно к оси снаряда и по величине превышаю-

шего сопротивление породы разрушению, т. е. отклоняющее усилие должно быть достаточным для разбуривания породы боковой рабочей поверхностью долота. Как показали расчеты, в отклонителе ТЗ-3 это усилие зависит от ряда технических параметров: грузоподъемности статорной пружины, угла скоса в клиновидном ползуне, соотношения линейных размеров участков статора, трения в контактных участках и т. п.

Стенд для исследования силовой характеристики отклонителя (рис. 13) состоит из толстостенной трубы 1 с заглушками

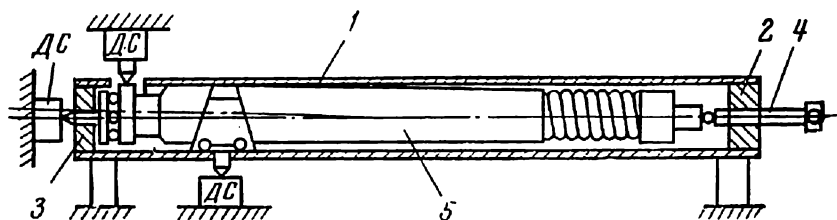


Рис. 13. Стенд для исследования силовой характеристики отклонителя

2 и 3 на концах. В заглушке 2 имеется отверстие для ввинчивания грузового винта 4. В трубе имеются соответствующие вырезы для установки динамометров сжатия ДС. Отклонитель 5 помещали в трубу так, чтобы ползун и долото находились против соответствующих вырезов. После настройки динамометров винтом 4 создавали осевое усилие. С помощью динамометров фиксировали осевое усилие, усилие на выдвижном ползуне и отклоняющее усилие на долоте.

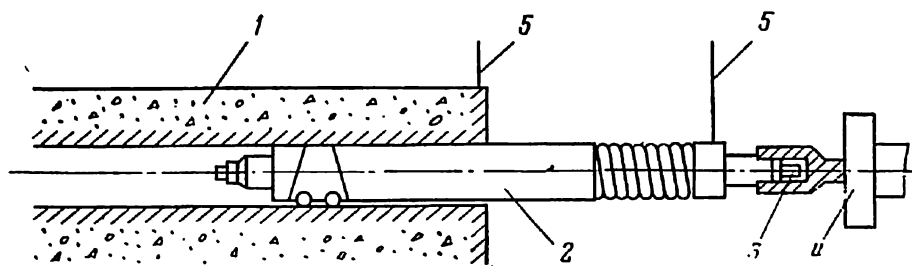


Рис. 14. Стенд для исследования стабилизации статора отклонителя ТЗ-3

С помощью стенда исследовали силовые характеристики отклонителей типа ТЗ разных модификаций, а также отклонителя ГОС, разработанного в Читинском геологическом объединении. Стендовые исследования позволили проверить и уточнить методику расчета и выбрать оптимальные параметры отклонителей.

Стендовые исследования стабилизации статора производились в скважине, пробуренной в штуфе 1 андезитов (рис. 14). Отклонитель 2 без долота помещали в скважину и приводили в рабочее положение специальным длинным стяжным стержнем 3 с резьбой на концах, который вводили в центральный

канал отклонителя. Верхний вал отклонителя закрепляли в зажимном патроне 4 бурового станка. На штуфе и на статоре отклонителя закрепляли стрелки 5.

Отклонитель, приведенный в рабочее положение, с помощью станка перемещали по скважине и фиксировали угловое смещение стрелок. На втором этапе к верхнему валу отклонителя на рычаге подвешивали груз, имитируя действие момента сил трения разной величины — от 0,1 до 5,0 кгс·м. На третьем этапе отклонитель перемещали по скважине, одновременно вращая ротор с помощью станка, и исследовали связь углового смещения с изменением частоты вращения от 100 до 1015 об/мин.

Проведенные стендовые исследования позволили уточнить параметры каретки катков.

Одним из условий работоспособности отклонителей является надежная защита подшипников от попадания шлама. Для исследования шламозащиты наиболее уязвимого распорно-отклоняющего узла и выбора оптимального варианта защиты при разработке отклонителя ТЗ-3 был изготовлен специальный стенд (рис. 15) из обсадных труб 1 и 2. Стенд устанавливали под шпинделем бурового станка в бункере экспериментальной буровой вышки. Отклонитель 3 помещали во внутренней трубе, а в зазор между трубами засыпали песок 4 различной зернистости. При вращении ротора и циркуляции промывочной жидкости песок выносился потоком и частично оседал на отдельных элементах отклонителя. Для предотвращения заклинивания шламом вала в подшипниках и попадания шлама в другие сопрягаемые детали были испытаны элементы обтекаемости, отражательные воротники, уплотнения различных видов, специальные наружные промывочные канавки и пазы и т. п., наиболее эффективные из которых в дальнейшем были использованы при разработке узлов отклонителя.

Исследования отклоняющей способности новой конструкции отклонителя и характер кривизны, получаемой при этом, проводили вначале на вертикальном стенде, который представлял собой бетонный цилиндр высотой 2,5 м и размещался под шпинделем бурового станка в специальном бункере. Опалубкой бетона служила вентиляционная фанерная труба диаметром 800 мм. В этом бетоне забуривали скважину глубиной 0,3—0,5 м, в которую опускали отклонитель и производили искривление. Позднее эти эксперименты были перенесены на более удобный горизонтальный стенд, установленный около бурового станка. Стенд состоял из длинной (до 6 м) корытообразной разборной опалубки из листовой стали и рамы из двутавровых балок, укрепленной на трех опорах. В опалубку заливали бетон высокого качества и после его затвердевания производили забуривание горизонтальной скважины на 0,5—0,6 м. Затем в скважину помещали отклонитель и производили искусственное

искривление в заданном направлении, как правило, до выхода скважины из бетонного блока. По данным детальной инклинометрии определяли характеристику кривизны, ее пространственное положение и соответствие расчетным величинам. Размеры бетонного блока позволяли бурить 4—6 направленных скважин малого диаметра. На этих стендах исследовали отклонители ТЗ-3 различных модификаций и отклоняющие компоновки на базе винтового двигателя Д-54 конструкции ВНИИБТ.

Для определения ресурса образца, времени первого отказа, времени профилактики и для исследования других элементов надежности был разработан специальный стенд (рис. 16), работа которого предусматривает использование бурового станка

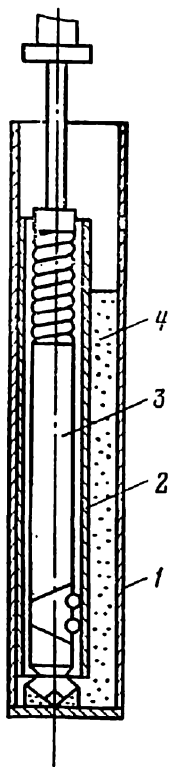
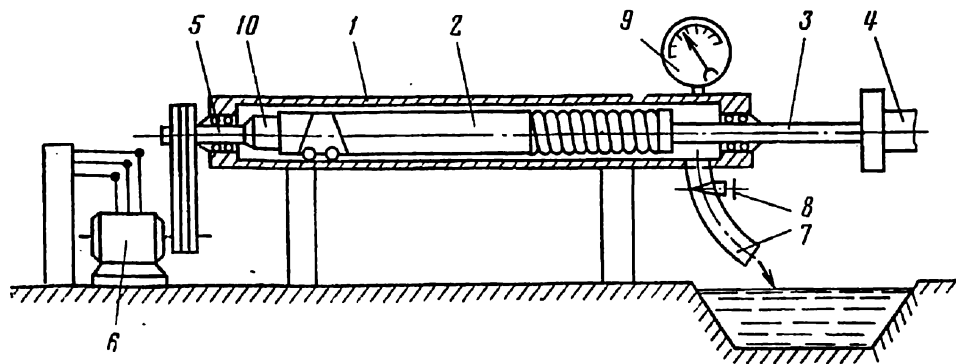


Рис. 15. Стенд для исследования шламозащиты отклонителя

Рис. 16. Стенд для исследования надежности отклонителя



и бурового насоса. Стенд имеет трубчатый корпус 1, где размещается исследуемый отклонитель 2. Верхний вал 3 отклонителя соединяется со шпинделем 4 станка. Нижний вал 10 отклонителя соединен со специальным промежуточным валом 5, имеющим шкив для привода генератора 6. Выходы валов герметизированы уплотнениями. Для вывода жидкости корпус имеет выводной канал 7 с краном 8. На корпусе также установлен манометр 9.

Генератор создает тарированный момент сопротивления на валу ротора, имитирующего крутящий момент при разрушении забоя. К отклонителю, размещенному на стенде, прилагали осевое усилие, соответствующее обычному при работе в скважинных, и при циркуляции специально зашламованной жидкости включали вращатель станка вначале на первой, а затем на третьей скорости. С помощью крана 8 гидравлическое давление внутри корпуса повышали постепенно до 40 кгс/см².

Таким образом, стенд имитирует основные условия рабочего процесса в скважине: зашламованность жидкой среды, гидравлическое давление, осевую нагрузку, вращение с различной частотой, тормозной крутящий момент.

Использование этого стенда позволяет значительно сократить сроки стендовых ресурсных испытаний и провести совершенствование ряда узлов отклонителя.

§ 6. ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛИЗАЦИИ СТАТОРА И ЭКСПРЕСС-МЕТОД ПРОВЕРКИ СОСТОЯНИЯ ОТКЛОНИТЕЛЯ ТЗ-3

Стабилизацию статора — одно из важнейших условий работоспособности ОНД — исследовали на стенде при разработке отклонителя ТЗ-3 и анализировали по материалам его испытаний в скважинах.

Исследования на стенде показали, что угловое смещение статора начинается при величине смещающего момента сил трения более 1 кгс·м в контактах системы ротор — статор. На рис. 17 показан график, полученный при стендовых исследованиях. Так, например, при величине смещающего момента, равной 2 кгс·м, угловое смещение составило 27° на 1 м перемещения.

В связи с данными, полученными при разработке конструкции отклонителя, были найдены решения, обеспечивающие величину момента сил трения в пределах 0,2—0,35 кгс·м. Это позволило для серийного образца ограничить момент сил трения в паспорте допустимой величиной 0,5 кгс·м.

Для оценки стабилизации статора при выполнении производственных задач проанализированы результаты работы отклонителя ТЗ-3 на сравнительно длинных интервалах искривления (табл. 1).

Таблица 1

| Номер скважины | Цель работы | Длина рейса отклонителя ТЗ-3, м | Средний угол искривления, градус—мин | Изменение углов, градус — мин | | | Породы, категории по буримости |
|-------------------------|---------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|---------------|---------|--------------------------------|
| | | | | зенитного | азимутального | полного | |
| Гагаринская ГРП | | | | | | | |
| Б-13 | Выполаживание | 6,0 | 15—15 | 6—00 | 1—00 | 6—00 | Дациты, IX |
| 1286 | | 4,3 | 12—30 | 4—00 | 2—00 | 4—06 | |
| 1966 | | 4,0 | 11—30 | 4—10 | 0—00 | 4—12 | Конгломераты; VIII |
| 1957 | | 4,8 | 14—30 | 4—30 | 0—00 | 4—30 | Липариты, IV |
| 1Э | | 7,0 | 9—30 | 8—30 | 0—00 | 8—30 | Гравелиты, VI—VII |
| 1Э | Выкручивание | 5,6 | 10—00 | —6—40 | 0—00 | 6—48 | |
| 1267 | Выполаживание | 5,0 | 14—00 | 5—30 | 0—00 | 5—30 | Дациты, IX |
| Б-1 | | 8,0 | 6—20 | 10—40 | 0—00 | 10—36 | Конгломераты, V—VI |
| 1291 | Поворот влево | 5,5 | 12—00 | 0—00 | —32—00 | 6—00 | Фельзиты, VII |
| Алексеевская ГРП | | | | | | | |
| 140 | Выполаживание | 9,1 | 20—00 | 10—35 | 0—00 | 10—36 | Гранодиориты, IX—X |
| 148 | | 4,0 | 24—10 | 5—20 | 0—00 | 5—18 | |
| 166 | | 6,0 | 25—25 | 7—10 | 0—00 | 7—12 | |
| 176 | | 6,0 | 25—00 | 8—00 | 0—00 | 8—00 | |
| 176 | | 4,6 | 18—00 | 6—00 | 0—00 | 6—00 | |
| 186 | | 5,6 | 23—00 | 6—00 | 0—00 | 6—00 | |
| 179 | | 5,4 | 19—30 | 5—00 | 0—00 | 5—00 | |
| 177 | | 5,2 | 27—30 | 6—20 | 0—00 | 6—18 | |

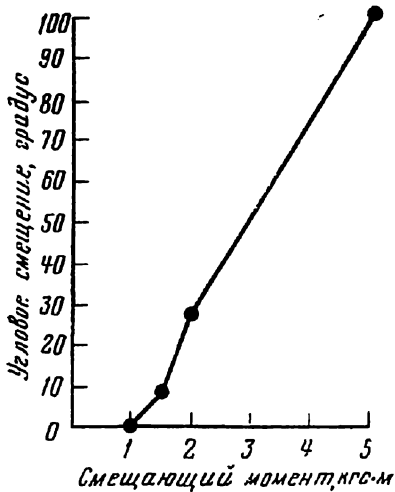


Рис. 17. График зависимости углового смещения статора отклонителя ТЗ-3 от смещающего момента сил трения

Нарушения стабилизации, как показывает опыт эксплуатации, наблюдались при использовании изношенных катков, расхаживании снаряда при вращении (что не допускается правилами эксплуатации), встрече карстовых пустот, бурении слабых, несвязанных пород зашламованности скважины, поломках подшипников в отклонителе, износе уплотнительных манжет и в других подобных случаях.

Величина момента сил трения в системе ротор — статор является своеобразным показателем технического состояния отклонителя, так как несовпадение фактического момента сил трения с паспортным свидетельствует о неисправности в системе. Поэтому было разрабо-

тано и распространено устройство для проверки отклонителя 1 по величине момента сил трения экспресс-методом (рис. 18). Измерение величины момента производят с помощью стяжного стержня 2 с гайками, мерных реек 3 с крепежными кольцами и болтами, патрубку 4 и динамометра 5.

Размеры патрубка выбирают в зависимости от конструкции и размеров распорных узлов. Для отклонителей типа ТЗ основные размеры патрубка приведены в табл. 2.

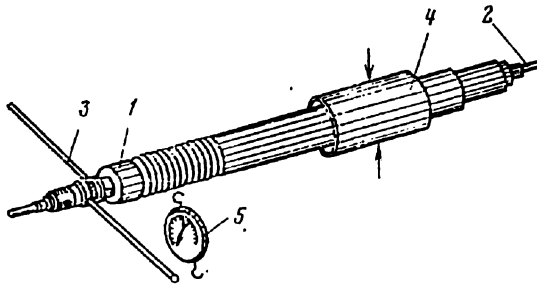


Рис. 18. Устройство для измерения момента сил трения между ротором и статором отклонителя

Измерение выполняют следующим образом. В центральный канал отклонителя вводят стяжной стержень, на распорный клиновой узел надевают патрубок, который закрепляют в слесарных тисках или зажимном хомуте, при завинчивании гаек на стержне отклонитель сдавливается и распорное устройство, сцепляется с патрубком, фиксируя статор. На верхнем валу

Таблица 2

| Диаметр отклонителя, мм | Размеры патрубка, мм | | |
|-------------------------|----------------------|-------|---------------------------|
| | Внутренний диаметр | Длина | Толщина стенки (не менее) |
| 89 | 91±0,5 | 350 | 6 |
| 73 | 75±0,5 | 300 | 5 |
| 57 | 58±0,5 | 250 | 4,5 |
| 44 | 45±0,5 | 200 | 4 |

ротора закрепляют горизонтально две мерные рейки под углом 180° относительно друг друга, с помощью динамометра замеряют усилие в начале поворота в статоре и по длине плеча рассчитывают момент сил трения. Ниже приведены примеры успешного использования описанного метода в производственных условиях.

1. В партии из десяти отклонителей типа ТЗ, изготовленных в мастерских одного из геологических объединений, при замерах величина момента сил трения изменялась в пределах 0,35—5,5 кгс·м. Проверка качества изготовления отклонителей показала, что семь образцов с моментом сил трения более 0,5 кгс·м имели отклонения от требуемых размеров и не соответствовали техническим условиям.

2. Периодические замеры момента сил трения в одном из отклонителей ТЗ-3-73 при эксплуатации на Холоднинском месторождении показывали постоянную величину 0,6 кгс·м после пяти циклов искривления. После шестого цикла была зафиксирована величина 1,33 кгс·м. При разборке и осмотре отмечено разрушение уплотнительных манжет и наличие шлама в нижнем подшипниковом узле.

3. При эксплуатации нескольких отклонителей ТЗ-3-73 в Северной ГРП было отмечено, что два из них отличаются пониженной точностью искривления. Замеры момента сил трения в этих образцах показали величины, в 5—6 раз большие по сравнению с величинами момента в других образцах, что было вызвано затягом подшипников и биением валов.

Как показала практика, возрастание сил трения между ротором и статором в ОНД типа ТЗ может происходить по следующим причинам:

занижение радиальных размеров в посадочных местах ролкоподшипников — центраторов валов отклонителя;

неправильная регулировка пары подшипников в нижнем узле;

сползание стяжного пружинного кольца из армированной

манжеты в уплотнительных узлах и защемление его при вращении вала;

недостаточная чистота обработки валов в контактах с подшипниками и манжетами;

повышенное биение валов в посадочных местах подшипников;

перекос подшипников;

занижение длины нижнего вала;

защемление бурта верхнего вала вследствие несоответствия размеров сопрягаемых деталей ротора и статора;

выход из строя уплотнителей и зашламование подшипниковых узлов;

отсутствие смазки;

хранение в непригодных условиях, способствующих интенсивному коррозированию деталей отклонителя;

изгиб валов;

выход из строя подшипников;

перекос статорной пружины и т. п.

Измерение момента сил трения в качестве одного из оперативных методов проверки технического состояния отклонителей повышает надежность, срок службы и качество их работы.

Приведенные материалы не охватывают всех методических вопросов, возникающих при разработке ОНД, однако они могут послужить основой при создании новых, более совершенных отклонителей.

Глава VI

ОТКЛОНИТЕЛИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ И РАЦИОНАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИСКРИВЛЕНИЯ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Наиболее универсальной техникой для решения задач по набору кривизны являются отклонители непрерывного действия, так как они позволяют при малооперационной технологии производить искусственное искривление в различных породах в разных направлениях независимо от закономерностей естественного искривления, требуя небольших дополнительных затрат времени, не усложняя технологического состояния скважины.

Как показывает опыт работы передовых организаций, ОНД успешно применяются для решения различных задач при введении методов направленного бурения, из которых можно выделить следующие основные:

проведение скважин по проектному направлению в условиях проявления нежелательного естественного искривления (Северобайкальская, Чаунская, Зыряновская, Мурманская, Главно-Кавказская, Комсомольская и другие ГРЭ);

набор кривизны дополнительного ствола при бурении многоствольных скважин (Норильская, Карамкенская, Минусинская, Айнакская, Мурманская, Гагаринская и другие ГРЭ);

бесклиновое забуривание нового ствола от искусственного забоя (Карамкенская, Главно-Кавказская, Иджеванская, Гагаринская, Норильская, Мурманская, Железногорская и другие ГРЭ);

увеличение угла встречи между скважиной и круто падающим рудным телом (Булганская, Айнакская, Железногорская, Минусинская и другие ГРЭ).

Кроме того, в меньшем объеме ОНД применялись при отборе ориентированного керна, бурении наклонно направленных, вертикально-наклонных, субгоризонтальных и восстающих скважин с дневной поверхности и из подземных горных выработок. ОНД нашли применение на всех стадиях геологоразведочных работ, выполняемых с помощью колонкового бурения, однако наибольшую эффективность они обеспечивают при детальной эксплуатационной разведке.

Наиболее благоприятными для этих отклонителей являются горнотехнические условия, обеспечивающие механическую скорость бурения шарошечными долотами типа 76К более 0,8 м/ч, неблагоприятными — условия, при которых отмечается повышенный износ и малая проходка долота (менее 4 м), сужение

призобойной части скважины, малая механическая скорость бурения, наличие провалов инструмента при углублении, зашламованность забоя, затруднения в производстве инклинометрии и т. п. Практически ОНД успешно эксплуатируют в горных породах от VI до X категорий по буримости при использовании шарошечных долот и до XI категории при использовании алмазных долот.

Все эти обстоятельства позволяют считать ОНД основным и наиболее прогрессивным устройством в общем комплексе технических средств направленного бурения.

В настоящее время известно большое число конструкций ОНД, к которым относятся устройства с принудительным и направленным отклонением породоразрушающего инструмента и невращающимся скользящим корпусом. Породоразрушающим инструментом, как правило, является долото.

По способу образования искривления скважины в современном конструировании ОНД выделяют две основные схемы:

отклонители с направленным боковым усилием, создаваемым на долоте и обеспечивающим фрезерование стенки и отклонение забоя;

отклонители с перекосом долота, обеспечивающим асимметричное разрушение и отклонение забоя.

По способу проведения в рабочее положение различают ОНД с механическим (передача осевой нагрузки) и гидравлическим приводом (повышение гидравлического давления в буровом снаряде).

За рубежом находят применение отклонители непрерывного действия на основе объемного винтового двигателя малого диаметра фирмы «Дайна-дрилл» США. В последние годы в нашей стране начаты работы по созданию ОНД на основе отечественного винтового двигателя Д-54.

Среди ОНД, прошедших широкие производственные испытания и отличающихся законченной конструкторской разработкой, наибольшую известность получили отклонители: БСНБ конструкции ЦКГУ, СНБ-ИМР, разработанный Днепропетровской группой отделов ИМРа, и ТЗ-3 разработки ЗабНИИ.

§ 2. ОТКЛОНИТЕЛЬ ТИПА БСНБ

Отклонитель непрерывного действия типа БСНБ (бесклиновой снаряд направленного бурения), разработанный партией новой техники Центрально-Казахстанского геологического объединения, осуществляет искусственное искривление скважины в результате асимметричного разрушения забоя, которое обеспечивается некоторым перекосом оси породоразрушающего инструмента. Техническая характеристика отклонителей типа БСНБ приведена в табл. 3.

Таблица 3

| Технические данные | Отклонитель | | | |
|--|-------------|--------------|---------|---------|
| | БСНБ-112 | БСНБ-93 | БСНБ-76 | БСНБ-59 |
| Диаметр корпуса, мм | 108 | 89 | 73 | 57 |
| Диаметр долота, мм | 112 | 93 | 76 | 59 |
| Наибольший диаметр выдвигных планок стабилизатора, мм | 130 | 100 | 85 | 65 |
| Интенсивность искривления в изотропных породах, градус/м | 2,0 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| Наибольший угол перекоса вала в нижней части, градус — мин | 0—44 | 0—33 | 0—42 | 0—34 |
| Усилие закрепления корпуса, кгс | 1500 | 1400 | 1200 | 1000 |
| Наибольшее отклоняющее усилие сместителя, кгс | 860 | 500 | 840 | 600 |
| Параметры режима бурения: | | | | |
| осевая нагрузка на долото, кгс | 3,0—3,5 | 2,5—3,0 | 2,5—3,0 | 1,5—2,5 |
| частота вращения, об/мин | | Не более 100 | | |
| Длина, м | 2,3 | 1,8 | 1,8 | 1,75 |
| Ресурс, ч | | Не менее 300 | | |

Отклонитель типа БСНБ состоит из двух основных частей: невращающегося корпуса с распорно-стабилизирующим узлом и рабочего вала, содержащего в нижней части долото и отклоняющий узел в виде втулки с эксцентричной торцевой расточкой. В состав разъемного вала входит шлицевой узел, благодаря которому при установке отклонителя на забой осуществляется включение распорно-стабилизирующего узла и смещение долота на некоторый угол относительно оси снаряда.

Вал и корпус отклонителя на период ориентирования заблокированы специальной муфтой сцепления, которая выключается при осевой нагрузке на долото.

Распорно-стабилизирующий узел выполнен в виде специальных фигурных планок, выдвигаемых из продольных окон в корпусе и прижимаемых к стенкам скважины на период искривления. При переходе отклонителя в транспортное положение планки втягиваются в габариты корпуса.

В местах контактов вала с корпусом установлены специальные подшипниковые узлы, защищенные от шлама резиновыми уплотнениями. Опорные элементы распорно-стабилизирующего узла выполнены в виде твердосплавных полозьев.

Отклонители типа БСНБ диаметром 108, 89 и 73 мм в ос-

Таблица 4

| Технические показатели | Отклонитель | | |
|---|-------------|---------|------|
| | БСНБ-76 | СО | АН |
| Число циклов искривлений | 86 | 16 | 80 |
| Средняя глубина искривлений, м | 969 | 1070 | 748 |
| Средняя категория пород по буримости | VIII—IX | VIII—IX | IX—X |
| Полный угол искривления, градус — мин: | | | |
| наибольший | 4—48 | — | 4—00 |
| средний | 1—12 | 1—54 | 2—15 |
| Средняя интенсивность искривления, градус/м | 0,62 | 0,35 | 4 |
| Затраты времени на бурение 1 м в интервале искривления, ст.-ч | 3,31 | — | 14,6 |
| Затраты времени на искривление на 1°, ст.-ч | 3,8 | 12,0 | 3,8 |

Таблица 5

| Номер скважины | Начальная глубина искривления, м | Пробурено с применением ОНД | | Цель искривления | |
|----------------|----------------------------------|-----------------------------|--------|------------------|----------------|
| | | циклов | метров | $\Delta\theta$ | $\Delta\alpha$ |
| 2567 | 404—439 | 5 | 4,2 | Уменьшение | Увеличение |
| 2588 | 98—125 | 2 | 1,25 | » | » |
| 3320 | 151—420 | 8 | 7,4 | » | » |
| 1,147 | 400—495 | 5 | 4,3 | Увеличение | — |
| 2747 | 320—345 | 4 | 2,8 | Уменьшение | — |

новном применяют на месторождениях Центрального Казахстана. С помощью этих отклонителей произведено более 500 циклов искривлений и пробурено более 100 направленных скважин.

При приемочных отраслевых испытаниях отклонителя БСНБ-76, которые проводились в Норильской и Джекказганской ГРЭ, были получены результаты, показавшие преимущество этого снаряда перед съемными клиновыми отклонителями (табл. 4).

Вместе с тем был отмечен ряд недостатков: некоторая сложность конструкции, возможность зависания корпуса, чрезмерно резкое искривление, что привело к поломке одного из испытываемых отклонителей. К недостаткам отклонителя следует также отнести несовершенство распорно-отклоняющего узла, отмеченное и другими исследователями [14].

Опорные выдвижные планки, несмотря на большое усилие, приложенное к ним, не обеспечивают требуемой стабилизации

корпуса, в связи с чем при ориентировании необходимо делать поворот корпуса влево на 20—30° по углу установки. Большое распорное усилие вызывает торможение и зависание корпуса отклонителя. Чтобы этого избежать, требуется повышенная осевая нагрузка на инструмент, сопровождающаяся поломками бурильных труб и самого отклонителя.

Достоинством конструкции является оригинальный узел отклонения, производящий искривление с регулированием интенсивности и обеспечивающий стабильный набор кривизны в условиях неравномерной разработанности стенок.

В 1974—1975 гг. специалистами ЦКПГО был разработан отклонитель БСНБ-59, который нашел применение на Джиланжинском и Восточно-Жайремском месторождениях при бурении направленных скважин в породах X категории буримости.

В табл. 5 приведены результаты работы БСНБ-59 на некоторых скважинах (по материалам ЦКПГО).

В скв. 3320, которую бурили комплексом ССК-59, отклонитель БСНБ-57 был применен с целью уменьшения зенитного угла. Скважина имела тенденцию к выполаживанию. В табл. 6

| Изменение углов, градус — мин | | | | | Средняя интенсивность искривления, градус/м |
|-------------------------------|------------|------------|------------|----------|---|
| θ_1 | θ_2 | α_1 | α_2 | δ | |
| 14—15 | 9—30 | 338—00 | 359—00 | 6—00 | 1,42 |
| 4—50 | 3—00 | 250—00 | 275—00 | 2—30 | 2,0 |
| 4—15 | 3—45 | 17—00 | 17—00 | 10—30 | 1,4 |
| 14—30 | 19—30 | 300—00 | 300—00 | 5—00 | 1,16 |
| 9—15 | 6—00 | 335—00 | 335—00 | 3—12 | 1,14 |

показаны результаты, полученные при восьми циклах искривления.

Таблица 6

| Начальная глубина искривления, м | Пробурено с применением ОНД, м | Изменение углов, градус — мин | | | | | Интенсивность искривления, градус/м | | Затраты времени на цикл, ст.ч |
|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------|------------|------------|----------|-------------------------------------|---------|-------------------------------|
| | | θ_1 | θ_2 | α_1 | α_2 | δ | $i_{расч}$ | $i_{ф}$ | |
| 151 | 1,0 | 4—15 | 2—45 | — | — | 1—30 | 1,2 | 1,5 | 6,2 |
| 177 | 0,8 | 5—30 | 4—30 | 17—00 | 17—00 | 1—00 | 1,2 | 1,2 | 5,0 |
| 181 | 1,0 | 4—30 | 3—30 | 17—00 | 17—00 | 1—00 | 1,2 | 1,0 | 6,0 |
| 191 | 1,0 | 3—30 | 2—00 | 17—00 | 17—00 | 1—30 | 1,2 | 1,5 | 8,4 |
| 274 | 1,0 | 6—30 | 5—00 | 17—00 | 17—00 | 1—30 | 1,2 | 1,5 | 8,2 |
| 284 | 1,0 | 5—30 | 4—00 | 17—00 | 17—00 | 1—30 | 1,2 | 1,5 | 7,0 |
| 321 | 1,0 | 4—00 | 2—45 | 17—00 | 17—00 | 1—18 | 1,2 | 1—25 | 7,5 |
| 420 | 1,6 | 5—00 | 3—45 | 357—00 | 357—00 | 1—18 | 1,2 | 0,80 | 8,0 |

При анализе приведенных данных можно отметить соответствие полученных результатов расчетным параметрам по точности и стабильности искривления. Вместе с тем обращает на себя внимание ограниченная длина рейсов искривления (0,8÷÷1,6 м) при относительно больших затратах времени, что предположительно связано с несовершенством распорно-стабилизирующего узла и ограничениями частоты вращения.

§ 3. ОТКЛОНИТЕЛЬ ТИПА СНБ-ИМР

Отклонитель непрерывного действия типа СНБ-ИМР (снаряд направленного бурения), разработанный Днепропетровской группой ИМР, выполнен по схеме с асимметричным разрушением забоя.

Техническая характеристика отклонителей этого типа приведена в табл. 7.

Таблица 7

| Технические данные | Отклонитель | | |
|---|-------------|------------|------------|
| | СНБ-ИМР-93 | СНБ-ИМР-76 | СНБ-ИМР-59 |
| Диаметр корпуса, мм | 89 | 73 | 57 |
| Диаметр долота, мм | 93 | 76 | 59 |
| Интенсивность искривления, градус/м | 0,5—2,5 | 0,5—2,5 | 0,5—2,5 |
| Оптимальная интенсивность искривления, градус/м | 1,7 | 1,7 | 1,7 |
| Распорное усилие, кгс | 900 | 900 | 800 |
| Искривление за цикл, градус | 4—6 | 4—6 | 4—6 |
| Параметры режима бурения: | | | |
| осевая нагрузка, кгс | 2000 | 2000 | 2000 |
| частота вращения, об/мин | < 250 | < 250 | < 250 |
| количество промывочной жидкости, л/мин | 70 | 70 | 70 |
| Масса, кг | 44 | 32 | 23 |
| Длина, м | 1,3 | 1,3 | 1,2 |

Отклонитель выполнен подобно шарнирной компоновке с промежуточной опорой (рис. 19).

Верхняя часть вала «компоновки», имеющего меньший диаметр по сравнению с долотом, при установке на забой смещается до упора в стенку скважины и фиксируется специальным устройством корпуса. Поворот компоновки относительно опоры приводит к перекосу долота. Опора имеет подшипниковый узел и связана в невращающемся корпусе. Корпус представляет собой отрезок трубы с продольным вырезом для выхода верхней части шарнирной компоновки. В местах контактов опоры и корпуса со стенками скважины имеются ребра в виде твердосплавных полозьев.

Блокировка вала с корпусом на период ориентирования осуществляется срезными штифтами.

Отклонитель применяется в основном на месторождениях Донбасса. При испытаниях длина рейса искривления составляла 0,7—2,8 м, набор кривизны — 0,75—3,5°, дополнительные затраты времени — не более 2—3 ч на искривление 1° [16]. При этом установлено, что искривление происходит по кривой параболического вида со средней интенсивностью 1,7 градус/м. Общий набор кривизны регулировали изменением длины рейса.

В связи с отсутствием опубликованных материалов о работоспособности отклонителя типа СНБ-ИМР в производственных условиях, о его достоинствах и недостатках можно судить, анализируя описанную конструкцию. К достоинствам относятся простота, невысокая стоимость изготовления, небольшие размеры. Недостатки связаны с несовершенством распорно-стабилизирующего узла: распорное усилие, создаваемое осевой нагрузкой, имеет жесткую характеристику, вследствие чего возможно врезание опорных элементов в стенки скважины, зависание корпуса и ограничение длины рейса. Во избежание этих явлений целесообразно ввести упругий элемент для передачи осевой нагрузки на корпус.

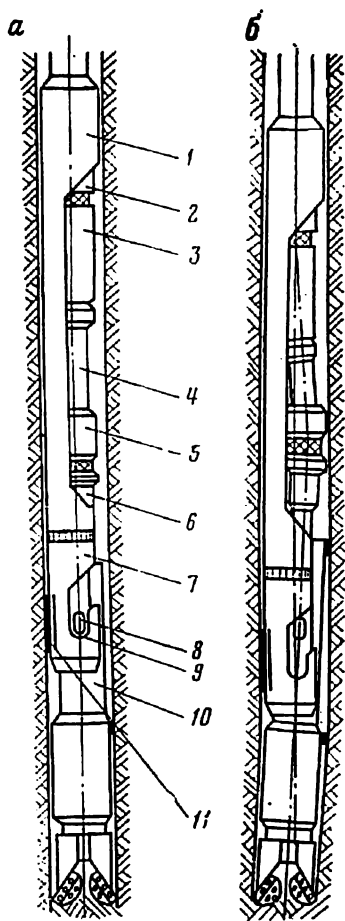


Рис. 19. Отклонитель типа СНБ-ИМР:

а — транспортное положение; б — рабочее положение; 1 — верхний стакан; 2, 5 — шарниры; 3 — шлицевая муфта; 4 — ведущий вал; 6 — ведомый вал; 7 — корпус (фиксатор); 8 — бобышки; 9 — опора; 10 — фигурный вкладыш; 11 — твердосплавные полозья

§ 4. ОТКЛОНИТЕЛИ ТИПА ТЗ

Отклонитель ТЗ-3 («Тарбаган Забайкальский», третья модификация), разработанный ЗабНИИ, осуществляет искусственное искривление вследствие фрезерования стенки скважины под действием бокового отклоняющего усилия, приложенного к долоту.

Техническая характеристика отклонителя ТЗ-3

| | |
|---|-----------------|
| Диаметр корпуса, мм | 57, 73, 89, 108 |
| Диаметр долота, мм | 59, 76, 93, 112 |
| Интенсивность искривления, градус/м | 0,5—2,0 |
| Наибольшая величина угла искривления | |

| | |
|---|--|
| за один цикл, градус | 10—15 (ограничивается ресурсом долота) |
| Возможная глубина искривления, м . . . | Не более 2000 |
| Вид промывочного агента | Вода, глинистый раствор, сжатый воздух |
| Режим бурения | Соответствует режиму работы долота |
| Ресурс, ч | 200 (при соответствующей профилактике) |
| Масса (соответственно диаметру корпуса), кг | 28, 42, 78, 95 |
| Длина (соответственно диаметру корпуса), м | 1,8, 2,0, 2,3 |

Отклонители ТЗ-3 (рис. 20) диаметром 57, 73, 89 и 108 мм выполнены по единой кинематической схеме и отличаются друг от друга в основном конструкторской разработкой подшипниковых узлов.

Отклонитель состоит из ротора I и статора II. Через ротор осуществляется передача осевого и крутящего усилий на инструмент при бурении. Статор создает отклоняющее усилие на породоразрушающем инструменте и стабилизирует направление этого усилия в течение рейса.

Ротор состоит из долота, нижнего переходника 1, вала с нижним 2 и верхним 14 опорными выступами, шлицевого узла 8, возвратной пружины 10 и блокировочного зуба 11. Статор состоит из нижнего 3 и верхнего 5 полуклиньев, между которыми размещен выдвижной ползун 6 с кареткой катков 7, корпуса 9, блокирующей муфты 12 с пазом, статорной пружины 13 и верхнего подшипникового узла 15.

В местах контакта ротора со статором установлены подшипники качения, защищенные от шлама резиновыми армированными или гофрированными манжетами.

Выдвижной ползун 6 имеет скошенные торцы и взаимодействует с нижним 3 и верхним 5 полуклиньями посредством Г-образных пазов. В нижнем полуклине закреплена шламозащитная трубка 4. Действием возвратной пружины 10 ползун 6 при транспортном положении втягивается в кор-

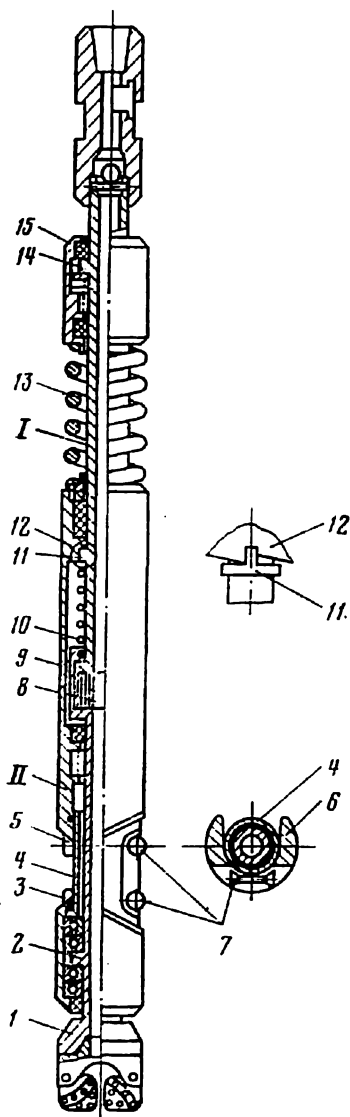


Рис. 20. Отклонитель ТЗ-3

пус отклонителя. Фиксированное взаимоположение ротора со статором, необходимое при ориентировании отклонителя, обеспечивает узел блокировки, состоящий из блокировочного зуба 11 ротора и паза на блокирующей муфте статора 12, торец которой выполнен в виде левой винтовой поверхности. Такая конструкция блокировочного узла позволяет при необходимости осуществить повторное блокирование и ориентирование.

После спуска и ориентирования, которое производится с помощью любого известного ориентатора, отклонитель устанавливают на забой и создают осевую нагрузку. При этом верхняя часть ротора с помощью шлицевого узла смещается вниз, размыкая узел блокировки, и воздействует через верхний опорный выступ 14 на подшипниковый узел 15 и статорную пружину 13. Усилие пружины передается корпусу 9, вследствие чего он смещается вниз, выдвигая ползун 6 до упора катками в стенку скважины. Распорное и отклоняющее усилия на ползуне определяются жесткостью статорной пружины и не зависят от общей осевой нагрузки на инструмент. При отрыве снаряда от забоя возвратная пружина 10 втягивает ползун в корпус. Для стабилизации направления статора при искривлении на ползуне установлена каретка катков 7, которые, перекатываясь по стенке скважины, препятствуют угловому смещению корпуса. В конструкции отклонителя предусмотрена двойная продольная связь деталей — через ротор и через статор. В результате этого при поломке в скважине, например вала, отклонитель извлекают без специальных ловильных устройств.

Для удобства сборки и разборки снаряда конструкцией предусмотрены продольные пазы на деталях, компоновка узла — мн и т. п.

Предварительные испытания отклонителя ТЗ-3-76 проводились в ряде геологоразведочных экспедиций при выполнении различных производственных работ.

В Алексеевской КГРП производилось искривление дополнительных стволов многоствольных скважин в гранитах IX—X категорий по буримости на глубине 200—350 м; в Норильской ГРЭ корректировались трассы основных и дополнительных стволов в эффузивно-осадочной толще V—IX категорий в интервале глубин от 300 до 1500 м; в Североуральской ГРЭ отклонители типа ТЗ испытывались в основном при бурении многоствольных гидрогеологических скважин в толще известняков V—VIII категорий на глубине 400—1000 м.

Всего было проведено 463 цикла искривлений, которые показали достаточную надежность отклонителя, его работоспособность, долговечность и послужили основанием для проведения приемочных испытаний.

Приемочные испытания проводились в Забайкалье и Казахстане, на Чукотке и Таймыре, т. е. в разнообразных геологотехнических условиях.

Базовой моделью для сравнения был принят отклонитель непрерывного действия БСНБ конструкции М. П. Олексенко.

Ориентирование отклонителей осуществлялось известными ориентаторами ШОК, УШО-1 и «Курс». В качестве породоразрушающего инструмента применялись долота: шарошечные типа К, ОК и ДДА, твердосплавные фрезерные типа РИД и специальные алмазные (конструкции Тульского отделения ЦНИГРИ).

В процессе испытаний отклонителями типа ТЗ было выполнено 254 цикла искривлений в 60 скважинах с зенитным углом в пределах 2—40° на глубине от 100 до 1600 м. При этом решались практические задачи по корректированию трассы, набору кривизны в многоствольных скважинах, увеличению угла встречи с рудным телом и др. В общем объеме искривлений с целью увеличения зенитного угла было выполнено 28% искривлений, увеличения зенитного и азимутального углов — 16%, увеличения зенитного и уменьшения азимутального углов — 14%, уменьшения зенитного и азимутального углов — 13%, уменьшения зенитного угла и увеличения азимута — 11%. Геолого-технические задания по искривлению всех 60 скважин были выполнены полностью.

Технико-экономические показатели работы отклонителей типа ТЗ приведены в табл. 8.

Таблица 8

| Экспедиция | Число циклов | Средняя глубина искривления, м | Категория пород | Средняя проходка за цикл, м | Средний угол искривления, за цикл, градус | Средняя интенсивность искривления, градус/м | Средние затраты времени, ч | |
|--------------------------|--------------|--------------------------------|-----------------|-----------------------------|---|---|----------------------------|-------------------|
| | | | | | | | на цикл | на градус в цикле |
| Норильская | 141 | 900 | VI—IX | 2,4 | 3,75 | 1,59 | 6,1 | 1,6 |
| Алексеевская | 21 | 200 | IX—X | 2,5 | 3,20 | 1,26 | 5,7 | 1,8 |
| Даурская | 8 | 250 | IX—XI | 1,8 | 2,57 | 1,43 | 4,1 | 1,6 |
| Гагаринская | 8 | 450 | IX—X | 2,5 | 3,59 | 1,39 | 5,0 | 1,4 |
| Заречная | 48 | 500 | IX—X | 1,9 | 2,28 | 1,23 | 4,4 | 1,9 |
| Чаунская | 14 | 300 | IX—XI | 2,3 | 2,93 | 1,27 | 5,8 | 1,9 |
| Северо-Западная угольная | 5 | 750 | V—VIII | 1,9 | 2,18 | 1,17 | 5,3 | 2,4 |

Показатель точности ориентации при искривлении отклонителем типа ТЗ на различных объектах испытаний колеблется от 0,54 до 0,9. В Норильской ГРЭ он составил в среднем 0,68, в то же время как для отклонителя БСНБ при всех прочих равных условиях показатель точности составил 0,40, для клиньев СО ВИТРа — 0,47. Показатель стабильности искривлений отклонителем типа ТЗ в среднем составил 0,71.

Во время проведения испытаний максимальная наработка

на ресурс отклонителя составила 162 ч, причем после этого отклонитель находился в рабочем состоянии и был пригоден для дальнейшей эксплуатации. При проведении предварительных испытаний отдельные образцы при соответствующем профилактическом ремонте показали ресурс более 300 ч. При этом было отмечено, что ресурс отклонителей, изготовленных Фрунзенским экспериментальным заводом геологоразведочного оборудования, в 2 раза выше, чем ресурс отклонителей, изготовленных механическими мастерскими отдельных ПГО.

Интенсивность искривления при испытаниях колебалась от 0,5 до 2,0 градус/м и в среднем составила 1,44 градус/м. Колебания интенсивности искривления в каждом конкретном случае определялись свойствами горных пород, видом и состоянием применяемого породоразрушающего инструмента. Проведенные эксперименты показали возможность регулирования интенсивности искривления посредством изменения длины жесткой базы отклонителя.

Результаты испытаний отклонителя типа ТЗ сравнивались с результатами приемочных испытаний отклонителя БСНБ в Норильской и Дзержинской ГРЭ и применения этого отклонителя в Северо-Западной угольной экспедиции ЦКПГО (табл. 9).

Т а б л и ц а 9

| Показатели | Отклонитель | |
|---|-------------|---------|
| | ТЗ-3-76 | БСНБ-76 |
| Число циклов искривлений | 254 | 86 |
| из них безрезультатных, % | 6,3 | 40 |
| Длина рейса за цикл, м: | | |
| максимальная | 10 | 6 |
| средняя | 2,26 | 1,99 |
| Полный угол искривления за цикл, градус: | | |
| максимальный | 14° | 4,6° |
| средний | 3,3° | 1,2° |
| Затраты времени, ст.-ч: | | |
| на 1 м интервала искривления | 1,19 | 3,31 |
| на 1° искривления | 1,7 | 3,8 |
| Средняя интенсивность искривления, градус/м | 1,44 | 0,62 |

При испытаниях была отмечена простота технологии искривления отклонителем типа ТЗ, его надежность, высокая степень безаварийности при бурении, возможность ремонта в механических мастерских ГРП и сделаны основные выводы о преимуществе отклонителя ТЗ-3-76 перед базовой моделью отклонителя БСНБ.

Приемочные испытания отклонителя ТЗ-3-59 проводились в Гагаринской ГРП, Северобайкальской и Зырянской ГРЭ при бурении в породах осадочного, магматического и метаморфического комплексов. Категория пород по буримости от V до XI. При этом использовались буровые станки ЗИФ-1200А, ЗИФ-1200МР, ЗИФ-650А, ЗИФ-650М, СБА-500, промывка скважин осуществлялась технической водой, глинистым раствором, эмульсионными растворами с применением смазки бурильных труб. В испытаниях участвовало шесть опытных образцов отклонителей ТЗ-3-59, изготовленных в ЦРММ Читинского ПГО. Искривления производились в интервалах глубин 150—1100 м. При работе отклонителей осевая нагрузка на инструмент колебалась от 1000 до 2000 кгс при частоте вращения снаряда от 37 до 470 об/мин. В качестве породоразрушающего инструмента использовались шарошечные долота 59К и алмазные долота конструкции ЦНИГРИ. Ориентирование отклонителей осуществлялось в основном ориентатором «Курс», в отдельных случаях ориентаторами УШО-1, ШОК-1 и АЗОР-1. Искривления производились на производственных скважинах при решении конкретных задач по набору кривизны в различных направлениях пространства.

Всего за период испытаний выполнено 120 циклов искривлений в 50 скважинах. Независимо от цели работ и глубины в 45 из них было выполнено поставленное геолого-техническое задание, в четырех — задание выполнено частично и в одной скважине задание не было выполнено. Ресурс отклонителей полностью не выработан. Наибольшая наработка на один образец составила 209 ч, при этом им выполнено 40 циклов искривлений.

Оценка надежности и качества отклонителей произведена по образцам, имеющим наибольшую наработку: наработка на отказ — 41 ч, среднее время восстановления — 1,2 ч, комплексный показатель качества — коэффициент готовности — 0,97.

Базой сравнения при испытаниях служили клиновые отклонители СО, СНБ-КО и СНБ, которые применялись в Гагаринской, Северобайкальской и Зырянской ГРЭ. При обработке материалов испытаний использовалась методика анализа, описанная в § 6 гл. III.

В табл. 10 представлены основные технико-экономические показатели работы сравниваемыми отклонителями.

Проведенные испытания показали преимущество отклонителя ТЗ-3 перед клиновыми отклонителями, что послужило основанием для решения о передаче его к серийному выпуску. Вместе с тем при анализе показателей технологического уровня работ (точности ориентации, стабильности искривления, сложности технологии) видно, что имеются реальные резервы для увеличения общей эффективности использования отклонителей.

Таблица 10

| Технико-экономические показатели | Отклонители | | | | | |
|--|-----------------|-------|-----------------------|-------|-----------------|--------|
| | ТЗ-3 | СНБ | ТЗ-3 | СО-57 | ТЗ-3 | СНБ-КО |
| | Зыряновская ГРЭ | | Северобайкальская ГРЭ | | Гагаринская ГРП | |
| Число циклов искривления | 64 | 36 | 21 | 8 | 35 | 35 |
| Средняя длина рейса отклонителя, м | 2,57 | 0,8 | 2,27 | 1,41 | 2,94 | 1,4 |
| Среднее углубление за цикл, м | 7,32 | 7,9 | 7,27 | 6,8 | 9,34 | 8,2 |
| Средний угол искривления за цикл, градус | 4,19 | 3,95 | 2,71 | 2,54 | 3,66 | 4,15 |
| Средняя интенсивность искривления, град/м | 1,63 | — | 1,19 | — | 1,24 | — |
| Технологическая сложность | 0,25 | 0,16 | 0,33 | 0,125 | 0,25 | 0,125 |
| Точность ориентации искривления | 0,86 | 0,46 | 0,96 | 0,38 | 0,85 | 0,69 |
| Стабильность искривления | 0,75 | 0,57 | 0,80 | 0,59 | 0,79 | 0,5 |
| Затраты времени на цикл работ, ч | 11,81 | 20,49 | 11,09 | 23,60 | 8,02 | 14,91 |
| Чистое время работы отклонителем, ч | 2,87 | — | 3,0 | — | 2,23 | — |
| Затраты времени на 1° искривления в цикле работ, ч | 2,82 | 5,19 | 4,09 | 9,29 | 2,19 | 3,59 |
| Условные затраты времени на 1° искривления, ч | 0,29 | 2,23 | 0,26 | 4,95 | 0,43 | 2,21 |
| Себестоимость градуса искривления, руб/градус | — | — | — | — | 7,33 | 25,43 |
| Показатель сохранения производительности труда при искривлении | 0,90 | 0,56 | 0,94 | 0,41 | 0,8 | 0,38 |

§ 5. ОТКЛОНИТЕЛИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ СИЛОВЫМ УЗЛОМ

На базе отклонителя типа ТЗ специалистами Читинского ПГО И. И. Вигаудом и Ф. А. Вайновым был разработан отклонитель типа ГОС с гидравлическим силовым узлом вместо статорной пружины. Независимо от них в это же время в Волго-Донском ПГО Ф. И. Твердохлебовым был разработан отклонитель ТДН аналогичного действия.

Отклонитель ГОС-76 (рис. 21) содержит, как и отклонитель ТЗ-3, долото 1, нижний полуклин 2, выдвижной ползун 3 с кареткой катков, верхний полуклин 4, вал 5 ротора. Корпус статора 6 взаимодействует с распорноклиновым узлом через шпоночное соединение 7. Распорноклиновой узел снабжен трубчатым штоком 8, размещенным внутри корпуса статора и имеющем поршни 9. Перегородка 10 с уплотнением образует герметичную камеру, которая через отверстия 11 сообщается с центральным каналом ротора. Возвратная пружина 12 обеспечивает транспортное положение отклонителя. Узел блокировки 13 аналогичен узлу отклонителя ТЗ-3. В верхней части статора

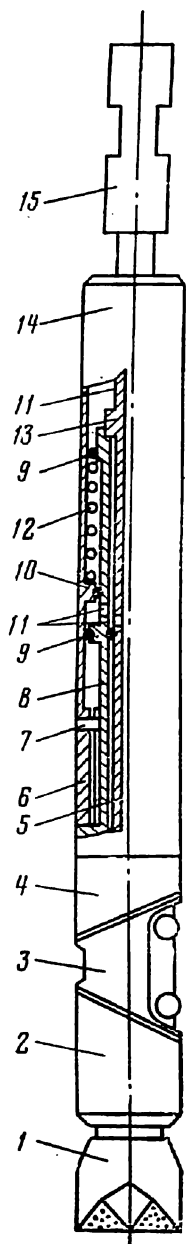


Рис. 21. Отклонитель ГОС-76 с гидравлическим силовым узлом

размещен подшипниковый узел 14. Переходник 15 содержит обратный клапан и нож-ловитель ориентатора. В роторе ниже отверстий 11 размещен редукционный клапан в виде набора шайб (на рисунке не показан), обеспечивающий необходимый перепад гидравлического давления.

После операции спуска в скважину и ориентирования, которые аналогичны этим операциям при работе с отклонителем ТЗ-3, повышают давление в нагнетательной магистрали. Жидкость через отверстия 11 воздействует на поршни 9 и заставляет шток 8 смещаться вниз совместно с верхним полуклином 4. При этом сжимается возвратная пружина 12, размыкается блокировка 13 и ползун 3 выдвигается до упора в стенку скважины, создавая на долоте 1 отклоняющее усилие. Отклоняющее усилие зависит от перепада давления и площади поршней и достигает величины 320 кгс при расходе жидкости 125 л/мин. Изменяя гидравлическое давление, можно регулировать величину отклоняющего усилия и интенсивность искривления.

Испытания макетов отклонителей ГОС-76 производились на стендах и в производственных скважинах в Алексеевской ГРП и Удканской ГРЭ. В табл. 11 приведены результаты испытаний, полученные специалистами Читинского ПГО. Результаты показывают возможность регулирования интенсивности искривления, однако при таких небольших искривлениях (0,4—1,5°) еще нельзя установить зависимость между отклоняющим усилием и интенсивностью искривления вследствие погрешности инклинометрии. Вместе с тем проведенные испытания показали принципиальную возможность использования гидравлического силового узла в ОНД, что позволяет повысить вероятность забуривания нового ствола от искусственного забоя средней прочности. К недостаткам отклонителей типа ГОС.

следует отнести влияние загрязненности промывочной жидкости на работу устройства. С учетом рекомендаций специалистов Читинского ПГО в ЗабНИИ разработана специальная приставка-гидроузел к отклонителю ТЗ-3, которая позволяет использовать преимущества гидравлического привода в необходимых случаях, например при ответвлении от цементного забоя. На

рис. 22 показан отклонитель ТЗ-3 с гидроузлом. Гидроузел имеет поршневую группу, размещенную на шлицевом узле ротора, и редукционный клапан ниже шлицевого узла. При перепаде гидравлического давления в роторе жидкость через отверстия 7 воздействует на поршни 8 и перемещает шлицевую втулку 5 вверх, что приводит в рабочее положение распорноклиновой узел. При этом ползун выдвигается до упора в стенку скважины.

Испытания гидроузла с отклонителем ТЗ-3-57 показали его работоспособность.

§ 6. ОТКЛОНИТЕЛЬ НА БАЗЕ ЗАБОЙНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

При направленном бурении нефтяных и газовых скважин в СССР и за рубежом нашли широкое применение различные типы забойных двигателей.

Для искривления ствола скважины забойным двигателем используют компоновки низа буровой колонны, включающие отклоняющие устройства в виде кривого переводника эксцентричного ниппеля, специальной накладки, отклонителей типа ОТ и ОТС.

В нефтяной промышленности ведут интенсивные работы по созданию принципиально новых конструкций забойных двигателей для бурения скважин. Винтовые (объемные) двигатели, появившиеся почти одновременно в СССР и США, знаменуют собой начало нового этапа в развитии техники забойных двигателей. Созданный в США забойный двигатель фирмы «Дайна-дрилл» выполнен на базе обращенного одновинтового насоса Муано. В настоящее время фирма выпускает двигатель диаметром 127—244 мм для бурения вертикальных скважин, а также двигатели диаметром 44, 70, 95 мм для ремонтных и специальных работ в скважине. При направленном бурении с использованием двигателей фирмы «Дайна-дрилл» достигается постепенное, плавное изменение направления ствола скважины с помощью кривого переводника, который устанавливается непосредственно над двигателем. Искривленный переводник имеет перекоп резьбовых соединений от 1 до 3°.

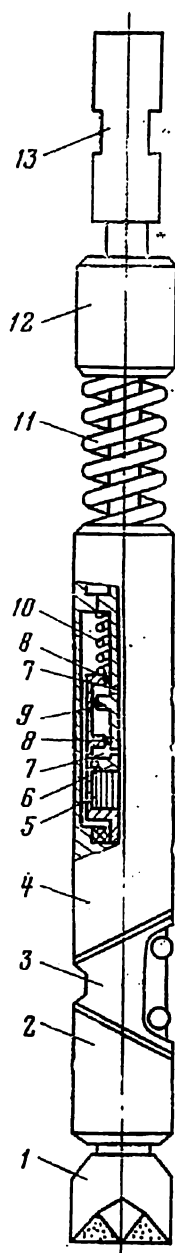


Рис. 22. Отклонитель ТЗ-3 с дополнительным гидравлическим узлом:

1 — долото; 2 — полуклин; 3 — ползун; 4 — корпус статора; 5 — шлицевая втулка; 6 — шлицевой вал; 7 — отверстие; 8 — поршень; 9 — выступ на валу; 10 — пружина роторная; 11 — пружина статорная; 12 — подшипниковый узел; 13 — переходник

Таблица 11

| Номер скважины | Глубина искривления, м | Интервал искривления, м | Отклоняющее усилие, кгс | Измерение углов, градус | | | Интенсивность искривления, градус/м |
|----------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------|---------|-------------------------------------|
| | | | | зенитного | азимутального | полного | |
| 238 | 134,2 | 1,7 | 65 | 0,3 | — | 0,3 | 0,17 |
| | 135,9 | 2,9 | 95 | 1,0 | — | 1,0 | 0,34 |
| 251 | 104,6 | 1,0 | 95 | 0,4 | — | 0,4 | 0,4 |
| | 106,8 | 2,5 | 65 | 0,2 | — | 0,2 | 0,08 |
| | 113,2 | 2,6 | 130 | 1,2 | — | 1,2 | 0,46 |
| 51 | 118,4 | 2,4 | 195 | 1,5 | — | 1,5 | 0,62 |
| | 51,0 | 0,9 | 260 | 0,6 | —8 | 1,3 | 1,4 |
| | 68,3 | 0,8 | 225 | 0,8 | — | 0,8 | 1,0 |
| | 82,9 | 1,0 | 195 | 1,0 | — | 1,0 | 1,0 |
| | 150,0 | 1,3 | 225 | 1,5 | — | 1,5 | 1,15 |
| | 103,0 | 1,8 | 160 | 1,5 | — | 1,5 | 0,83 |
| | 117,0 | 3,0 | 120 | 1,5 | — | 1,5 | 0,50 |

Величина угла отклонения зависит в основном от диаметра скважины, наружного диаметра двигателя и угла искривления переводника.

Отечественный винтовой забойный двигатель типа Д сконструирован на базе многозаходного героторного механизма [17]. В основу конструкции этого двигателя, по принципу действия являющегося объемной машиной, положена оригинальная схема планетарного агрегата с внутренним зацеплением и винтовыми зубьями. Рабочие органы двигателя — многозаходные винтовые ротор и статор. Число зубьев статора на единицу больше числа зубьев ротора. Изменение соотношения заходности статора и ротора позволяет снижать или повышать частоту вращения выходного вала двигателя при одновременном увеличении или уменьшении вращающего момента. В настоящее время двигатели типа Д диаметром 195, 172, 127 и 85 мм применяются для бурения нефтяных и газовых скважин.

В 1976 г. в отделе турбинного бурения ВНИИБТ впервые в отечественной практике был создан малогабаритный двигатель Д1-54 диаметром 54 мм. Двигатель был разработан и успешно применен для разбуривания цементных стаканов и песчаных пробок внутри колонны насосно-компрессорных труб диаметром 73 и 89 мм при капитальном и подземном ремонте нефтяных и газовых скважин. Малогабаритное исполнение забойного двигателя открывает перспективы его использования в геологоразведочном производстве и, в частности, для бурения направленных и многоствольных скважин.

Основным достоинством отклонителя на базе забойного двигателя является отсутствие необходимости вращать нагруженную колонну бурильных труб, что дает возможность свести до минимума аварии колонны вследствие усталостных напряже-

Техническая характеристика винтового забойного двигателя Д1-54

| | |
|---|-----------------------------|
| Тип двигателя | объемный, гидравлический |
| Расход жидкости, л/с | 2—2,5 |
| Частота вращения вала (в зависимости от расхода жидкости и режима работы), об/мин | 150—600 |
| Перепад давления на двигателе, кгс/см ² | 40—50 |
| Вращающий момент, кгс·м | 7—12 |
| Габариты двигателя, мм | |
| длина | 1890 |
| наружный диаметр | 54 |
| Масса, кг | 25 |

ний и в связи с этим увеличить интенсивность искусственного искривления скважин. Последнее обстоятельство расширяет методические возможности и область применения многоствольных скважин, так как, практикуя повышенную интенсивность искривления (более 1—2° на 1 м), можно значительно сократить протяженность дополнительных стволов при сохранении требуемых отходов по рудному телу. Невращающаяся бурильная колонна дает возможность иметь устойчивый и надежный канал связи с забоем, позволяющий непрерывно контролировать положение отклонителя в скважине, а также зенитный и азимутальный углы искривления. Кроме того, использование невращающейся колонны позволит уменьшить осложнения в скважинах, связанные с желобообразованием, разрушением стенок скважин и т.п.

Для установления возможной глубины применения забойного двигателя Д-54 при использовании обычного геологоразведочного бурового оборудования сотрудниками ЗабНИИ были проведены расчеты общих гидравлических потерь в зависимости от глубины и диаметра скважины, а также вида бурильной колонны.

Расчеты показали, что буровой насос 11 Гр может обеспечить эффективную работу забойного двигателя до глубины 300 м в скважинах диаметром 76 мм с применением в качестве промывочной жидкости технической воды; насос 9Гр может обеспечить работу двигателя в скважинах диаметром 76 мм с использованием воды на глубине до 1500÷1800 м и глинистого раствора на глубине до 700—800 м. В скважинах диаметром 59 мм глубина работы двигателя с этими насосами ограничивается величиной 500 м. Вместе с тем производственные испытания забойного двигателя Д-54 при разбуривании цементных стаканов внутри колонн насосно-компрессорных труб диаметром 73 и 89 мм показали возможность его использования на глубине до 2770 м. При этом давление на насосе составляло 90—95 кгс/см², нагрузка на породоразрушающий инструмент достигала 1000—1200 кгс [17].

Изучение перспектив использования забойного двигателя для направленного бурения показало, что необходимо обеспе-

чивать возможность набора кривизны в диапазоне 0,1—3 град/м. Задачи по набору малой кривизны возникают при бурении снарядом ССК и могут решаться с помощью кривых переводников. Для более интенсивного набора кривизны, что рационально при бурении направленных и многоствольных скважин, необходимы подвижные выступающие элементы, создающие распорно-отклоняющее усилие и убирающиеся в корпус.

Экспериментальные работы по искривлению забойным двигателем с использованием кривых переводников показали возможность получения искривления с интенсивностью 0,15—0,20 град/м в скважинах диаметром 59 мм и 0,25—0,40 град/м в скважинах диаметром 76 мм. При этом было пробурено с одновременным искривлением ствола скважины 119,2 м в породах VI—VII категории по буримости. В качестве породоразрушающего инструмента использовали долота ДДА-59 и 76К, нагрузка на которые достигала 800—1000 кгс. Давление в нагнетательной магистрали составляло 40—60 кгс/см², расход жидкости 70—120 л/мин. Механическая скорость бурения колебалась от 3,6 до 7,1 м/ч.

Известно, что реактивный момент, возникающий при работе двигателя, может закручивать бурильную колонну. При отсутствии в отклонителе стабилизирующих устройств, обеспечивающих сохранение направления искривления, в величину угла установки отклонителя необходимо вводить поправку на угол закручивания бурильной колонны под действием реактивного момента. Угол закручивания легко и достаточно точно определяют по известным формулам.

Однако при экспериментальных работах в скважине фактический угол закручивания был, как правило, меньше расчетного, причем разность была непостоянной вследствие влияния силы трения между элементами колонны бурильных труб и стенками скважины. Силу трения определить расчетным путем трудно, так как она зависит от зенитного угла, глубины и диаметра скважины, соотношения размеров сечения ствола и бурильных труб, вида, веса и соединений труб, вида промывочной жидкости, осевой нагрузки, наличия и вида смазки колонны, вида пород на забое, их чередования, интенсивности искривления и других факторов. В связи с этим необходимы контрольные рейсы искривлений в определенных горнотехнических условиях с детальной инклинометрией.

Другим, наиболее прогрессивным решением этой задачи представляется разработка специальной телеметрической системы, позволяющей контролировать угол установки отклонителя непрерывно в течение рейса.

Сотрудниками ЗабНИИ были проведены эксперименты по искривлению скважины двигателем Д-54 с кривым переводником. Контроль за направлением искривления осуществляли аппаратурой «Курс», датчик которой в течение рейса находился

над отклонителем. Несмотря на частые отказы датчика «Курс», эксперименты подтвердили перспективность этого направления работ. Необходимо разработать датчик угла установки, безотказный в условиях призабойной вибрации.

Использование выдвижного устройства, создающего отклоняющее усилие на долоте и обеспечивающего получение интенсивного набора кривизны, требует разработки специального отклонителя.

Из известных конструкций распорно-отклоняющего узла, по мнению автора, наиболее приемлем клиновой механизм отклонителя типа ТЗ, содержащий выступающий ползун с торцами, которые скошены под углом 35—45° и взаимодействуют с соответствующими торцами на корпусе отклонителя. Оснащение выдвижного элемента полозьями или катками позволит сохранять ориентированное положение статора в течение рейса искривления и предотвращать его угловое смещение от действия реактивного момента.

Таким образом, появление малогабаритных забойных двигателей открывает новые направления в конструировании эффективных отклонителей для геологоразведочного бурения.

§ 7. ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИСКУССТВЕННОГО ИСКРИВЛЕНИЯ

Работоспособность породоразрушающего инструмента в значительной степени определяет технические возможности и эффективность различных средств набора кривизны и ответвления скважин.

При искусственном искривлении применяют шарошечные долота всех видов, специальные алмазные коронки типа АКШ, комбинированные шарошечно-алмазные и твердосплавные долота, а также алмазные долота ЦНИГРИ, выпускаемые в небольшом количестве.

Для работы с ОНД из шарошечных наиболее приемлемы долота типа 4Д-59К, 1Ш-59К, 1Ш-76К и 1Ш-760К конструкции СКБ ВПО Союзгеотехника. При использовании долот типа ДДА конструкции САИГИМСа ухудшаются показатели работы ОНД: чаще разрушаются подшипниковые узлы, обрываются валы, снижается стабильность искривления. Применение шарошечных долот типа К и ОК в благоприятных условиях позволяет набрать кривизну до 15° за один рейс.

Режим бурения долотами при искривлении ОНД аналогичен принятому для данных условий. Так, практика показывает, что механическая скорость при работе с отклонителем типа ТЗ почти не снижается по сравнению с предшествующей искривлению. Вместе с тем применение долот в упругих или очень крепких и абразивных породах зачастую не дает требуемого эффекта, так как они почти не производят разрушения и быстро изнашиваются. Кроме того, увеличивающийся лифт в опорах шарошек ведет

к сужению ствола скважины и уменьшению интенсивности искривления.

Для работы с ОНД в вязких и упругих породах типа туфов, дацитов, фельзитов, андезитов, базальтов и т. п. ЗабНИИ разработаны твердосплавные долота ДТС-1 и ДТС-2 (рис. 23), которые успешно применялись в Гагаринской ГРП. Проходка на од-

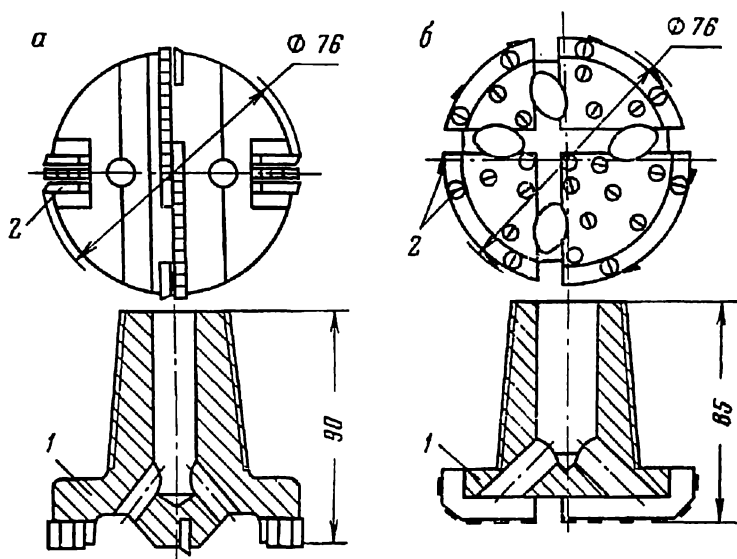


Рис. 23. Твердосплавные долота ДТС:

а — долото ДТС-1; б — долото ДТС-2; 1 — корпус долота; 2 — резцы

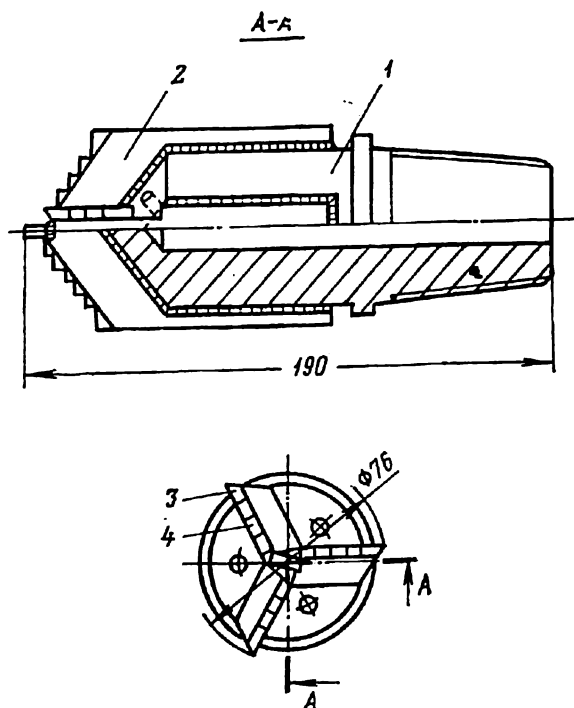


Рис. 24. Долото РИД:

1 — корпус долота; 2 — ребра; 3 — резцы Г5104; 4 — резцы Г4102

но долото в отдельных случаях достигала 12 м, механическая скорость составляла 0,8—3,0 м/ч. Хорошие результаты получены при использовании этих долот в Иркутском ПГО.

Для работы ОНД в породах V — VII категории по буримости типа песчаников, алевролитов, аргиллитов и т. п. успешно используется долото РИД (рис. 24) конструкции Восточно-Казахстанского ПГО. Например, в Норильской ГРЭ при работе отклонителем ТЗ-3-76 это долото обеспечивало проходку в 2 раза, а механическую скорость в 1,7 раза больше, чем при работе с шарошечными долотами.

При искусственном искривлении скважин в абразивных породах целесообразно усиливать долота алмазодержащим кольцом, вырезанным из старых коронок (рис. 25).

При работе ОНД в крепких породах хорошие результаты получены при использовании шарошечно-алмазных долот ДША (рис. 26), разработанных отделом направленного бурения Заб-

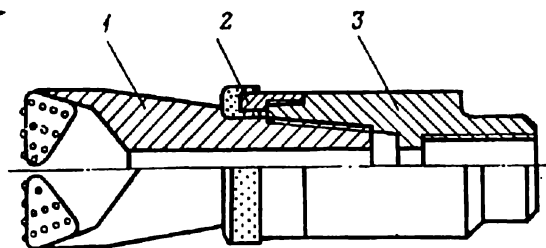


Рис. 25. Долото шарошечное с усилением:

1 — долото; 2 — алмазодержащее кольцо; 3 — переходник

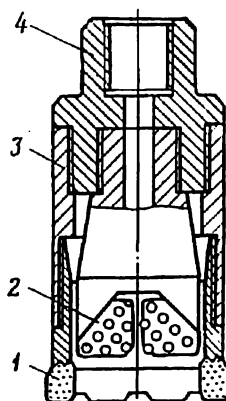


Рис. 26. Долото шарошечно-алмазное

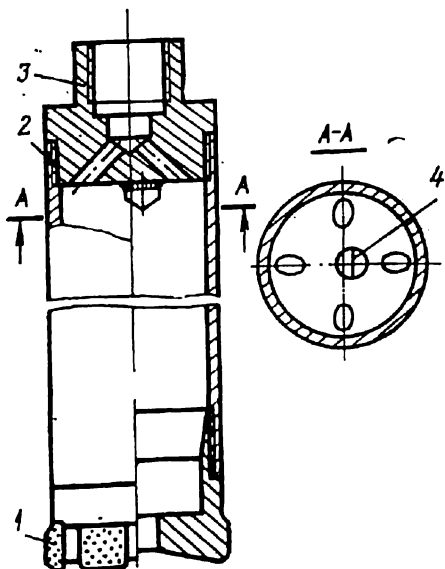


Рис. 27. Долото типа МТС ЦНИГРИ с кернаприемником-накопителем:

1 — долото; 2 — патрубок; 3 — переходник; 4 — керналом

НИИ по предложению инженера В. А. Дербенева. Долото содержит алмазную коронку 1, шарошечное долото 2 меньшего диаметра, короночное кольцо 3 и переходник 4. Долота ДША успешно использовались в Гагаринской ГРП, Даурской ГРЭ Читинского ПГО и Чаунской ГРЭ Северо-Восточного ПГО.

При использовании алмазных долот типа МЦС конструкции ЦНИГРИ (рис. 27), имеющих центральное отверстие для «карандашного» керна, необходимо использовать керноприемник с керноломом, предложенный специалистами Комсомольской ГРЭ.

Несмотря на имеющиеся технические решения в основном рационализаторского характера проблема породоразрушающего инструмента для направленного бурения остается актуальной, так как существующие долота не позволяют полностью использовать возможности отклоняющей техники. Необходим комплект специального инструмента разного диаметра для работы в различных породах, удовлетворяющий следующим требованиям с учетом имеющегося опыта:

ресурс не менее 10—12 м;

допустимая осевая нагрузка 800, 1500, 2500 кгс для долот диаметром соответственно 46, 59, 76 мм;

допустимая частота вращения 1000 об/мин;

усиленное боковое вооружение;

отсутствие керна;

длина 100—150 мм;

присоединительная резьба типа ЗА-42;

вид истирающего материала: алмазы — для крепких пород; твердосплавные резцы, славутич — для пород средних категорий; крупные твердосплавные резцы специальной формы — для мягких пород.

Создание комплекса специального породоразрушающего инструмента, отвечающего современным требованиям специфики направленного бурения, безусловно повысит эффективность этого прогрессивного вида бурения и значительно расширит области его применения.

§ 8. РАЦИОНАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИСКРИВЛЕНИЯ ОТКЛОНИТЕЛЕМ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ НА ПРИМЕРЕ ОТКЛОНИТЕЛЯ ТЗ-3)

Технология работ с ОНД включает три этапа: подготовительный (подготовка скважин, отклонителя, ориентирующей аппаратуры и вспомогательного инструмента к проведению работ), основной (бурение отклонителем) и заключительный (проработка интервала искривления, инклинометрия, оценка результатов).

На подготовительном этапе обеспечивают нормальное технологическое состояние скважины, требуемое для беспрепятст-

венного проведения искусственного искривления: устраняют сужение ствола, удаляют шлам и остатки керна с забоя, подготавливают промывочную жидкость требуемого качества и т. п. Кроме того, проверяют бурильные трубы на проходимость штыревого датчика ориентатора. Наиболее целесообразно, особенно в новых условиях, провести контрольный короткий рейс бурения долотом, которое в дальнейшем будет использовано при работе с ОНД. При этом уточняют рациональный режим бурения, глубину скважины и определяют механическую скорость, которая в дальнейшем будет служить эталоном. Для проверки проходимости бурильной колонны перед подъемом снаряда рекомендуется сбросить в нее штырь, по размерам соответствующий штыревому датчику ориентатора, с хвостовиком из 10—15 м провода типа ПСПР-1. При подъеме проверяют состояние бурильной колонны и заменяют изношенные трубы и соединения. Одновременно проверяют готовность отклонителя и ориентирующей аппаратуры к работе, проводят настройку всей системы отклонитель — ориентатор в соответствии с расчетным углом установки. При этом необходимо использовать угломерные приборы типа ПУ-2.

Спуск отклонителя, например типа ТЗ, не отличается от обычного, лишь в интервалах предполагаемых задержек (вывалы, каверны, клинья, заужения и т. п.) скорость спуска целесообразно уменьшать. При спуске снаряда возможен выход промывочной жидкости из скважины, так как в ОНД обычно имеется обратный клапан, препятствующий поступлению жидкости в бурильную колонну труб. Перед ориентированием производят профилактическую самоблокировку ротора со статором путем кратковременных включений вращателя станка. Буровой замер подбирается с учетом обеспечения требуемой длины рейса без отрыва отклонителя от забоя. Ориентирование производят в соответствии с правилами эксплуатации применяемой ориентирующей аппаратуры.

Бурение отклонителем производят после установки его на забой, подачи промывочной жидкости и при осевой нагрузке 800—1000 кгс. Сначала производят 5—7-минутную приработку на пониженном режиме, а затем переходят на режим, установленный при контрольном рейсе. При перекреплении шпинделя необходимо отключить вращатель, снять осевую нагрузку и поднять шпиндель. При глубине более 300 м снаряд предварительно подвешивают на лебедке. Расхаживание производят без вращения снаряда. При нарушении ориентации отклонителя его приподнимают на 0,5—1,0 м над забоем, производят самоблокирование ротора со статором и повторяют ориентирование.

Отработку долот целесообразно производить по методике, апробированной при внедрении отклонителя ТЗ-3 в Армении [2]: при работе долота на установленном режиме фиксируют углубление скважины через каждые 5 мин. При стабильном снижении величины углубления в течение 15—20 мин вводят коррективы в

режим бурения. Если прежний темп углубления не восстанавливается, то производят подъем снаряда и замену долота. Такая методика обработки позволяет осуществлять искусственное искривление без снижения уровня механической скорости и резко уменьшить вероятность поломки долота на забое.

Для увеличения производительности труда при искривлении в крепких породах может быть успешно применена гидроударная машина типа ГВ, установленная над отклонителем. Эксперименты, проведенные сотрудниками ЗабНИИ и СКБ «Союзгеотехника» в Северобайкальской ГРЭ, подтвердили возможности такого сочетания.

После отбуривания расчетного рейса производят подъем отклонителя, перед которым необходимо увеличить расход промысловой жидкости и провести расхаживание снаряда без вращения, что способствует надежному переходу отклонителя из рабочего в транспортное состояние. Подъем производят обычным способом с определенными предосторожностями в аномальных интервалах скважины.

Проработка интервала искривления, к которой относят следующие специальные рейсы бурения, предшествующие обычным, производится по-разному в зависимости от состояния пород, разработанности в призабойной части скважины, величины набора кривизны и т. п. Целью проработки является обеспечение свободного прохождения обычного колонкового набора через интервал искривления. Эта операция выполняется специальным технологическим инструментом, обеспечивающим аномальное расширение скважины с преобразованием ее сечения из круглого в овальное. В породах средних категорий по буримости проработку успешно осуществляют стандартными шарошечными расширителями РЗШ-59 и РЗШ-76 конструкции СНИИГГИМС или 5РША-76 конструкции СКБ «Союзгеотехника». В этом случае компоновка представляет собой снаряд, собранный из двух-трех или более расширителей (в зависимости от условий), свинченных друг с другом и с шарошечным долотом. В крепких породах при проработке, а также при необходимости дальнейшего набора кривизны эффективно применение известного технологического разбурочного снаряда. Снаряд (рис. 28) состоит из двух частей. Нижняя часть — направляющая колонковая труба 2, диаметр которой обычно на ступень меньше диаметра скважины, с коронкой 1 типа АКШ или долотом нормального диаметра. Верхняя часть состоит из штока 4 и фрез-расширителей 5. Верхняя и нижняя части соединяются буровым шарниром 3. Верхнюю часть составляют из трех — пяти коротких одинаковых звеньев, оснащенных фрезерующими расширителями. В качестве фрезы-расширителя обычно используют отработанные алмазные коронки с сохранившимися наружными подрезными алмазами. Устойчивая работа компоновки обеспечивается положением шарнира в скважине вследствие его прижа-

гия к стенке скважины штоком. В результате этого осуществляется дополнительный набор кривизны в направлении, заданном при работе отклонителя. При этом фрезы верхней части расширяют скважину. Величину дополнительного набора кривизны и степень проработки ствола скважины регулируют длиной штока колонковой трубы и набора звеньев, оптимальное соотношение которых обычно определяют расчетами и уточняют экспериментально, например при кривизне около 1 градус/м, полученной при работе отклонителем ТЗ-3-76 в породах IX—X категории по буримости, применяют технологический снаряд со следующими размерами: длина колонковой трубы диаметром 57 мм — 1,1 м, длина штока (до места перегиба шарнира) — 0,2—0,3 м, длина звена — 0,4—0,5 м, число звеньев с каждым рейсом увеличивается, начиная с 3 до 5. Обычно после двух-трех рейсов бурения технологическим снарядом колонковый набор без препятствий проходит на забой и далее не наблюдают отрицательного воздействия интервала искривления на работоспособность бурильных труб. Следует заметить, что неизменным условием успешной работы снаряда и дополнительного набора кривизны является необходимость размещения в интервале искривления двух-трех звеньев верхней части снаряда. Режим бурения технологическим снарядом обычно определяют экспериментально, и зависит он от вида породоразрушающего инструмента, диаметра скважины, пород, надежности шарнира и других условий. Рекомендуется ограничивать частоту вращения величиной 100—150 об/мин, а осевую нагрузку регулировать в зависимости от величины механической скорости бурения, которая не должна превышать величину в обычном режиме. При форсировании режима возможна поломка снаряда, устранить которую очень трудно, из-за интервала искривления.

В удлиненных интервалах искривления технологический снаряд целесообразно устанавливать непосредственно над отклонителем и проработку большей части интервала производить одновременно с искривлением.

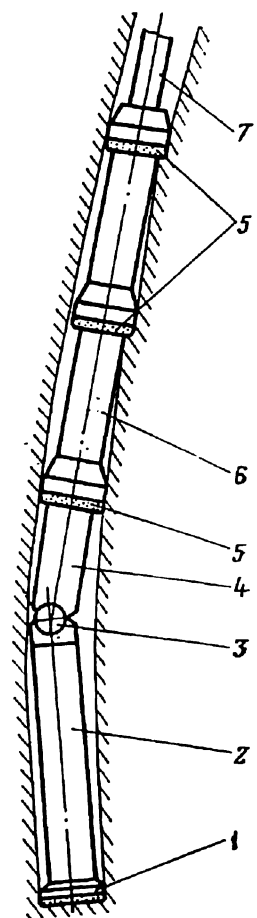


Рис. 28. Специальный разбурочный снаряд для проработки интервала искривления: 1 — долото или коронка типа АКШ; 2 — колонковая труба; 3 — буровой шарнир; 4 — шток; 5 — фреза-расширитель; 6 — звено; 7 — бурильная труба

При необходимости полного отбора керна, если отсутствует специальный технологический инструмент, проработка может быть осуществлена менее производительным способом — с помощью укороченных колонковых труб. В этом случае первый рейс после искривления выполняют колонковой трубой длиной не более 1 метра с алмазной или твердосплавной коронкой. При последующих рейсах длину колонковой трубы увеличивают на 0,5—0,6 м, постепенно доводя до нормальной величины. Бурение рекомендуется начинать с малой частотой вращения. Чрезмерное удлинение трубы может привести к спрямлению искривленного интервала.

При проработке скважины набором расширителей или технологическим снарядом обрабатывают стенку скважины, соответствующую выпуклой стороне искривленного интервала. Это наиболее благоприятно для последующей работы бурильных труб, так как при этом резко снижается вероятность желобообразования.

При проработке скважины короткими колонковыми трубами породоразрушающий инструмент обрабатывает стенку скважины, соответствующую вогнутой стороне искривленного интервала. Это обеспечивает прохождение удлиненных колонковых труб (частично за счет их гибкости), но условия работы бурильных труб на перегибе не улучшаются и вероятность желобообразования остается высокой.

Инклинометрия производится после углубления скважины на 1,5—3 м от интервала искривления. В интервале искривления замеры производят через 0,5—1,0 м. Для оперативности целесообразно иметь на буровой инклинометр ОК-40У [16].

При эксплуатации других ОНД с механическим приводом технология работы аналогична описанной. При эксплуатации ОНД с гидроприводом необходим повышенный контроль за состоянием работы насоса, качеством очистки промывочной жидкости и сохранением требуемого рабочего гидравлического давления в нагнетательной магистрали. Вращатель станка необходимо включать только после создания нужного уровня гидравлического давления. Неожиданное падение давления в насосе может отключить гидроузел отклонителя, что приведет к его дезориентации.

§ 9. РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ И РЕЗЕРВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТКЛОНИТЕЛЯ ТИПА ТЗ

Отклонители типа ТЗ получили широкое распространение в практике направленного бурения многих производственных организаций страны. Это стало возможным благодаря заинтересованности и участию этих организаций в доводке отклонителя типа ТЗ до промышленного образца, проведении предварительных и приемочных отраслевых испытаний. Внедрению отклонителя типа ТЗ способствовало решение Министерства геологии СССР об организации серийного выпуска на Фрунзенском опытно-экспе-

риментальном заводе, а также организация малосерийного производства этого отклонителя в Читинском, Красноярском, Уральском и Северо-Западном ПГО по решению Технического управления Министерства геологии РСФСР. Сейчас выпускается около 350 комплектов в год.

В настоящее время отклонители типа ТЗ разного диаметра нашли широкое применение в нашей стране. С помощью отклонителя типа ТЗ решают различные задачи технологического и методического характера. Остановимся на некоторых из них.

В Алексеевской ГРП Читинского ПГО, производившей разведку круто падающих рудных тел, отклонитель типа ТЗ широко использовали при бурении многоствольных скважин. В 17 многоствольных скважинах с помощью отклонителя типа ТЗ было пробурено 25 дополнительных стволов. В результате сокращения объемов и сроков бурения получен экономический эффект в 129 тыс. руб.

Аналогичные задачи решались в Западно-Караелахской ГРП Норильской ГРЭ, осуществляющей разведку пологопадающих рудных тел на большой глубине [5]. Здесь по результатам анализа одного года от сокращения объемов буровых работ экономический эффект составил 241,4 тыс. руб. Экономия при направленном бурении скважин от замены съемных клиньев СО отклонителем типа ТЗ за счет сокращения затрат времени на цикл искривления составила более 243 тыс. руб.

Для бурения направленных скважин из подземных горных выработок в крепких породах отклонитель типа ТЗ успешно применялся при разведке железорудных месторождений в условиях Абаканской и Табратской ГРП Минусинской ГРЭ и в Гагаринской ГРП.

Большое распространение отклонитель типа ТЗ получил для борьбы с естественным искривлением скважин в Чаунской, Северо-Западной и Забайкальской ГРЭ, где интенсивность естественного искривления иногда достигает 1,5—2° на 10 м.

Принципиально новые задачи решали с помощью отклонителя типа ТЗ в Североуральской ГРЭ при бурении многоствольных гидрогеологических скважин, которые были применены для исследования условий мест заложения шахтных стволов и для обоснования осушительной системы рудника. Применение отклонителя типа ТЗ только на одном из гидрогеологических объектов обеспечило экономию более 180 тыс. руб. В целом за 1973—1975 гг. экономический эффект от бурения многоствольных скважин составил более 1 млн. руб. В Иджеванской поисковой партии Управления геологии Армянской ССР отклонитель типа ТЗ был успешно внедрен для бурения вертикально-наклонных скважин с интенсивным искусственным искривлением при поисках крутопадающих угольных пластов [2].

Большие затраты времени при использовании клиновых отклонителей и требования высокой точности в проведении сква-

жин при детальной разведке одного из месторождений привели к необходимости внедрения отклонителя типа ТЗ в Семипалатинской ГРЭ Восточно-Казахстанского ПГО.

Успешно внедрен отклонитель ТЗ-3-76 в Верхне-Индибирской и Нежданинской ГРЭ Якутского геологического управления, где его используют в основном для корректирования направления скважин.

При детальной разведке Филизчайского месторождения в Азербайджане с помощью отклонителей ТЗ-3 пробурено более 15 тыс. м направленных и многоствольных скважин глубиной до 1200 м в метаморфизованных породах IX—XI категорий по буримости, отличающихся разнонаправленной сланцеватостью и наличием трещиноватости. За 1976—1978 гг. произведено более 120 циклов искривлений с целью корректирования трассы, набора кривизны в дополнительных стволах и проведения скважин по сложным профилям, вызванных труднодоступностью гористого района работ. Экономический эффект от внедрения отклонителя типа ТЗ составил более 200 тыс. руб.

В конце 1976 г. Башкирское ПГО начало внедрение отклонителей ТЗ-3-76. По данным специалистов, после проведения 15 циклов искривлений (со средними затратами времени 6,4 ст.-ч на цикл против 18,5 ст.-ч при использовании клина СО) в различных скважинах были сделаны выводы о преимуществах отклонителя типа ТЗ и необходимости более широкого его внедрения. При этом было отмечено, что алмазные долота типа АДН-08 обеспечивают более стабильные результаты искривлений, чем шарошечные, но наличие «карандашного» керна ограничивает длину рейса.

Отклонители типа ТЗ успешно применяли для ответвления скважин от искусственного забоя, образованного из цемента или синтетических смол, в Иджеванской поисковой партии, в Карамкенской ГРЭ, Гагаринской ГРП, Северной ГРП, в Главно-Кавказской ГРЭ.

В 1978 г. специалисты Управления геологии Грузинской ССР успешно применили отклонитель ТЗ-3-76 для обхода прихваченного инструмента ответвлением от цементного искусственного забоя на глубине 860 м. Как показывает опыт, для этой цели наиболее перспективен отклонитель типа ТЗ с гидроузлом — приставкой, позволяющей вести отбуривание от материала, сравнительно менее прочного, чем породы стенки скважины.

Большая работа по внедрению отклонителей типа ТЗ проведена специалистами Мурманской ГРЭ. По материалам Б. Е. Стеблова отклонители ТЗ-3 успешно освоены при бурении почти на всех рудных месторождениях Кольского полуострова. Отклонители изготавливают в центральных мехмастерских Северо-Западного ПГО. Местные горнотехнические условия характеризуются высоким естественным искривлением скважин при бурении, переслаиванием анизотропных пород от VII до XI категории по

буримости, зашламованностью скважин, жесткими требованиями в обеспечении точности подсечений, наличием подземных горных выработок в контуре разведочных работ и т. п. В этих условиях применяли почти все известные конструкции отклонителей, из которых наиболее приемлемым для забуривания новых стволов оказался клин КОС, а для набора кривизны и корректирования трассы скважины — отклонитель типа ТЗ. При эксплуатации отклонителя типа ТЗ специалистами ГРЭ отмечены большие затраты времени на ориентирование, которые в отдельных случаях превышают затраты времени на бурение отклонителем. Кроме того, сделан вывод о необходимости подбора рационального инструмента и технологии отбуривания (после отклонителя типа ТЗ) с учетом специфики условий. В Риколатвинской ГРП по предварительным данным экспериментальных работ наиболее хорошие результаты получены при отбуривании шарошечной шарнирной компоновкой.

В конце 1976 г. начато внедрение отклонителей ТЗ-3 в Восточно-Казахстанском ПГО. В 1977 г. отклонителями типа ТЗ-3 было произведено 230 циклов искривлений в Зырянской ГРЭ, 45 — в Прииртышской, 60 — в Лениногорской и 50 — в Семипалатинской ГРЭ. Экономический эффект на 1 образец отклонителя типа ТЗ по Зырянской ГРЭ составил 1825 руб. В ПГО организовано малосерийное производство таких отклонителей. Эффективность использования отклонителей типа ТЗ в основном снижается недостаточной работоспособностью долот.

В Комсомольской ГРЭ отклонители типа ТЗ применяют для корректирования трассы скважин и набора кривизны дополнительных стволов. С начала 1976 г. по апрель 1977 г. произведено 111 циклов искривлений в породах X—XI категорий по буримости с использованием долот АДН и ИДН, разработанных ЦНИГРИ. По материалам Комсомольской ГРЭ экономическая эффективность от внедрения отклонителей типа ТЗ составила в 1976 г. 94 тыс. руб.

Начато внедрение отклонителей в Майской ГРП Северо-Восточного ПГО, в геологоразведочном тресте «Кривбассгеология», в Чаро-Токкинской, Южно-Якутской, Янской и Ботуобинской ГРЭ Якутского ПГО, в Удино-Витимской ГРЭ и Северобайкальской ГРЭ Бурятского ПГО!

Успешно начато внедрение отклонителей типа ТЗ на Востоке страны: в Дальнегорской ГРП с применением отклонителя ТЗ-3-76 пробурена первая многоствольная скважина с отходом дополнительного ствола на 100 м по рудному телу, в Восточной ГРП отклонители типа ТЗ применены для направленного бурения скважин диаметром 76 и 59 мм в крепких породах. Более широкое внедрение сдерживается отсутствием эффективных алмазных долот.

С высокими технологическими показателями ведут эксплуатацию отклонителей типа ТЗ в Иркутском ПГО на железорудных

месторождениях Ангаро-Катского региона при бурении направленных и многоствольных скважин. По материалам Г. В. Зарубина и В. Н. Глызина в 1978 г. пробурено 8 многоствольных скважин с ответвлением от цементного забоя с экономической эффективностью 150 тыс. руб. За 1976—1977 гг. проведено 229 циклов искривлений отклонителями типа ТЗ в 36 скважинах. При этом показатель точности ориентации составил 0,70, стабильности — 0,72, сохранения производительности труда — 0,75, безаварийности — 0,94.

В Северобайкальской ГРЭ, объекты которой характеризуются интенсивным естественным искривлением скважин, отклонитель ТЗ-3 применяют для корректирования трассы скважин. Здесь был впервые проведен эксперимент по использованию этого отклонителя в сочетании с гидроударником ГВ-5. В результате механическая скорость бурения при работе с отклонителем типа ТЗ увеличилась с 0,78 до 2,1 м/ч.

В 1979 г. были проведены работы по оценке перспектив методов направленного бурения и начато внедрение отклонителей типа ТЗ для увеличения угла встречи скважины с крутопадающими рудными телами и бурения дополнительных стволов по методике «сверху — вниз» в многоствольных скважинах. Использование отклонителя типа ТЗ в сочетании с технологическим снарядом уже на первом этапе освоения обеспечило набор кривизны 15° на интервале 30 м, где было произведено три цикла искривлений при чередовании с обычным бурением. Применяли отклонитель с алмазными долотами. Ориентирование осуществляли на первом этапе с помощью ориентатора ШОК, а затем АЗОР-1 конструкции ЗабНИИ.

Совместно с технологическими группами Бурятского, Читинского, Красноярского, Якутского, Иркутского, Уральского, Северо-Восточного, Северо-Западного ПГО Забайкальским НИИ проделана большая работа по разработке и внедрению методов направленного бурения скважин на основе отклонителей типа ТЗ в конкретных геологотехнических условиях, в результате чего получен значительный экономический эффект.

В табл. 12 приведены данные, характеризующие эффективность внедрения прогрессивной техники и технологии направленного бурения в отдельных геологоразведочных организациях страны. Анализ данных показывает, что в среднем на 1 цикл искривления приходится 1427 руб. экономического эффекта.

Как показывает накопленный опыт, эффективность использования отклонителей различна в разных производственных организациях: в Норильской ГРЭ экономический эффект на один образец составил более 3 тыс. руб., в Карамкенской ГРЭ — более 6 тыс. руб., в Гагаринской ГРП — около 2 тыс. руб., что объясняется различием решаемых при этом методических задач. Так, в Норильской ГРЭ и Гагаринской ГРП эффективность получена при замене клиновых отклонителей на ТЗ-3 без измене-

Таблица 12

| Организации | Мероприятия, обеспечивающие экономическую эффективность | Число циклов искривлений отклонителем типа ТЗ | Экономическая эффективность, тыс. руб. |
|-----------------------|---|---|--|
| Алексеевская КГРП | Сокращение объема буровых работ | 210 | 129 |
| Чаунская ГРЭ | Предотвращение брака путем исправления отклонившихся от проекта скважин | 252 | 602,1 |
| Карамкенская ГРЭ | Сокращение объемов бурения | 265 | 754 |
| Североуральская ГРЭ | То же | 266 | 655 |
| Гагаринская ГРП | Замена клина СНБ-КО | 240 | 27,8 |
| Норильская ГРЭ | Замена клина СО | 375 | 98,6 |
| Главно-Кавказская ГРЭ | Предотвращение брака | 120 | 200 |

ния методики разведочных работ; в Карамкенской ГРЭ — при замене параллельных близрасположенных скважин одной наклонно направленной. Таким образом, наиболее высокая эффективность от внедрения отклонителей и вообще методов направленного бурения достигается при изменении общей методики ведения геологоразведочных работ.

Не менее важным резервом повышения эффективности является разработка оптимальной технологии искусственного искривления для конкретных условий, обеспечивающей полное использование технических возможностей отклонителей с наиболее высоким показателем сохранения производительности труда и результативности работ и наименьшей себестоимостью.

Совершенствование конструкции отклонителя, увеличение его надежности, долговечности — реальный резерв повышения эффективности. Использование, например, гофрированных манжет для уплотнения вместо армированных позволило на 30—40% повысить время наработки на отказ; использование твердосплавных катков для стабилизации статора может повысить срок их службы в 10—15 раз и т. п. Эффективность использования и более широкое внедрение ОНД, как показывает опыт, сдерживается недостаточными объемом серийного производства техники, качеством изготовления отклонителей в производственных организациях, технологическим уровнем выполнения работ, а также несовершенством породоразрушающего инструмента, системы планирования и нормирования работ и другими причинами, устранение которых является реальными резервами повышения общей эффективности направленного бурения.

Глава VII

АВАРИЙНОСТЬ ПРИ НАПРАВЛЕННОМ БУРЕНИИ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КРИВИЗНЫ

Аварией называется непредвиденное прекращение углубления скважины, вызванное нарушением состояния буровой скважины или находящегося в ней бурового инструмента. При этом отличительным признаком аварии обычно является наличие оставленных в скважине деталей бурового снаряда или инструмента, для извлечения которых необходимы специальные работы [12].

Осложнением называется затруднение углубления скважины, вызванное нарушением состояния буровой скважины.

При направленном бурении скважин, отличающихся от обычных наличием интервалов с различной интенсивностью искривления, расположенных на разных участках трассы, возникают аварии и осложнения, которые связаны с процессом искусственного искривления и его последствиями, что требует специальных методов по их устранению. Следует отметить, что в ряде работ, посвященных исследованию и ликвидации аварийности в бурении [12, 20], не содержится каких-либо рекомендаций применительно к направленному бурению.

Аварии и осложнения при направленном бурении можно разделить на два вида:

- а) аварии и осложнения при искусственном искривлении;
- б) аварии и осложнения после искривления.

Учитывая явно выраженную связь аварийности бурильных труб с характеристикой кривизны скважин, полученной в результате применения отклоняющей техники, представляется целесообразным совместно рассмотреть эти вопросы.

§ 1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ АВАРИЙ И ОСЛОЖНЕНИЙ ПРИ НАПРАВЛЕННОМ БУРЕНИИ И ПУТИ ИХ СНИЖЕНИЯ

При искусственном искривлении, как правило, возникают аварии, связанные с отказами отклоняющей техники: преждевременное отсоединение клина при спуске в скважину, заклинивание, прихват и обрыв снаряда при отбурке от клина и расширении ствола, обрыв несущих валов, поломка подшипниковых, стабилизирующих и распорных узлов в отклонителях непрерывного действия, поломка шарнирных узлов в специальных гибких компоновках и т. п.

В. Г. Квитка и Ю. А. Пешалов, описывая опыт внедрения отклонителей СНБ-КО в работе [8], отмечают, что из 338 циклов искривлений 15 сопровождались авариями, такими как прихват

и обрыв снаряда при отбурке, поломка шарнирного узла, повреждение ложка клина, обрыв бурильных труб при отбурке. При этом наиболее сложной аварией признана поломка шарнира. Ликвидация аварий потребовала много времени.

При проведении приемочных испытаний отклонителя ТЗ-3-59 в 120 циклах искривлений, выполненных шестью образцами, произошло семь обрывов нижнего вала, шесть обрывов верхнего вала, одна поломка статорной пружины и одна поломка клинового ползуна. Эти отказы не сопровождались осложнениями, и все, за исключением последнего, были устранены без проведения специальных работ, так как в конструкции отклонителя предусмотрена двойная связь деталей ротора и статора.

А. С. Гончаренко и В. В. Заколюдяжный, описывая опыт забуривания вторых стволов от клина КОС-44, отмечают, что при отбурке от клина происходили обрывы шарниров ШУ-34 и ШУ-44. Переход на шарниры конструкции КазИМСа и ЗабНИИ позволил избежать этих поломок [6].

Анализируя аварии при искусственном искривлении, можно выделить следующие причины их возникновения:

недостаточный уровень надежности применяемой техники;
неудовлетворительное состояние и неподготовленность скважины к проведению работ;

отсутствие должного контроля за обеспечением исправного состояния применяемой техники;

необеспеченность работ надлежащей серийной техникой и инструментами;

слабая профессиональная подготовка исполнителей к проведению этого специального вида работ;

нарушения технологии работ;

отсутствие требуемого контроля и учета. Таким образом, причины носят технический, технологический и организационный характер. Поэтому из анализа причин вытекают следующие пути снижения аварийности:

а) детальное изучение горнотехнических условий выполнения задачи по искривлению;

б) обоснованный выбор современных способов и технических средств для производства работ с учетом специфики местных условий;

в) повышение квалификации исполнителей путем изучения специальной литературы, проведения курсов, семинаров, командировок по обмену опытом в передовые организации, приглашения консультантов и т. д.;

г) своевременная профилактика и контроль за состоянием техники и инструмента;

д) тщательная подготовка скважины к проведению работ;

е) разработка рациональной технологии проведения работ с учетом местных условий и контроль за ее соблюдением;

ж) использование КИП при выполнении работ;

з) учет проводимых работ, анализ результатов, изучение причин отрицательных результатов и аномальных случаев практики.

Безусловно, эффект от проведения этих организационных мероприятий будет значительно повышаться при объединении творческих усилий конструкторов и технологов по созданию надежной и безотказной отклоняющей техники, удовлетворяющей современным требованиям, и специального аварийного инструмента.

Одним из путей повышения безаварийности ОНД может служить обеспечение двойной линейной кинематической связи через ротор и через статор, что позволяет при поломке ротора извлечь весь отклонитель через статорную связь без проведения специальных работ.

Кроме того, поломки роторной части вследствие заклинивания, разрушения или прижога долота можно предотвратить, если ввести в состав снаряда специальное предохранительное устройство, ограничивающее возрастание забойного крутящего момента сил.

Авария и осложнения, возникающие после искусственного искривления, обычно выражаются обрывами бурильных труб и желобообразованием в неустойчивых породах. Ликвидация обрывов в искривленных скважинах — дело сложное и трудоемкое. Как показывает опыт, причинами аварий и осложнений являются наличие интервалов с резкими изгибами трассы скважины; разнонаправленность искусственных искривлений; плохое состояние бурильных труб, обусловленное либо износом, либо низким качеством изготовления и сборки; приуроченность искривлений к интервалам неустойчивых, трещиноватых пород; разворот клина вследствие непрочного закрепления.

По мнению Н. Г. Егорова, одной из основных причин повышения аварийности при бурении дополнительных стволов является их высокая искривленность. Следует заметить, что им проанализированы многоствольные скважины, где искусственное искривление проводилось клиновыми отклонителями и, следовательно, были резкие изгибы трассы.

При анализе аварийности бурильных труб в искривленной скважине следует учитывать, что даже в прямолинейном стволе изгиб колонны в сжатой ее части может достигать значительной кривизны, которую можно определить по формуле

$$i = \frac{57,3 \cdot 8 f}{(l^2 + 4 f^2)}, \quad (57)$$

где i — интенсивность искривления при изгибе труб, градус/м; f — радиальный зазор между наружной поверхностью трубы и стенкой скважины, м; l — длина полуволны в сжатой части колонны, м.

По расчетам Б. И. Воздвиженского, длина полуволны бурильных труб диаметром 50 мм может уменьшаться до 2,3—2,5 м при

частоте вращения 600 об/мин. При диаметре скважины 76 мм интенсивность изгиба при этом будет достигать 1,05 градус/м; при 80 мм — 1,2 градус/м.

Сотрудниками ЗабНИИ проводились исследования аварийности при направленном бурении в Заречной ГРП с внедрением отклонителей СНБ-КО и ТЗ-3. За показатель аварийности \bar{n} было принято число обрывов бурильных труб на 100 м бурения. При анализе большого объема буровых работ было установлено, что в обычном бурении $\bar{n}=2$. При анализе аварийности бурильных труб в направленном бурении, который был выполнен по 19 скважинам с 77 циклами искривлений отклонителями СНБ-КО и ТЗ-3, получены средние показатели аварийности соответственно 5,1 и 2,3.

Коэффициент увеличения аварийности K , показывающий, во сколько раз при искривлении увеличивается число обрывов по сравнению с обычными скважинами, составил 2,5 для клина СНБ-КО и 1,1 для отклонителя ТЗ-3. В табл. 13 приведены некоторые показатели аварийности, среди которых наибольший интерес представляют материалы по скв. 234 и 557, где отклонителями СНБ-КО и ТЗ-3 выполнен почти равный набор кривизны с одинаковой общей интенсивностью, но наблюдалось разное число обрывов: в скв. 234 при работе СНБ-КО — девять, ТЗ-3 — один; в скв. 557 соответственно восемь и два.

Таблица 13

| Номер скважины | Отклонитель | Общее искривление, градус | Интенсивность искривления, градус/м | Число циклов искривлений | Число обрывов в искривленных участках | Показатель аварийности \bar{n} |
|----------------|-------------|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| 450 | СНБ-КО | 23,1 | 1,80 | 4 | 6 | 4,3 |
| 276 | » | 38,8 | 1,20 | 8 | 19 | 7,0 |
| 232 | » | 31,2 | 2,00 | 5 | 11 | 9,0 |
| 524 | » | 20,1 | 1,45 | 4 | 3 | 2,2 |
| 246 | » | 27,7 | 2,26 | 3 | 1 | 0,9 |
| 603 | » | 34,7 | 2,59 | 9 | 9 | 6,4 |
| 233 | » | 9,3 | 1,90 | 2 | 5 | 1,7 |
| 233 | ТЗ-3 | 3,8 | 0,60 | 1 | 1 | 1,5 |
| 234 | СНБ-КО | 14,0 | 0,86 | 4 | 9 | 13,5 |
| 234 | ТЗ-3 | 14,2 | 1,03 | 3 | 1 | 4,0 |
| 557 | СНБ-КО | 14,4 | 1,11 | 3 | 8 | 10,0 |
| 557 | ТЗ-3 | 12,4 | 1,12 | 3 | 2 | 1,3 |
| 100 | » | 8,3 | 0,80 | 2 | — | 2,0 |

В табл. 14 приведены некоторые материалы по аварийности бурильных труб; полученные при бурении многоствольных скважин в Алексеевской ГРП Читинского ПГО, где для ответвления применялся комплекс СКО и для набора кривизны дополнительных стволов — отклонители ТЗ-3.

Таблица 14

| Номер скважины | Длина дополнительного ствола, м | Средняя интенсивность искривления, градус/м | Диаметр скважины, мм | | Показатель аварийности n | | Коэффициент увеличения аварийности K |
|----------------|---------------------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|--|
| | | | основной ствол | дополнительный ствол | основной ствол | дополнительный ствол | |
| 174 | 189,6 | 0,55 | 62 | 76 | 7,7 | 11,6 | 1,5 |
| 176 | 202,6 | 0,65 | 77 | 76 | 13,2 | 15,8 | 1,2 |
| 181 | 152,3 | 0,12 | 76,5 | 76 | 9,4 | 3,1 | 0,33 |
| 181 | 204,4 | 0,14 | 76 | 59 | 9,7 | 2,7 | 2,0 |
| 182 | 236,0 | 0,28 | 76 | 59 | 3,5 | 3,7 | 1,0 |
| 182 | 184,9 | 0,27 | 76 | 59 | 3,7 | 3,7 | 1,0 |
| 197 | 139,2 | 0,18 | 76 | 76 | 5,8 | 6,0 | 1,03 |
| 199 | 89,9 | 0,17 | 76 | 76 | 5,6 | 6,0 | 1,07 |
| 227 | 154,7 | 1,05 | 76 | 59 | 3,4 | 3,4 | 1,0 |

Анализ данных табл. 14 показывает, что при бурении дополнительных стволов с общей интенсивностью искривления от 0,27 до 1,5 градус/м заметного увеличения аварийности бурительных труб не наблюдается.

В Гагаринской ГРП были изучены материалы по аварийности бурительных труб в 12 скважинах, где проводились искусственные искривления отклонителями ТЗ-3 (20 циклов) и СНБ-КО (10 циклов). На рис. 29 показана зависимость аварийности от общего набора кривизны по скважине при работе отклонителей СНБ-КО и ТЗ-3. В скважинах, где применялся отклонитель СНБ-КО (пунктирная линия), аварийность в 5—6 раз больше, чем при использовании отклонителя ТЗ-3 (сплошная линия).

Полученные результаты подтверждают преимущество плавного искривления, обеспечиваемого отклонителями непрерывного действия по сравнению с неравномерной кривой, получаемой при работе клиновыми отклонителями.

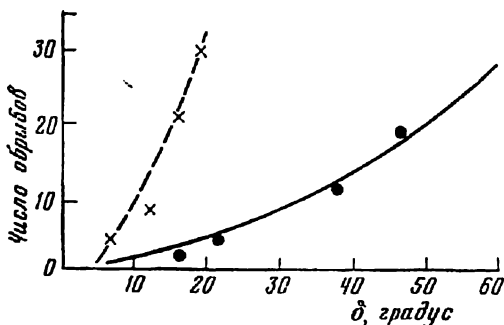


Рис. 29. Зависимость характера аварийности бурительных труб полного угла искривления δ при работе отклонителями ТЗ-3 и СНБ-КО

Кроме того, в Гагаринской ГРП исследовали связь между аварийностью и интенсивностью искусственного искривления отклонителями ТЗ-3. При этом были проанализированы материалы по направленному бурению 28 скважин, где было произ-

ведено более 100 циклов искривлений с различной интенсивностью локального искривления от 0,5 до 2,0 градус/м и более. Обработку материалов производили на ЭВМ «Наири-2» по программе полиномиальной регрессии, разработанной партией «АСУ — Читагеология». При этом были получены следующие зависимости:

$$\bar{n} = -1,28 + 4,67 i - 2,05 i^2 - 4,56 i^3 + 4,63 i^4 - 1,08 i^5; \quad (58)$$

$$\bar{n} = 1,86 - 0,92 \delta - 0,14 \delta^2 + 0,17 \delta^3 + 0,001 \delta^5. \quad (59)$$

На рис. 30 и 31 показаны зависимости аварийности от различных значений δ и i , которые показывают возможность появления обрывов при $\delta > 3,3^\circ$ и $i > 1,5$ градус/м.

Полученные результаты представляют практический интерес, однако для выбора оптимальных параметров кривизны необходим учет и других факторов.

Исходя из анализа ряда причин могут быть рекомендованы следующие пути снижения аварийности при направленном бурении:

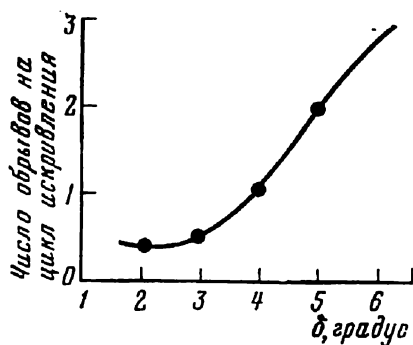


Рис. 30. Зависимость аварийности бурильных труб от величины полного угла δ .

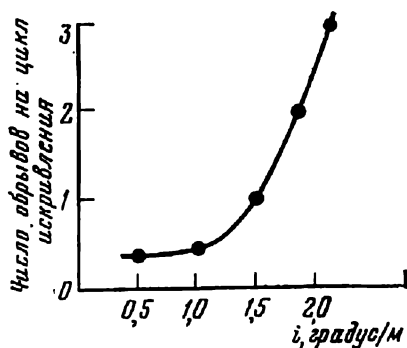


Рис. 31. Зависимость аварийности бурильных труб от интенсивности искривления i .

а) изучение геологического разреза, кавернометрии скважин, состояния кернового материала с целью выбора рациональных интервалов, сложенных наиболее устойчивыми в данном комплексе породами;

б) применение современных способов искусственного искривления, обеспечивающих плавное изменение трассы скважины;

в) проектирование параметров трассы скважины с учетом оптимальной кривизны;

г) повышение качества ориентирования отклонителей для снижения и исключения разнонаправленности плоскостей искривления;

д) направленное бурение вертикально-наклонных скважин в неустойчивых интервалах пород вместо наклонных для снижения желобообразования;

е) применение гладкоствольной бурильной колонны при желобообразовании;

ж) проработка интервалов интенсивного искусственного искривления специальными жесткими компоновками для устранения желобов;

з) увеличение гибкости бурильной колонны в интервалах искривления комбинированием диаметров бурильных труб и включением буровых шарниров в замковые соединения;

и) совершенствование конструкции соединений бурильных труб;

к) применение смазывающих веществ, снижающих трение и усилие на вращение колонны.

Перечисленные рекомендации не исчерпывают всех возможных мероприятий по снижению аварийности при направленном бурении. Их использование, разработка и реализация новых приемов позволят снизить непроизводительные затраты и повысить общую экономичность методов направленного бурения.

§ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИСКРИВЛЕНИЯ

В настоящее время многие исследования посвящены выбору рациональной интенсивности искривления, однако единого мнения по этому вопросу нет. Так, например, А. Г. Калинин и О. М. Андреев на основании исследования нагрузок в нижней части сжатой бурильной колонны при работе ее в искривленной скважине вывели формулу для расчета минимально допустимого радиуса искривления, который для бурильных труб диаметром 63,5 мм равен 360 м, для труб диаметром 50 и 42 мм соответственно 141 и 108 м, что соответствует интенсивности искривления 0,16, 0,40 и 0,52 градус/м.

Позднее А. М. Курмашев и И. М. Юдборовский провели уточненные расчеты по этой формуле и, основываясь на новых данных о затратах мощности на забое скважины, пришли к выводу, что минимально допустимый радиус может быть в пределах 51—58 м, т. е. интенсивность искривления равна 1,0 градус/м. Кроме того, ими отмечено, что при бурении многоствольных скважин экономически целесообразно набирать кривизну с наибольшей интенсивностью. А. С. Юшков, анализируя данные об искривлении скважин с радиусом кривизны менее 100 м, установил, что практически возможно осуществлять проходку скважин с радиусом искривления 35—40 м, т. е. с интенсивностью до 1,4—1,6 градус/м.

В. Г. Вартыкян и А. М. Курмашев величину интенсивности искривления рекомендуют выбирать в пределах 0,08—0,3 градус/м. Ф. А. Вайнов считает рациональной интенсивность в пределах 0,12—0,52 градус/м, отмечая связь этого параметра с режимами бурения. По мнению Ю. Т. Морозова, интенсивность искривления при работе клиновыми отклонителями разового

действия должна быть не более 0,5 градус/м, а с бесклиновыми, обеспечивающими более плавный набор кривизны, — до 1,0 градус/м [16]. При этом отмечается, что такая интенсивность должна обеспечить нормальный процесс искривления без поломок отклонителя и последующее бурение без увеличения аварийности.

Следует отметить также, что при искусственном искривлении клиновыми отклонителями типа СО, СНБ-КО и другими наблюдается увеличение числа обрывов при относительно небольшой средней интенсивности. Некоторые исследователи приводят данные о резком увеличении обрывов при интенсивности 0,38 градус/м и в то же время считают, что при использовании ОНД допустима интенсивность 1,0 градус/м.

Большинство исследователей выбор рациональной интенсивности искривления производят из анализа усталостных напряжений, возникающих в бурильной колонне при работе ее в искривленной скважине. Однако на практике нередко интенсивность искривления достигает 2,5—3,0 градус/м и более, а заметного увеличения аварийности не наблюдается. М. П. Олексенко в работе [18] отмечает, что в Карамкенской ГРЭ при направленном бурении скважин диаметром 76 мм при использовании бурильных труб диаметром 42 мм практиковалось интенсивное искусственное искривление иногда до 35° на 40—60 м участка скважины, что не вызывало дополнительных технических осложнений. Следует заметить, что набор кривизны осуществляли отклонителями непрерывного действия ТЗ-3-76.

Таким образом, анализ существующих взглядов исследователей показывает, что нет единого мнения по выбору оптимальной интенсивности искривления, а выводы, сделанные на основе расчетов усталостных напряжений, расходятся с результатами производственных организаций. Поэтому необходим иной методологический подход к решению этой актуальной задачи.

По мнению автора, при выборе оптимальных параметров кривизны необходимо исходить из условия получения наименьших затрат средств на проведение всех работ, связанных с процессом искусственного искривления скважины и устранением его отрицательных последствий. В связи с этим критерием может служить стоимость искривления на 1°. Если величину полного угла искривления выразить через интенсивность, то формулу (1) можно записать в следующем виде:

$$a = (A_1 + A_2 + A_3)/i l_{II}, \quad (60)$$

где i — интенсивность искривления или кривизна скважины, l_{II} — интервал искривления.

Для ускорения расчетов разработана номограмма (рис. 32), состоящая из четырех квадрантов. Работа с номограммой протекает аналогично ранее описанному примеру (§ 4 гл. II) и дополнительных пояснений не требует.

Исходными материалами для определения оптимальной интенсивности искусственного искривления служат сводные ведомости о работе отклонителей, составленные на основании записей в буровых журналах, хронометражных наблюдений или диаграмм ваттметров Н-348 и инклинометрических замеров, а также материалы по аварийности бурильных труб. Расчеты ведут для определенных групп скважин, различающихся по виду отклонителя, виду и состоянию бурильных труб, режимам бурения, диаметру скважин и другим специфическим признакам. После расчетов составляют таблицы и графики, показывающие оптимальную для анализируемых условий интенсивность искривления.

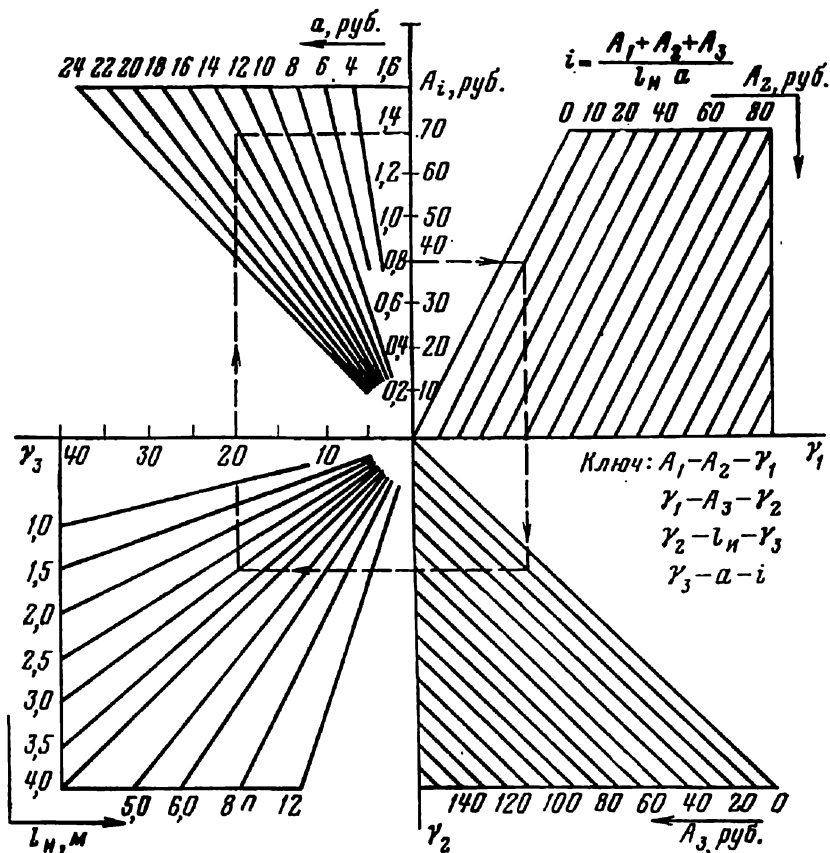


Рис. 32. Номограмма для определения интенсивности искривления по экономическим показателям

По описанной методике проводили исследования интенсивности искусственного искривления в Гагаринской ГРП при работе обычной бурильной колонны и ЛБТ в скважинах с различной степенью искривления, пробуренных в породах средних категорий буримости. К анализу были привлечены материалы 115 циклов искривлений, выполненных ОНД. При этом стальная бурильная колонна эксплуатировалась при обычных режимах (частота вращения 400—500 об/мин), а колонна ЛБТ — при форси-

рованных. Показатели аварийности для стальной и легкосплавной бурильных колонн при обычном бурении составили соответственно 1,9 и 0,5; стоимость времени искривления A_1 в среднем составила 18,85 руб., и стоимость амортизации A_2 — 12,98 руб.; затраты времени на ликвидацию одного обрыва t по ГРП составили 3,2 ч. Результаты расчетов приведены в табл. 15 и показаны на рис. 33 (заштрихована область оптимальных значений интенсивности искусственного искривления).

Таблица 15

| Интенсивность искривления, градус/м | Коэффициент увеличения аварийности K | Стоимость цикла искривления, руб. | | Себестоимость градуса искривления, руб. |
|-------------------------------------|--|-----------------------------------|--------|---|
| | | $A_1+A_2+A_3$ | A_3 | |
| Стальные бурильные трубы | | | | |
| 0—0,5 | 1,0 | 31,83 | — | 42,44 |
| 0,6—1,0 | 1,16 | 39,02 | 7,19 | 17,34 |
| 1,1—1,5 | 1,26 | 34,82 | 11,99 | 11,68 |
| 1,6—2,0 | 2,05 | 70,02 | 38,19 | 13,34 |
| > 2,0 | 2,58 | 103,74 | 71,91 | 15,72 |
| Легкосплавные бурильные трубы | | | | |
| 0—0,5 | 1,0 | 31,83 | — | 42,44 |
| 0,6—1,0 | 1,98 | 55,32 | 23,49 | 24,59 |
| 1,1—1,5 | 2,28 | 62,51 | 30,68 | 16,67 |
| 1,6—2,0 | 4,5 | 115,72 | 83,89 | 22,04 |
| > 2,0 | 6,0 | 151,67 | 119,84 | 25,28 |

Анализ данных табл. 15 показывает, что в Гагаринской ГРП оптимальной является интенсивность искривления в диапазоне 1,1—1,5 градус/м для стальной и легкосплавной бурильных колонн, хотя коэффициент увеличения аварийности при этом больше единицы. С изменением значений составляющих величин, например A_1 , A_2 или A_3 , величина себестоимости может измениться и оптимальной станет другая интенсивность искривления. Поэтому при совершенствовании техники и

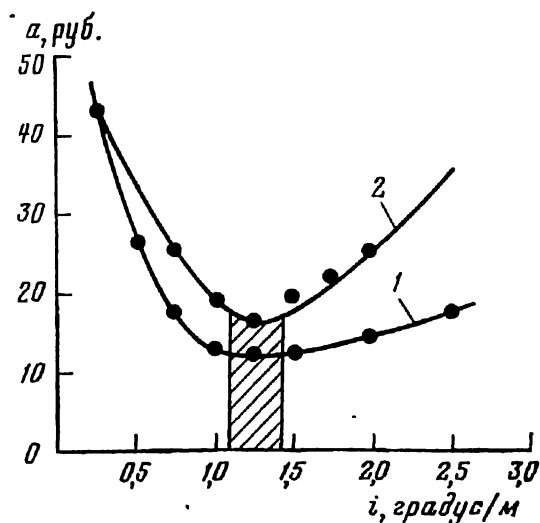


Рис. 33. Зависимость себестоимости градуса искривления от интенсивности искривления:

1 — стальные бурильные трубы; 2 — легкосплавные бурильные трубы

технологии искусственного искривления, изменении качества бурильной колонны и других технических и технологических условий необходим экономический анализ себестоимости работ при искривлении, на основании которого производится выбор оптимальной кривизны. Расчеты, проведенные в ЗабНИИ, показывают, что в зависимости от изменения горнотехнических условий она меняется от 0,8 до 2,5 градус/м.

§ 3. РЕГУЛИРОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИСКРИВЛЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ ОТКЛОНИТЕЛЯ ТЗ-3

Повышение требований к точности проведения скважины в заданную точку, отличие величин оптимальной интенсивности искривления в разных технико-экономических условиях, тенденции совершенствования методики разведки обусловили необходимость разработки методов регулирования кривизной при применении современных технических средств.

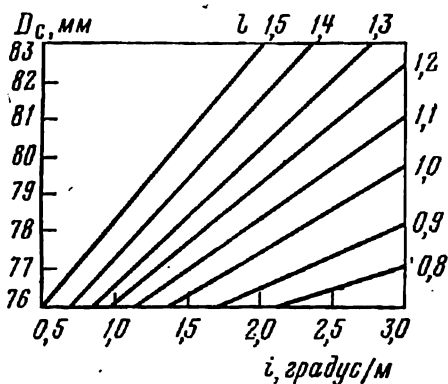
Регулирование интенсивности искривления является одним из сложных вопросов в технологии искусственного искривления. При работе отклонителей непрерывного действия ТЗ-3 интенсивность искривления определяется из условия вписываемости корпуса отклонителя в криволинейном интервале скважины, т. е.

$$l = 21,2 \sqrt{\frac{1}{i} (D_c - d)}, \quad (61)$$

где l — длина жесткой базы отклонителя, м; D_c — диаметр скважины, м; i — интенсивность искривления; d — диаметр отклонителя, м.

Отклонитель ТЗ-3 выпускают с линейными параметрами, обеспечивающими наибольшую интенсивность искривления при разработанности ствола скважины. Поэтому регулирование интенсивности искривления сводится к ее уменьшению и выполняется двумя способами: изменением длины жесткой базы отклонителя и изменением длины нижнего переходника отклонителя.

На рис. 34 показана зависимость интенсивности искривления



от диаметра скважины, из которой видно, что разработанность ствола в призабойной части скважины может значительно изменять интенсивность при неизменной длине жесткой базы. Поэтому для получения расчетной кривизны необходимо знать разработанность скважины, которую определяют кавернометрией, по обработанности керна или с помощью простых приспособлений. Например, при проведении экспериментов в Нориль-

Рис. 34. Зависимость интенсивности искривления от диаметра скважины при различной длине жесткой базы отклонителя

ской ГРЭ измерение диаметра скважины на забое осуществляли с помощью стальной ленты, прикрепленной к верхнему полуклину отклонителя. Заостренный конец ленты касается шламозащитной трубки, покрытой суриком, и при выдвигении клинового ползуна в момент раскрепления отклонителя оставляет на ней черту, по которой определяют диаметр скважины. Затем по графику находят длину жесткой базы и подбирают соответствующий патрубок корпуса.

В Норильской ГРЭ по этой методике были проведены эксперименты с отклонителем ТЗ-3-76 при бурении скв. 530 в доломитах VI категории по буримости. Результаты экспериментов по регулированию интенсивности искривления изменением длины жесткой базы приведены в табл. 16.

Таблица 16

| Глубина искривления, м | Длина жесткой базы, мм | Диаметр скважины, мм | Полный угол искривления, градус | Интенсивность искривления, градус/м | |
|------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------|
| | | | | расчетная | фактическая |
| 750 | 1500 | 79 | 3,5 | 1,0 | 0,9 |
| 756 | 1300 | 79 | 4,5 | 1,5 | 1,6 |
| 760 | 1000 | 79 | 6,0 | 2,0 | 2,1 |

Из табл. 16 видно, что с увеличением длины жесткой базы отклонителя на 300 мм интенсивность уменьшилась с 2,1 до 1,6 градус/м; с увеличением длины жесткой базы на 500 мм интенсивность достигла величины 0,9 градус/м. Результаты эксперимента близки к расчетным. Аналогичные показатели были получены в Северной ГРП.

Экспериментальная проверка методов регулирования кривизны изменением длины нижнего переходника отклонителя проводилась в Гагаринской ГРП при работе отклонителем ТЗ-3-59 в эффузивных породах VII — VIII категорий буримости и на буровом полигоне ЗабНИИ в осадочных породах VI — VII категорий буримости. Результаты экспериментов по регулированию интенсивности искривления изменением длины нижнего переходника отклонителя ТЗ-3-59 приведены в табл. 17.

Проведенные экспериментальные работы показали возможность регулирования интенсивности искривления при применении отклонителя типа ТЗ двумя несложными способами, из которых наибольшее распространение нашел второй способ, т. е. изменением длины нижнего переходника от 70 до 160 мм.

Таблица 17

| Глубина искривления, м | Длина рейса, м | Длина нижне- го переходни- ка, мм | Полный угол искривления, градус | Интенсивность искривления, градус/м | |
|------------------------------|-------------------|---|---------------------------------------|--|-------------|
| | | | | расчетная | фактическая |
| Гагаринская ГРП | | | | | |
| 325,7 | 2,2 | 70 | 3,4 | 1,5—2,0 | 1,54 |
| 421,7 | 3,5 | 70 | 5,5 | 1,5—2,0 | 1,64 |
| 671,2 | 2,0 | 70 | 4,0 | 1,5—2,0 | 1,90 |
| 211,6 | 4,0 | 70 | 6,4 | 1,5—2,0 | 1,60 |
| 239,0 | 3,2 | 70 | 6,2 | 1,5—2,0 | 1,93 |
| 146,3 | 3,0 | 170 | 1,3 | 0,5—1,0 | 0,43 |
| 175,3 | 2,5 | 170 | 1,5 | 0,5—1,0 | 0,60 |
| 193,5 | 3,0 | 170 | 1,1 | 0,5—1,0 | 0,36 |
| 218,6 | 3,5 | 170 | 2,0 | 0,5—1,0 | 0,57 |
| 446,0 | 4,5 | 170 | 1,8 | 0,5—1,0 | 0,40 |
| Буровой полигон | | | | | |
| 45,6 | 3,0 | 200 | 1,4 | 0,3—0,5 | 0,47 |
| 51,2 | 2,5 | 160 | 2,0 | 0,6—0,8 | 0,80 |
| 56,0 | 2,5 | 70 | 4,0 | 1,5—1,8 | 1,60 |

Глава VIII

ТОЧНОСТЬ ИСКУССТВЕННОГО ИСКРИВЛЕНИЯ

§ 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТОЧНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИСКРИВЛЕНИЯ

Качество работ при направленном бурении обычно характеризуется точностью проводки трассы скважины в требуемом направлении. В связи с более широким использованием геолого-методических возможностей направленного бурения, с увеличением глубины разведки и степени детализации разведочных работ требования к точности повышаются. Довольно часто на практике направление произведенного искривления скважины не соответствует расчетному. Иногда требуемая точность не обеспечивается разрешающей способностью применяемой техники. Поэтому анализ причин снижения точности необходим для того, чтобы можно было своевременно применять рациональные методы устранения ошибок и причин и тем самым способствовать повышению точности проводки скважин, а в итоге — повышению качества работ при направленном бурении.

При оценке точности искусственного искривления необходимо различать два основных признака, составляющих общую характеристику качества работ, а именно: погрешность ориентации искривления и погрешность набора кривизны.

Погрешность ориентации искривления, показывающая точность направления действия отклонителя, определяется ошибкой угла установки $\pm \Delta \omega$ и выражается разностью между расчетной и полученной величинами угла установки отклонителя. Для удобства проведения аналитических работ ЗабНИИ было предложено оценивать точность ориентации искривления показателем K_T (см. § 4 гл. III)

$$K_T = \cos |\Delta \omega|.$$

Сотрудниками ЗабНИИ проведен анализ точности искусственного искривления в различных производственных организациях страны, где применялись разные отклонители и ориентаторы (табл. 18). При рассмотрении приведенных данных было замечено следующее.

1. Показатель точности ориентации искривлений колеблется в широком диапазоне: от 0,29 до 0,90, что свидетельствует о резервах повышения точности для большинства отмеченных организаций.

2. Наиболее высокие показатели точности достигнуты при использовании комплекса отклонитель ТЗ-3 — ориентатор «Курс»; наиболее низкие — при использовании отклонителя

Таблица 18

| Предприятия | Ориентатор | Отклонитель | Число циклов искривлений | Показатель точности |
|-------------------------------|------------|-------------|--------------------------|---------------------|
| Алексеевская ГРП | ШОК-1 | ТЗ-3-76 | 126 | 0,74 |
| Норильская ГРЭ, 1971—1972 гг. | УШО-1 | ТЗ-3-76 | 375 | 0,64 |
| То же, 1973—1976 гг. | УШО-1 | СО-76 | 84 | 0,47 |
| Алтын-Топканская ГРП | УШО-1 | ТЗ-3-76 | 416 | 0,68 |
| Алешинская ГРП | УШО-1 | СНБ-АС | 16 | 0,66 |
| Даурская ГРЭ | ШОК-1 | СНБ-АС | 29 | 0,29 |
| Северо-Западная УГРЭ | ШОК-1 | ТЗ-3-76 | 7 | 0,9 |
| Штокверковая ГРП | ШОК-1 | ТЗ-3-76 | 29 | 0,77 |
| Гагаринская ГРП | ШОК-1 | ТЗ-3-76 | 162 | 0,54 |
| | «Курс» | СНБ-КО-73 | 40 | 0,65 |
| | «Курс» | СНБ-КО-57 | 35 | 0,69 |
| | «Курс» | ТЗ-3-59 | 35 | 0,85 |
| Карамкенская ГРЭ | ШОК-1 | ТЗ-3-76 | 141 | 0,64 |
| Саянская ГРП | ШОК-1 | ТЗ-3-76 | 5 | 0,52 |
| | «Табрат» | ТЗ-3-76 | 30 | 0,81 |
| Табратская ГРП | ШОК-1 | ТЗ-3-76 | 34 | 0,62 |
| | «Табрат» | ТЗ-3-76 | 7 | 0,89 |
| Зыряновская ГРЭ | УШО-1 | ТЗ-3-57 | 64 | 0,86 |
| | УШО-1 | СНБ-59 | 36 | 0,46 |
| Северобайкальская ГРЭ | «Курс» | ТЗ-3-59 | 21 | 0,83 |
| | «Курс» | СО-59 | 8 | 0,33 |

СНБ-АС с ориентатором УШО и отклонителя СО с ориентатором «Курс».

3. Относительно низкое значение показателей точности в Алешинской ГРП, Северобайкальской ГРЭ и Штокверковой ГРП можно объяснить влиянием интенсивного естественного искривления скважин.

4. В Норильской ГРЭ, выполняющей в больших объемах направленное бурение, рост K_T с 0,64 в 1971—1972 гг. до 0,68 в 1973—1974 гг. связан с повышением уровня технологии работ и ростом квалификации исполнителей.

Погрешность набора кривизны определяется ошибками в наборе полного угла искривления $\pm \Delta \delta$, что обусловлено при расчетной длине рейса погрешностями в получении интенсивности искривления $\pm \Delta i$ и выражается разностью между расчетной и полученной величинами интенсивности искривления.

Ю. Т. Морозов, описывая разные технологические варианты работы с клиновым съемным отклонителем СО, в работе [16] отмечает, что погрешность набора кривизны составляет от $\pm 0,2$ до $\pm 5^\circ$ в зависимости от выбранного варианта.

И. Н. Страбыкин в работе [21], анализируя погрешность набора угла искривления при работе с клиновым отклонителем СНБ-КО, считает, что относительная ошибка может достичь 25%.

Для удобства проведения аналитических работ ЗабНИИ было предложено оценивать погрешность набора кривизны показателем стабильности искривления K_c

$$K_c = 1 - \frac{|\delta_{\phi} - \delta_p|}{\delta_p} \quad (62)$$

или

$$K_c = 1 - \frac{|i_{\phi} - i_p|}{i_p}, \quad (63)$$

где δ_{ϕ} и δ_p — полученный и расчетный полные углы набора кривизны за цикл работ; i_{ϕ} и i_p — полученная и расчетная интенсивность искривления. Первая формула применяется для анализа набора кривизны по полному углу искривления за цикл работ при использовании клиновых отклонителей и отклонителей непрерывного действия; вторая — в случаях оценки работы отклонителей непрерывного действия по интенсивности искривления.

Обработав данные, приведенные Ю. Т. Морозовым в работе [16], можно отметить, что показатель стабильности при работе отклонителем СО колеблется в пределах 0,84—0,88. Сравнение погрешности набора кривизны при работе разными отклонителями можно привести по материалам проведенных в 1978 г. приемочных испытаний отклонителя ТЗ-3-59 (табл. 19).

Таблица 19

| Отклонитель | Показатели | | | | | |
|-------------|-----------------|---------------|-----------------------|-----------------|---------------|-----------------------|
| | Число циклов | | | K_c | | |
| | Гагаринская ГРП | Зырянская ГРЭ | Северобайкальская ГРЭ | Гагаринская ГРП | Зырянская ГРЭ | Северобайкальская ГРЭ |
| СО-59 | — | — | 8 | — | — | 0,59 |
| СНБ-КО-59 | 35 | — | — | 0,5 | — | — |
| СНБ-57 | — | 36 | — | — | 0,57 | — |
| ТЗ-3-59 | 35 | 64 | 21 | 0,79 | 0,75 | 0,80 |

Приведенные данные показывают, что клиновые отклонители обладают несколько меньшим показателем стабильности искривлений по сравнению с отклонителем непрерывного действия типа ТЗ.

Достаточно большой опыт направленного бурения в различных производственных организациях страны с использованием разных технических средств и технологии подтверждает актуальность исследований по повышению точности работ при направленном бурении.

§ 2. ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ПОГРЕШНОСТИ ОРИЕНТАЦИИ ИСКРИВЛЕНИЯ И МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Анализ последовательности технологических, измерительных и аналитических операций при выполнении цикла искривления позволяет выделить совокупность факторов, прямо или косвенно

влияющих на погрешность ориентации искривления:
 погрешность первоначальной инклинометрии;
 погрешность расчетных работ при определении расчетного угла установки;
 погрешность ориентирования на поверхности;
 погрешность ориентирования в скважине;
 технологические ошибки и погрешности работы отклонителя;
 погрешности второй инклинометрии;
 погрешности расчетных работ при определении фактического угла установки.

Кроме того, среди специалистов производственных организаций существуют довольно распространенные мнения, что точность ориентации искривления с увеличением глубины скважины снижается и наиболее точно осуществляется выколаживание скважин, а при одновременном изменении азимута и зенитного угла точность искривления ниже. Все эти вопросы нуждаются в более детальном рассмотрении.

Погрешности инклинометрии носят систематический и случайный характер в зависимости от технического состояния аппаратуры, качества настройки, точности измерения прибора и технологии выполнения работ. Результаты инклинометрии являются основой для расчета параметров искривления и оценки результативности работ, поэтому к уровню точности измерений инклинометром интервала искривления предъявляются повышенные требования.

Как известно, у существующих инклинометров погрешность измерения зенитного угла составляет $\pm 0,5^\circ$ и азимута $\pm 5^\circ$. Причем при зенитных углах, близких к 0° , погрешности возрастают. Влияние погрешности инклинометра на определение угла установки отклонителя можно определить дифференцированием уравнения угла установки по независимым переменным $d\theta$ и $d\alpha$ [4]

$$\omega = \operatorname{arctg} \frac{\theta_2 \sin \alpha}{\theta_2 \cos \alpha - \theta_1}, \quad (64)$$

где ω — угол установки отклонителя; θ_1 и θ_2 — зенитный угол скважины до и после цикла искривления; α — изменение азимута за цикл искривления, градус;

После дифференцирования и проведения математических преобразований формула для определения погрешности угла установки $\Delta\omega$ в зависимости от погрешности инклинометрии примет вид

$$\Delta\omega = 57,3 \left| \frac{(\theta_1 + \theta_2) \sin \alpha}{\gamma^2} \right| \Delta\theta + \left| \frac{\theta_2 (\theta_2 - \theta_1 \cos \alpha)}{\delta} \right| \Delta\alpha, \quad (65)$$

где δ — полный угол искривления; $\Delta\theta$ — погрешность измерения зенитного угла; $\Delta\alpha$ — погрешность измерения азимута.

Анализ формулы (65) показывает, что погрешности определения угла установки отклонителя в зависимости от точности инклинометров могут достигать 40° и более.

Например, при исходных данных $\theta_1 = 3^\circ$, $\theta_2 = 6^\circ$, $\alpha = 20^\circ$

$\delta = 3,4^\circ$ и точности инклинометра по зенитному углу $\pm 0,5^\circ$ и азимута $\pm 5^\circ$ погрешность искривления угла установки может составить 35° .

И. Н. Страбыкин, исследуя влияние погрешностей инклинометрии, справедливо указывает на возможные случаи снижения точности инклинометрии вследствие несоответствия положения осей прибора и скважины в местах резкого искривления. Возможность этого несоответствия особенно возрастает при удлинении инклинометра утяжелителем.

Кроме того, при использовании удлиненного инклинометра происходит своеобразное «растягивание» интервала искривления по инклинограмме.

Среди других причин снижения точности инклинометрии следует отметить несовпадение показаний разных инклинометров в одной точке, отсутствие регулярной метрологической поверки, недостаточный контроль за направлением скважин, отсутствие детальных замеров в интервале искривления и т. п., что относится к организационной стороне инклинометрической службы.

Погрешность расчетных работ зависит от принятого метода определения угловых параметров — полного угла искривления и угла установки отклонителя в зависимости от требуемого изменения зенитного и азимутального углов.

Как известно, существуют графоаналитический и аналитический методы определения параметров. Графоаналитический метод широко используют при расчетах искривления в нефтяном бурении. В разведочном бурении этот метод применяли при расчетах искривления скважин клиньями, и позднее он был успешно применен при работе отклонителями непрерывного действия [9]. Теоретические исследования подтвердили обоснованность метода [4]. Метод отличается простотой и достаточной точностью, которую определяет точность выполнения графических работ. Вычерчивание диаграммы в масштабе $1 \text{ см} = 1^\circ$ позволяет обеспечить величину погрешности не более $\pm 2^\circ$ по углу установки.

Аналитический метод основан на использовании ряда известных формул, работа с которыми осложняется громоздкими расчетами и, как показывает проведенное сравнение, этот метод не превышает точности графоаналитического метода.

Погрешности ориентирования на поверхности носят случайный характер и возникают при фиксировании взаимного положения плоскости действия отклонителя и контрольной метки ориентатора. При использовании угломерных приборов типа ПУ-2 или прибора настройки конструкции КазИМСа погрешность не превышает $\pm 2^\circ$ по углу установки. На практике операцию взаимной установки отклонителя с ориентатором в большинстве случаев осуществляют на глаз, пренебрегая угломерными приборами.

Для определения погрешности глазомерной установки в ЗабНИИ был проведен эксперимент, в котором в качестве исполни-

телей участвовали два буровых мастера высокой квалификации, имеющие многолетний опыт направленного бурения. Каждый исполнитель по команде руководителя эксперимента устанавливал визуально заданный угол установки отклонителя относительно воображаемой апсидальной плоскости, после чего руководитель измерял угломерным прибором установленный угол, не сообщая результат исполнителю.

По результатам эксперимента построен график распределения величины погрешности при установке отклонителя на различный угол (рис. 35), который показывает, что наиболее точно

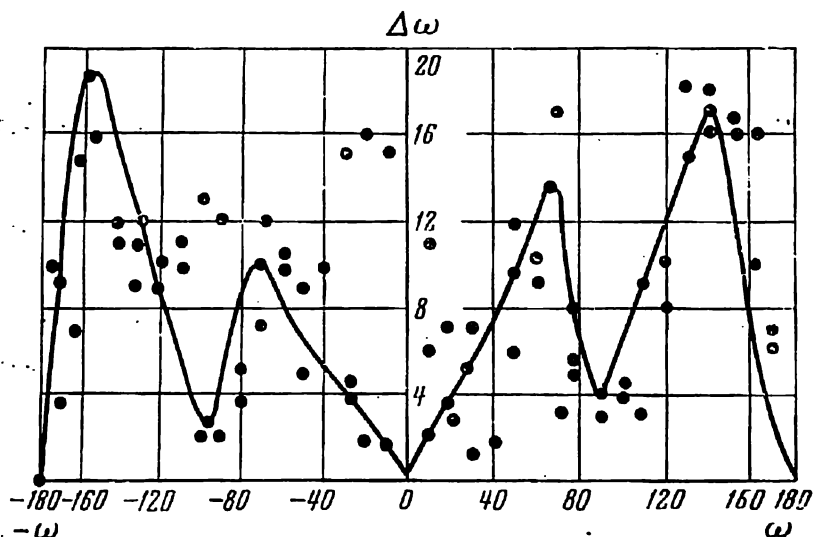


Рис. 35. График распределения величины погрешности глазомерной настройки при ориентировании отклонителя на поверхности.

исполнители устанавливают угол в диапазонах 0—30, 80—100, 170—180°, т. е. чем ближе к выполаживанию, выкручиванию или изменению азимута без изменения зенитных углов, тем точнее угол установки. В остальных случаях погрешность глазомерной установки достигала 10—15°.

Погрешности ориентирования в скважине обусловлены конструктивными возможностями ориентаторов и в значительной степени зависят от технического состояния приборов и опыта исполнителей. Наиболее низкой погрешностью, около $\pm 5^\circ$, обладает ориентатор «Курс». При отсутствии периодической проверки, своевременной профилактики ориентирующих приборов погрешность ориентирования в скважине возрастает. Например, при внедрении отклонителей типа ТЗ в Норильской ГРЭ в 1973 г. на протяжении двух месяцев наблюдалось снижение показателя точности до 0,43 и 0,35. Проверка точности работы пяти ориентаторов УШО-1 показала, что четыре из них вследствие неудовлетворительного технического состояния имели погрешность ориентирования до 40°, а один — до 60°, так как была нарушена регулировка подвижных элементов в датчике. После ремонта ори-

ентатора показатели точности искривлений заметно повысились.

Аналогичные случаи наблюдались при направленном бурении в Гагаринской, Заречной и Пельменевской ГРП.

Погрешность ориентирования возможна вследствие люфта датчиков УШО-1 и «Курс» на ноже-ловителе, обусловленного несоответствием размеров ножа и паза на датчике, а также при преждевременной остановке спускаемого датчика вследствие застревания его около ножа-ловителя в произвольном положении. Для снижения погрешности ориентирования специалисты Мурманской ГРЭ проводят контрольное повторное ориентирование разными приборами, что увеличивает непроизводительные затраты времени, но окупается более высоким качеством работ.

Технологические причины нарушения ориентации могут проявляться как случайные явления при посадке отклонителя на забой и непосредственно при его работе. Например, при искривлении отклонителем ТЗ-3 нарушение правил перекрепления может привести к его дезориентации. При работе отклонителем СНБ-КО случаи дезориентации наблюдаются, если на забое оставлен керн. Вследствие этого ложок клина не закрепляется в скважине, и направление искривления оказывается случайным. Кроме того, дезориентация искривления возможна при работе шарнирной компоновки в анизотропных породах [18].

Одной из причин снижения точности ориентирования отклонителей любого вида является действие остаточного крутящего усилия на колонне бурильных труб, создаваемое при повороте снаряда в процессе ориентирования и проявляющееся непосредственно при установке отклонителя на забой. Проявление этого фактора в полной мере следует ожидать при большой глубине скважин.

Погрешности работы отклонителя могут носить случайный и систематический характер в зависимости от конструктивных особенностей отклонителей. Выражаются они в постепенном или скачкообразном угловом смещении отклоняющего элемента снаряда в процессе их работы, что приводит к хаотическому искривлению скважины. Вероятность появления этих погрешностей определяется работоспособностью отклонителей.

Из практики применения клиновых отклонителей известно, что зачастую отбуривание от клина сопровождается срезанием правого борта отклоняющего желоба особенно в крепких породах, при этом погрешность может достигнуть 30° по углу установки.

Систематические погрешности при работе ОНД являются следствием плохой стабилизации корпуса за счет конструкторской недоработки стабилизирующего узла, низкого качества изготовления или неудовлетворительного технического состояния отклонителя. При этом происходит постепенное смещение корпуса вправо с нарастанием погрешности по углу установки. При больших смещениях наблюдается винтовое перемещение корпуса и инклинометр не фиксирует искривления. Отклонитель ТЗ-3-76

выпускается с максимально допустимым моментом сил трения между ротором и статором, равным 0,5 кгм, так как при значении момента более 1 кг·м начинается угловое смещение статора.

Среди специалистов направленного бурения бытует мнение, что осуществить выполаживание скважины значительно легче, чем изменить азимут или уменьшить зенитный угол, т. е. результат искривления зависит от расчетного угла установки. На наш взгляд, это утверждение требует экспериментальной проверки.

Проведенный анализ причин снижения точности ориентации искривлений показывает, что сложение максимальных значений погрешностей, сопровождающих выполнение цикла искривления, может привести к полной дезориентации отклонителя. Однако погрешности в основном носят случайный характер и имеют различные знаки, поэтому экстремальные случаи имеют небольшую частоту.

Опыт направленного бурения передовых организаций показывает, что при хорошей организации работ причины снижения точности искусственного искривления можно свести до минимального значения. Для этого можно рекомендовать следующие мероприятия.

1. Периодическая проверка технического состояния и настройки инклинометров, проведение контрольных замеров различными приборами.

2. Тщательная подготовка скважины к проведению специальных работ.

3. Детальная инклинометрия (через 0,5 м) интервала искривления (по возможности без утяжелителя инклинометра с контрольными замерами при подъеме и спуске прибора).

4. Выполнение расчетных работ графоаналитическим способом с вычерчиванием диаграмм в масштабе 1 см = 1°.

5. Использование угломерных приборов при настройке системы отклонитель — ориентатор.

6. Периодическая проверка технического состояния ориентаторов с использованием установочного стола УСИ-2 или специальных стенов.

7. Проверка соответствия размеров установочного паза в датчике ориентатора и ловильного ножа в снаряде, устранение излишнего люфта.

8. Повторное контрольное ориентирование другим прибором в особо ответственных случаях искривления.

9. Тщательный контроль за процессом ориентирования и посадкой отклонителя на забой.

10. Расхаживание снаряда при ориентировании для снятия остаточных крутящих усилий в колонне бурильных труб.

11. Своевременный профилактический контроль за техническим состоянием отклонителей, периодические замеры момента сил трения в отклонителях типа ТЗ и при превышении паспорт-

ных величин — снятие с эксплуатации до устранения неисправностей.

12. Использование контрольно-измерительной аппаратуры и повышение контроля за соблюдением рекомендованного режима бурения.

13. Изучение местных горнотехнических условий (состояние пород, скважины, отклонителя и т. п.) и внесение поправки в расчеты при выявлении систематической погрешности вследствие поворота корпуса ОНД в определенных интервалах пород.

§ 3. ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ПОГРЕШНОСТИ НАБОРА КРИВИЗНЫ И МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Погрешности инклинометрии проявляются при определении величины полного угла искривления в расчете полученной интенсивности. Например, при определении полного угла искривления погрешности инклинометрии могут привести к относительной погрешности определения полного угла, равной 27% при $\delta = 10^\circ$ и 48% при $\delta = 5^\circ$, что соответствует $K_c = 0,63$ и $0,52$ [21].

Изменение работоспособности породоразрушающего инструмента, в частности шарошечных долот, используемых в основном при искусственном искривлении. В зависимости от абразивности и прочности пород долота быстро «теряют» наружный диаметр, что отражается на способности фрезеровать и подрабатывать боковую стенку ствола скважины. В итоге это приводит к снижению интенсивности искривления.

Для уменьшения погрешности необходимы специальные долота, имеющие различное усиленное боковое вооружение в зависимости от вида пород, т. е. необходим комплекс специальных долот.

Погрешности в определении диаметра скважины, изменение разработанности стенок скважин или недостаточные представления о характере и величине разработанности отражаются на вписываемости жесткой базы отклонителей и различных специальных компоновок для набора кривизны. Например, при погрешности определения диаметра скважины $\pm 0,5$ мм относительная погрешность набора кривизны для отклонителей СО достигает 26—35%, для отклонителей СНБ-КО — 2—25%, для отклонителя типа ТЗ — $\pm 25\%$.

Погрешности в технологии изготовления отклонителей и в частности отклоняющих узлов. Например, угол скоса клина в клиновых отклонителях зачастую выполняют с большими угловыми погрешностями. Чрезмерно свободные допуски, износ и люфт в узлах ОНД делают непостоянным перекося основных деталей.

Изменение базовых или других размеров в узлах отклонителя при эксплуатации и износе. Например, после нескольких отбуриваний изменяется угол скоса ложка клина. При эксплуата-

ции ОНД в абразивных породах иногда на 0,5—1 мм уменьшаются радиальные размеры в местах контакта корпуса со стенками скважины, что, безусловно, сказывается на получаемой интенсивности искривления.

Погрешности расчетных работ, которые могут возникнуть при недостаточно полном учете факторов, влияющих на темп набора кривизны, при неправильно выбранных параметрах компоновки и т. п.

Изменение характера естественного искривления или отсутствие четких данных о его закономерностях. Особенно уязвимы в этом аспекте различные специальные шарнирные компоновки снаряда.

Ошибки технологического характера, возникающие при несовершенстве технологии искривления или нарушении рекомендуемой технологии на начальном этапе ее разработки в специфических местных условиях.

Анализ причин погрешности набора кривизны показывает, что здесь, как и в случае анализа точности ориентации искривления, большую роль играют погрешности инклинометрии. Кроме этого влияют погрешности кавернометрии и ряд других факторов, связанных с работоспособностью породоразрушающего инструмента и непосредственно отклонителя. Для повышения стабильности набора кривизны можно рекомендовать следующие основные мероприятия и методы (с учетом ранее изложенных).

1. Тщательный подбор породоразрушающего инструмента в зависимости от вида и состояния породы, установление основных показателей работоспособности этого инструмента в данных породах и учет их при проектировании искусственного искривления; использование шарошечно-алмазных долот, обеспечивающих более стабильный набор кривизны по сравнению с шарошечными при работе в абразивных породах.

2. Изучение разработанности стенок скважин на интервалах, где приходится осуществлять искусственное искривление, и учет установленных закономерностей при проектировании работ.

3. Совершенствование технологии искривления с учетом специфики местных условий, тщательный контроль за соблюдением режимов технологии, изучение аномальных случаев и корректирование ее при изменении условий бурения.

4. Контроль за качеством изготовления отклонителей, их техническим состоянием, своевременное устранение неисправностей.

5. Учет особенностей естественного искривления при проектировании работ.

6. Установление закономерностей набора кривизны применительно к специфичным местным условиям (виды пород, интервалы глубины, виды отклонителей и т. п.) и их учет при проектировании.

§ 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТОЧНОСТЬ ИСКРИВЛЕНИЯ

Влияние гидравлического подпора под долотом. Одной из причин дезориентации отклонителя, производящего искривление скважины без потери диаметра, в момент дохождения и установки на забой может быть усилие, которое является результатом подпора потока жидкости под долотом. При эксплуатации отклонителя особенно в крепких породах неоднократно наблюдались случаи резкого повышения гидравлического давления в нагнетательной магистрали в момент установки снаряда на забой. Это давление, действуя на подвешенный над забоем отклонитель как на поршень, может создать усилия, способствующие разблокированию и дезориентации снаряда.

| | | | | | | | |
|--|------|------|-------|-------|-------|------|-------|
| Давление в насосе, кгс/см ² | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| Расход жидкости, л/мин | 50 | 90 | 125 | 150 | 170 | 185 | 195 |
| Гидравлическое давление под долотом, кгс/см ² | 1,3 | 3,0 | 5,9 | 8,0 | 10,2 | 13,0 | 16,3 |
| Выталкивающее усилие, кгс | 29,9 | 69,0 | 135,7 | 184,0 | 234,6 | 299 | 374,9 |

Для предварительной оценки выталкивающего усилия были проведены расчеты гидравлического подпора под торцом отклонителя диаметром 57 мм в трубе диаметром 60,5 мм при различной производительности насоса. Выше приведены результаты расчетов, проведенных по известным методикам.

Эти расчеты подтвердились при экспериментальных исследованиях с отклонителем без долота и с различными долотами. На рис. 36 приведена схема стенда для исследования гидравлического подпора под отклонителем.

Отклонитель 1 с долотом 6 размещали в трубе 2 и подвешивали через динамометр 3. Под отклонителем был установлен манометр 4 для замера гидравлического подпора. Через промывочный сальник 5 прокачивали воду насосом, изменяя его производительность, которая замерялась расходомером ЭМР-2. Исследования проводили с отклонителем ТЗ-3-59 в трубах с внутренним диаметром 58,5, 60,5 и 62,5 мм, т. е. зазор по диаметру составлял 1,5; 3,5 и 5,5 мм, имитируя различную разработанность скважины (табл. 20).

Выталкивающее усилие замерялось динамометром. Ниже приведены результаты замера усилия под долотом отклонителя ТЗ-3-59.

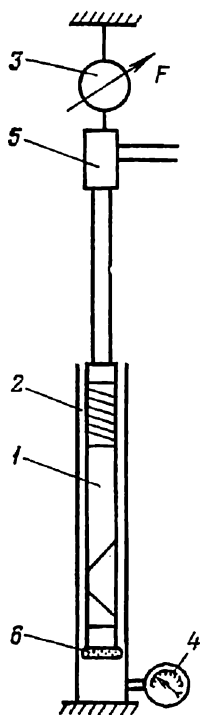


Рис. 36. Схема стенда для исследования гидравлического подпора под отклонителем

Таблица 20

| Показатели | Зазор по диаметру, мм | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1,5 | | | | 3,5 | | | | 5,5 | | | |
| Давление в насосе, кгс/см ² | 10 | 20 | 30 | 40 | 10 | 20 | 30 | 40 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| Расход жидкости, л/мин | 40 | 50 | 75 | — | 150 | 200 | 280 | 300 | 140 | 220 | 260 | 300 |
| Выталкивающее усилие под углом отклонителя, кгс | 90 | 150 | 300 | — | 50 | 100 | 180 | 250 | 15 | 40 | 50 | 70 |

В табл. 21 приведены результаты экспериментов с отклонителем ТЗ-3-59 с долотом при зазоре по диаметру 3,5 мм.

Таблица 21

| Показатели | Долото | | | | | | | |
|--|------------------|-----|-----|-----|--------------|-----|-----|-----|
| | шарошечное Ш-59К | | | | алмазное АДН | | | |
| Давление в насосе, кгс/см ² | 10 | 20 | 30 | 35 | 10 | 20 | 30 | 35 |
| Расход жидкости, л/мин | 90 | 150 | 185 | 195 | 75 | 125 | 150 | 165 |
| Гидравлическое давление под долотом, кгс/см ² | 2,2 | 5,0 | 7,5 | 9,0 | 2,2 | 5,0 | 7,5 | 9 |
| Выталкивающее усилие под долотом отклонителя, кгс | 55 | 120 | 180 | 210 | 55 | 130 | 180 | 210 |

Анализ результатов показывает, что при интенсивном прокачивании жидкости под отклонителем возникает выталкивающее усилие, значительно превышающее его массу. Учитывая, что большинство известных ОНД содержат в составе ротора шлицевой узел, который смыкается при установке отклонителя на забой и вызывает включение распорно-закрепляющего и отклоняющего узлов, следует избегать повышения гидравлического давления при ориентировании, дохождении и посадке отклонителя на забой, так как это явление может вызвать дезориентацию снаряда.

Влияние глубины искривления. Ю. Т. Морозов в работе [16] отмечает, что при глубинах более 1000 м трудно обеспечить искусственное искривление скважин в требуемом направлении. Этой точки зрения придерживаются многие специалисты производственных организаций.

Для проверки этого вывода проанализированы материалы внедрения отклонителей ТЗ-3-76 в трех производственных организациях, несколько отличающихся общим уровнем организации

работ при направленном бурении. Мурманская и Норильская ГРЭ выполняют большие объемы искусственных искривлений на значительной глубине, имеют опытных специалистов, отлаженную организацию труда и материально-техническое снабжение. Ориентирование отклонителей здесь осуществляют приборами УШО-1, «Курс», «Луч». В Аргунской ГРП работы по направленному бурению только начаты, ориентирование на глубине до 300 м производят ориентатором ШОК-1, а ниже — «Курсом». С помощью ЭВМ обработаны материалы по 586 циклам в Норильской, 150 — в Мурманской ГРЭ и 105 — в Аргунской ГРП. Полученные зависимости представлены на рис. 37. Анализ графиков показывает, что точность искривлений с увеличением глу-

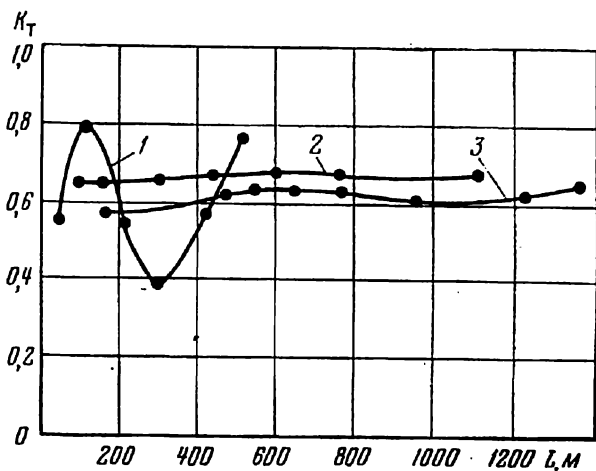


Рис. 37. Графики зависимости точности ориентации от глубины искривлений:
1 — Аргунская ГРП; 2 — Норильская ГРЭ; 3 — Мурманская ГРЭ

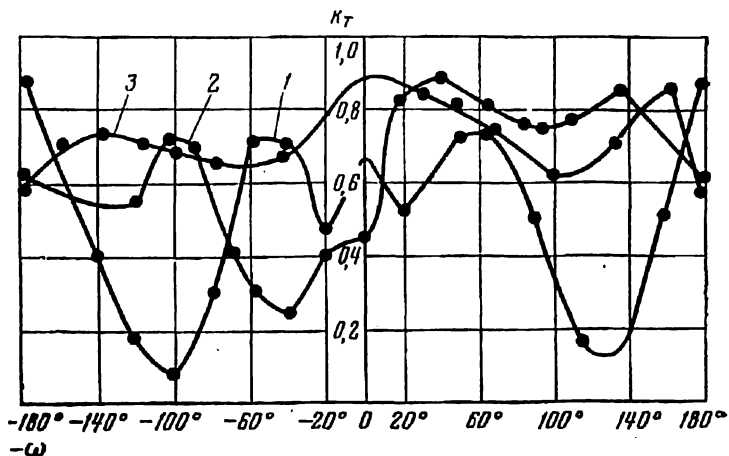


Рис. 38. Графики зависимости точности ориентации искривлений от угла установки:
1 — Гагаринская ГРП; 2 — Аргунская ГРП; 3 — Мурманская ГРЭ

бины в Норильской и Мурманской ГРЭ не меняется. Сложный характер зависимости в Аргунской ГРП свидетельствует о недостаточной отработанности технологии и уровня организации работ.

Влияние величины угла установки. Для проверки влияния угла установки отклонителя на результат работ был проведен анализ точности искусственных искривлений при эксплуатации отклонителя ТЗ-3-76 в некоторых организациях страны, материалы были обработаны на ЭВМ и по полученным уравнениям построены графики (рис. 38).

В Гагаринской ГРП наиболее высокая точность искривления достигается в пределах угла установки от 0 до $\pm 70^\circ$ и от 140 до 180° ; в Аргунской ГРП при направлении искривления вправо от 20 до 60° и от 120 до 160° , а при искривлении влево от 80 до 120° и от 160 до 180° ; в Мурманской ГРЭ от 0 $\pm 20^\circ$ и от 120 до 160° .

Характер графиков, полученных при обработке материалов эксплуатационных испытаний, в большинстве случаев идентичен графикам, полученным при глазомерной установке. Это позволяет предполагать, что точность ориентации искривления не зависит от величины угла установки, т. е. отклонители ТЗ-3 с неизменной точностью обеспечивают искривление на выполаживание, на выкручивание и при одновременном изменении зенитного и азимутальных углов.

§ 5. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИСКРИВЛЕНИЯ

При оценке перспективных направлений исследований и методов повышения точности работ при искусственном искривлении скважин следует остановиться на следующих.

1. Разработка инклинометров более высокого класса точности. Актуальность этой проблемы отмечается многими исследователями.

2. Разработка новых систем ориентирования, позволяющих до минимума сократить влияние случайных и субъективных факторов, т. е. необходимы автоматизированные системы ориентирования, основанные, например, на принципе самоустановки с помощью эксцентричного груза или гироскопического эффекта.

3. Совершенствование конструкции отклонителей с целью повышения точности работы, снижения их уязвимости от действия изменяющихся горнотехнических условий бурения; оснащение их индикаторами изменения зенитного и азимутального углов; создание отклонителей, управляемых с поверхности.

4. Создание нормального ряда специализированного комплекса породоразрушающего инструмента для производства искусственных искривлений с учетом особенностей технологии этого вида работ. Необходимы долота с усиленным боковым вооружением из твердого сплава или алмазов, позволяющие осуществлять 10—15-метровый рейс.

5. Разработка приборов для оперативной кавернометрии, повышение точности кавернометрии.

6. Повышение общего уровня организации работ и технологии направленного бурения, предусматривающее внедрение современных методов, учет и анализ результатов работ, внесение соответствующих коррективов при изменении условий, повышение квалификации кадров и т. п.

В целом увеличение точности искусственного искривления является реальным резервом для повышения общей эффективности и качества работ при направленном бурении.

Глава IX

ОРИЕНТИРОВАНИЕ ОТКЛОНИТЕЛЕЙ, РАЗРАБОТКА НОВЫХ СРЕДСТВ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Ориентирование отклонителя, т. е. установка его в скважине в требуемом расчетном направлении пространства, является одной из ответственных операций в цикле работ при искусственном искривлении.

В настоящее время наибольшее применение в практике бурения находят методы косвенного ориентирования, когда с помощью опускаемых забойных приборов при медленном повороте всей колонны получают сигнал о том, что отклонитель занял в скважине расчетное положение в пространстве — то положение, которое перед спуском было задано в виде угла установки.

Эти методы реализуются с помощью известных механических ориентаторов типа ШОК-1 конструкции Ю. М. Тетерина, электрических УШО-1 конструкции КазИМСа, «Курс» и «Луч» разработки ВИТРа и СТ-1, созданный ИМРом. Эти приборы достаточно широко известны в литературе, поэтому ограничимся областью их применения и кратким анализом достоинств и недостатков.

Электрические ориентаторы разработаны на хорошем техническом уровне, достаточно надежны и имеют удовлетворительное аппаратное оформление. Они успешно работают при зенитном угле от 3 до 40° в скважинах глубиной до 2000 м. К их недостаткам можно отнести: сложность и громоздкость аппаратуры; необходимость специальной лебедки, провода, пульта управления; необходимость высококвалифицированного обслуживания; возможность искажения электрических сигналов и соответственно показаний на пульте вследствие незначительного нарушения изоляции провода или влияния электропроводности промысловой жидкости.

Механические ориентаторы ШОК-1 рационально использовать до глубины 400—500 м. Достоинством этих ориентаторов является простота конструкции, возможность быстрого изготовления в малооснащенной мастерской, небольшая стоимость. Недостатки обусловлены использованием лебедки с проводом, что препятствует их применению на больших глубинах.

Общим недостатком ориентаторов с опускаемым штыревым датчиком является снижение скорости спуска по колонне, заполненной вязким глинистым раствором.

Кроме того, работа с этими ориентаторами требует больших

затрат времени. На рис. 39 приведены графики зависимости затрат времени на операцию ориентирования от глубины скважины при эксплуатации различных ориентаторов в ряде производственных организаций страны, полученные после обработки дан-

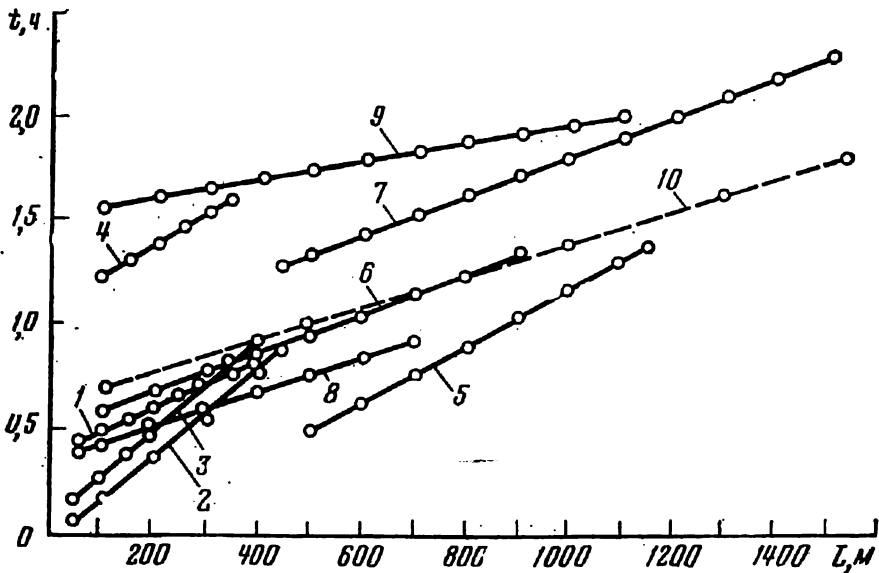


Рис. 39. Графики зависимости времени ориентирования от глубины при работе различными ориентаторами:

1 — Штокверковая ГРП (ШОК-1); 2 — Алексеевская ГРП (ШОК-2); 3 — Аргунская ГРП (ШОК-1); 4 — Печенгская ГРП (ШОК-1); 5 — Североуральская ГРЭ (УШО-1); 6 — Гагаринская ГРП («Курс»); 7 — Норильская ГРЭ (УШО-1); 8 — Аргунская ГРП («Курс»); 9 — Печенгская ГРП (УШО-1); 10 — общая закономерность

ных на ЭВМ. График 10 показывает общую для всех обработанных данных зависимость затрат времени на ориентирование от глубины. В среднем на ориентирование затрачивается 15—20% времени от общих затрат на цикл искривления.

В связи с этим необходимы исследования по созданию новых методов и средств ориентирования, позволяющих сократить затраты времени.

§ 2. КРАТКИЙ ОБЗОР САМООРИЕНТИРУЮЩИХСЯ УСТРОЙСТВ ДЛЯ НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

Самоориентация, т. е. использование эффекта самоустановки эксцентричного груза в определенном положении относительно плоскости тяжести, привлекает к себе внимание исследователей своей перспективностью. Появляется возможность упростить многооперационный процесс ориентирования, сократить влияние ряда субъективных факторов на точность работ, отказаться от использования лебедки, пульта, провода и других вспомогательных приспособлений, необходимых при существующих методах ориентирования, расширить область применения в условиях вяз-

кого глинистого раствора, а также при различных зенитных углах. Кроме того, весьма важным достоинством является возможность значительно сократить затраты времени на ориентирование.

Способ самоориентирования известен достаточно давно. Буровики Бaleyской и Дарасунской ГРЭ на месторождениях Забайкалья в 30-х годах практиковали свободное сбрасывание отклоняющего клина в скважину при необходимости увеличения ее зенитного угла. Так, в работах В. В. Щитихина описан клиновой отклонитель со свободной подшипниковой подвеской на бурильной колонне. В Северо-Западном геологическом управлении использовали самоориентирующий клин, содержащий эксцентричный утяжелитель. Э. Н. Карповский описывает две конструкции клинового отклонителя, самоориентирование которого осуществлялось с помощью эксцентричного груза с подшипниковой подвеской, и приводит некоторые данные о результатах его применения в Таджикистане: погрешность ориентирования составила 4—6° при зенитном угле 10—23°. А. Г. Калинин и М. П. Олексенко предложен самоориентирующийся клиновой отклонитель УНБ-6, содержащий подшипниковую свободную подвеску устройства, эксцентричный груз, размещенный внутри трубчатого корпуса и связанный через узел градуированной установки с отклоняющим клином. Предполагаемая погрешность ориентирования $\pm 6^\circ$. В Томском политехническом институте разработан отклонитель ДД-1-ТПИ в котором эксцентричный груз закреплен на стенке трубчатого корпуса и совместно с отклоняющим органом может свободно вращаться на колонне бурильных труб через опорный подшипник.

Известны попытки создать самоориентирующий отклонитель непрерывного действия. В частности, Б. Ф. Сафоновым предложена конструкция ОНД, в котором для обеспечения самоориентации распорно-отклоняющего узла на валу через подшипники установлен эксцентричный груз.

Несколько интересных конструкций самоориентирующихся отклонителей были предложены В. А. Ярошенко и Е. А. Семергеевой. Способ самоориентирования применен в одной из модификаций отклоняющего снаряда БСНБ М. П. Олексенко. Здесь эксцентричный груз размещен подвижно внутри корпуса и установлен на валу с помощью радиальных подшипников. Следует заметить, что в литературе почти не встречаются сведения о результатах производственных испытаний и применения самоориентирующихся отклонителей, что свидетельствует о малой изученности этого перспективного направления.

§ 3. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА СИСТЕМЫ САМООРИЕНТИРОВАНИЯ

Одним из основных условий надежности самоориентирования отклонителя является необходимость сохранения концентрично-

сти массы отклоняющего узла. В связи с этим самоориентирующиеся клина, являющегося телом с эксцентричной массой, надежно лишь при выполаживании скважины, когда направление действия сил тяжести собственного клина совпадает или близко к апсидальной плоскости скважины. Чтобы установить клин в других направлениях, например, для выкручивания или изменения азимута скважины, необходимо устанавливать ориентирующий груз с массой, значительно превышающей массу клина и компенсирующей эксцентричность клина, что трудно осуществить особенно для скважины малого диаметра. Это ранее отмечалось С. С. Сулакшиным.

Бесклиновые отклонители, к которым относятся ОНД, могут быть выполнены с незначительной эксцентричностью массы, что повышает возможность создания надежного самоориентирующегося отклонителя.

Анализируя известные самоориентирующиеся устройства, можно выделить три основные кинематические схемы, различающиеся взаимосвязью эксцентричного груза с отклоняющим органом, с колонной бурильных труб и стенками скважины (рис. 40).

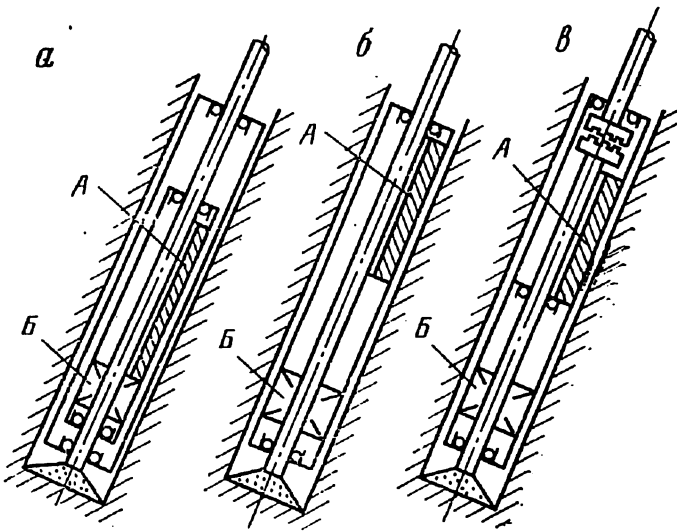


Рис. 40. Основные кинематические схемы самоориентирующихся устройств

На первой схеме (рис. 40,а) дебаланс *A* непосредственно связан с отклоняющим органом *Б*. Вся система *A+Б* установлена на радиальных опорах и изолирована от трения о стенки скважины. При работе дебаланс вместе с отклоняющим органом поворачивается вокруг вала, преодолевая трение в подшипниках и уплотнениях, а корпус всего устройства остается неподвижным. Прототипом такой схемы является отклонитель БСНБ-АС.

На второй схеме (рис. 40,б) дебаланс A через корпус устройства связан с отклоняющим органом B . Система $A+B$ установлена на радиальных опорах и соприкасается со стенками скважины. При работе эксцентричный груз вместе с отклоняющим органом поворачивается вокруг вала, преодолевая трение в опорах, уплотнениях и в контакте корпуса отклонителя со стенкой скважины. При этом можно использовать расхаживание снаряда, что повышает эффективность самоориентации.

На третьей схеме (рис. 40,в) дебаланс A через корпус связан с отклоняющим органом B . Вся система $A+B$ взаимодействует с бурильной колонной через свободную подвеску на опорном подшипнике и соприкасается со стенками скважины. При работе эксцентричный груз вместе с корпусом устройства, в том числе и с отклоняющим органом, поворачивается на подвеске вокруг оси, преодолевая трение в подвеске и трение корпуса о стенки скважины. Применяемое при этом расхаживание снаряда повышает эффект самоориентации.

При выборе оптимальной схемы основным критерием эффективности служит точность ориентирования, т. е. наиболее приемлемой является та схема устройства, при которой погрешность ориентирования близка к нулю. Рассмотрим взаимодействие усилий при работе дебаланса. Очевидно, для всех трех схем условие углового движения эксцентричного груза можно представить в виде

$$M_c \geq M_T, \quad (66)$$

где M_c — смещающий момент сил, создаваемый массой груза; M_T — тормозящий момент сил трения.

Смещающий момент сил от действия эксцентричного груза в наклонной скважине можно выразить формулой

$$M_c = P_r \sin \varphi \sin \theta l, \quad (67)$$

где P_r — вес дебаланса; φ — угол между плоскостью центра тяжести дебаланса и апсидальной плоскостью скважины; θ — зенитный угол скважины; l — расстояние от центра тяжести дебаланса до оси вращения (зависит от конфигурации сечения дебаланса).

Угол φ изменяется от 0 до 180°. Зависимость M_c от угла φ носит синусоидальный характер и при $\varphi = 90^\circ$ имеет наибольшее значение, т. е.

$$M_{c \max} = P_r \sin \theta l. \quad (68)$$

Выразив P_r из формулы (68) и подставив его в формулу (67), получим

$$M_c = M_{c \max} \sin \varphi. \quad (69)$$

Равенство M_T и M_c , очевидно, будет соответствовать началу движения дебаланса. При этом

$$M_T/M_c = 1. \quad (70)$$

С учетом формулы (69) выражение (70) можно представить в виде

$$M_T/M_{c \max} = \sin \varphi, \quad (71)$$

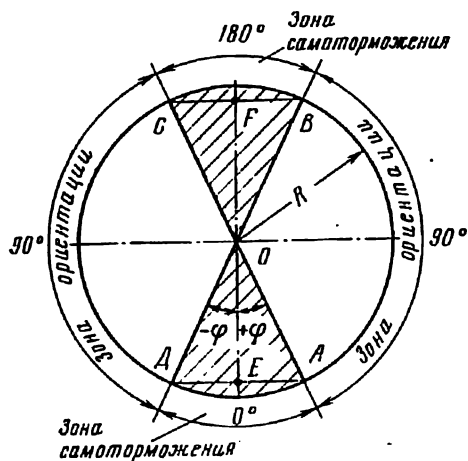


Рис. 41. Зоны движения и торможения дебаланса

из которого следует, чем меньше M_T и больше $M_{c \max}$, тем точнее самоустановка груза, однако $M_{c \max}$ и M_T имеют определенные пределы, при которых $\varphi > 0$.

На рис. 41 показаны зоны движения и торможения эксцентричного дебаланса при повороте его вокруг оси в плоскости, перпендикулярной к оси скважины. Радиус R в условном масштабе равен 1. Линия $0-180^\circ$ является следом апсидальной плоскости скважины.

При $M_c > M_T$ дебаланс поворачивается вокруг оси. На схеме сектора COF и AOE показаны как зоны ориентации, т. е. зоны активного действия дебаланса, при выходе из которых M_c уменьшается до M_T и движение затормаживается (зона самоторможения). Очевидно, угол φ , ограниченный зоной самоторможения и апсидальной плоскостью, характеризует погрешность ориентирования $\Delta \omega$, т. е.

$$\varphi = \Delta \omega. \quad (72)$$

Тогда выражение (71) примет вид

$$\Delta \omega = \arcsin M_T/M_{c \max}. \quad (73)$$

Рассмотрим погрешность ориентирования для выделенных кинематических схем самоориентирующихся устройств при их работе в наклонной скважине.

Во всех трех схемах поворот дебаланса осуществляется моментом сил

$$M_c = P_r \sin \theta l, \quad (74)$$

где P_r — дебаланс; θ — зенитный угол скважины; l — расстояние от оси прибора до центра тяжести дебаланса.

Повороту дебаланса и отклоняющего органа препятствует суммарный момент сил трения

$$M_T = M_y + M_{\text{п}} + M_{\text{ск}}, \quad (75)$$

где M_y — момент сил трения в уплотнениях; $M_{\text{п}}$ — момент сил трения в подшипниках; $M_{\text{ск}}$ — момент сил трения компоновки о стенку скважины.

Погрешность ориентирования для каждой из трех схем за-

висит от возникающего в них суммарного момента сил трения. *Схема 1.* Так как дебаланс и отклоняющий орган по этой схеме изолированы от стенок скважины, то $M_{ск} = 0$. Следовательно,

$$\Delta \omega = \arcsin (M_y + M_n) / M_c. \quad (76)$$

Схема 2. По этой схеме дебаланс касается стенок скважины, следовательно, показатель погрешности ориентирования

$$\Delta \omega = \arcsin (M_y + M_n + M_{ск}) / M_c. \quad (77)$$

В этом случае точность ориентирования по схеме 2 ниже, чем по схеме 1. Однако при использовании эффекта расхаживания $M_{ск} \rightarrow 0$, так как сила трения, ранее направленная против действия дебаланса и уравнивающая его, под действием приложенной осевой силы изменить свое направление на противоположное направлению движения и не будет препятствовать повороту дебаланса. Точность ориентирования возрастает, но не более чем по схеме 1.

Схема 3. В этой схеме дебаланс касается стенок скважины, но благодаря использованию свободной подвески вся система поворачивается на одном подшипнике. Следовательно, $M_y = 0$. При расхаживании $M_{ск} \rightarrow 0$, так же как в схеме 2. Показатель погрешности для данной схемы

$$\Delta \omega = \arcsin M_n / M_c. \quad (78)$$

Проведенный анализ основных кинематических схем самоориентирующихся устройств показал, что наибольшей точностью ориентирования обладает схема 3, так как для нее погрешность $\Delta \omega$, учитывая малость сил трения качения в подшипниках ($f = 0,001 - 0,002$), наиболее близка к нулю.

Следовательно, при проектировании самоориентирующихся устройств наиболее перспективной кинематической схемой является схема, предусматривающая связь компоновки с бурильной колонной через свободную подвеску на опорном подшипнике.

Величина смещающего момента сил M_c зависит от веса дебаланса и расстояния от его центра тяжести до геометрической оси устройства. Эти два параметра находятся в зависимости от конфигурации дебаланса. В известных самоориентирующихся устройствах дебаланс выполнен в виде сектора, сегмента или некоторой части кольца (рис. 42).

Проведенные расчеты показали, что наибольшим смещающим моментом обладает дебаланс, поперечное сечение которого выполнено в виде полукруга, поэтому исходя из особенностей конструирования устройства необходимо использовать дебаланс в виде полуцилиндра, максимально увеличивая его наружный диаметр и уменьшая внутренний, т. е. приближая к форме полукруга. При этом

$$M_c = F_k \gamma l a_k; \quad (97)$$

$$a_k = 0,66 (r^3 - r_1^3) \sin \varphi / F_k, \quad (80)$$

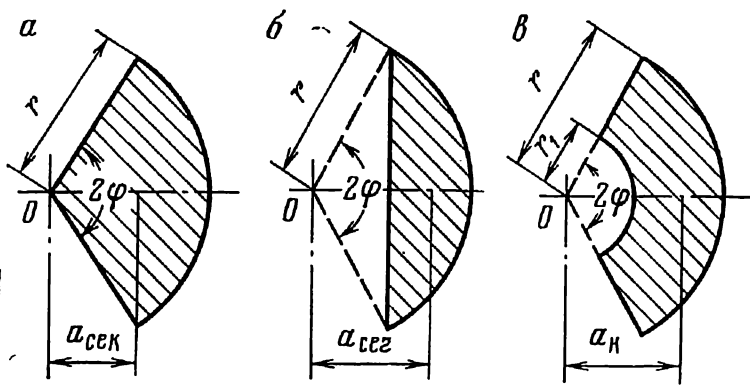


Рис. 42. Форма сечения дебаланса:
 а — сектор; б — сегмент; в — часть кольца

где F_k — площадь кольца; γ — удельный вес дебаланса; l — длина дебаланса; φ — центральный угол, ограничивающий площадь кольца; a_k — расстояние от центра тяжести части кольца до геометрической оси устройства.

Для расчета погрешности ориентирования системы отклонитель — ориентатор в скважине с зенитным углом θ рассмотрим схему действия сил на систему (рис. 43), представив ее в виде балки с опорами на долоте A и в опорном подшипнике свободной подвески B .

Центр тяжести системы, определенный практическим путем, расположен в точке O . Расстояние от опоры A до центра тяжести $l_1 = 1,7$ м, от опоры B до центра тяжести $l_2 = 2,1$ м.

Для определения нагрузок, действующих в опорном подшипнике узла подвески, определим реакции сил в опоре B . На рис. 43 P — вес системы; P_o , P_p — соответственно осевая и радиальная составляющие веса системы. Тогда

$$P_o = P \cos \theta; \quad (81)$$

$$P_p = P \sin \theta. \quad (82)$$

Соответственно реакции от действия этих составляющих

$$R_o = P_o = P \cos \theta; \quad (83)$$

$$R_p = P_p l_1 (l_1 + l_2) = P \sin \theta l_1 / (l_1 + l_2). \quad (84)$$

Результирующая реакция в опоре B

$$R = \sqrt{R_o^2 + R_p^2}. \quad (85)$$

Подставив формулы (83) и (84) в выражение (85), получим

$$R = P \sqrt{\sin^2 \theta [l_1 / (l_1 + l_2)]^2 + \cos^2 \theta}. \quad (86)$$

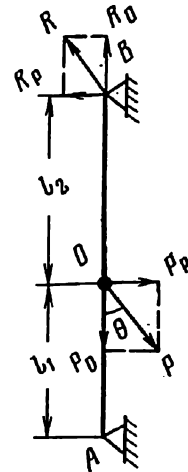


Рис. 43. Схема действия сил на систему отклонитель — ориентатор в скважине

Тогда момент сил трения в опорном подшипнике узла подвески определится по формуле

$$M_{\tau} = P \sqrt{\sin^2 \theta \left[\frac{l_1}{l_1 + l_2} \right]^2 + \cos^2 \theta} a_k f, \quad (87)$$

где f — коэффициент сил трения.

Момент сил смещения дебаланса

$$M_c = P_r \sin \theta b, \quad (88)$$

где b — плечо действия дебаланса.

На основании формул (87) и (88) можно записать

$$\Delta \omega = \arcsin \frac{P \sqrt{\sin^2 \theta \left(\frac{l_1}{l_1 + l_2} \right)^2 + \cos^2 \theta} a_k f}{P_r \sin \theta b}. \quad (89)$$

Погрешность ориентирования системы отклонитель — ориентатор показана на примере расчета при следующих параметрах: диаметр устройства 73 мм; вес дебаланса 10 кгс; длина отклонителя 2,1 м; плечо действия сил трения в подшипнике узла подвески 2,5 см; плечо действия дебаланса 2,3 см; коэффициент трения в подшипнике 0,001—0,002; длина ориентатора 1,7 м. В табл. 22 приведены результаты расчета.

Таблица 22

| Зенитный угол скважины, градус | Момент сил трения в подшипнике M_{τ} , кгс·см | Смещающий момент сил M_c , кгс·см | Погрешность ориентирования $\Delta \omega$, градус — мин |
|--------------------------------|--|-------------------------------------|---|
| 3 | 0,225 | 1,196 | 10—50 |
| 5 | 0,223 | 2,001 | 6—30 |
| 10 | 0,221 | 4,002 | 3—10 |
| 15 | 0,219 | 5,957 | 2—10 |
| 20 | 0,214 | 7,866 | 1—40 |
| 30 | 0,203 | 11,50 | 1—00 |
| 45 | 0,173 | 16,261 | 0—40 |

Анализ полученных данных показывает, что при малых зенитных углах расчетная погрешность ориентирования может достигнуть $\pm 10^\circ$ и при увеличении зенитного угла уменьшается до $\pm 1^\circ$. Если учесть, что погрешность ориентирования серийными ориентаторами (по данным ВИТРа) при зенитных углах 3, 6 и свыше 6° составляет соответственно ± 10 ; 7 и 5° , то можно признать, что точность ориентирования при использовании эффекта самоориентации будет не ниже существующего уровня.

§ 4. ЗАБОЙНЫЙ ОРИЕНТАТОР АЗОР-1

На принципе самоориентирования в ЗабНИИ разработан ориентатор АЗОР-1 в комплексе с отклонителем типа ТЗ.

Основными узлами ориентатора (рис. 44) являются узел установки, дебаланс и узел подвески. Узел установки, предназначенный для фиксированной взаимоподстройки или настройки отклонителя относительно действия дебаланса, состоит из переходника 1, зажимной гайки 2 и регулировочной втулки 3 и соединяется с верхней резьбой корпуса отклонителя. Дебаланс представлен свинцовым эксцентричным грузом 5, расположенным в трубе 4 с продольным вырезом. Вал 6 соединяет нижний переходник 7 узла подвески с валом отклонителя (на рис. 44 не показан). Узел подвески, предназначенный для передачи усилий на отклонитель, состоит из корпуса 8, подшипника 9, опорного валика 10 и верхнего переходника 11. На соприкасающихся торцах корпуса и переходника 11 выполнены кулачки. Валик 10 имеет скользящую посадку.

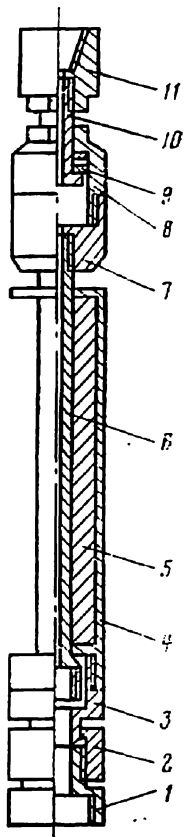


Рис. 44. Ориентатор АЗОР-1

После соединения с отклонителем типа ТЗ, для чего с него снимаются верхние переходники ротора и статора, производят настройку системы ориентатор АЗОР — отклонитель типа ТЗ в соответствии с расчетным углом установки, фиксируют зажимную гайку и производят спуск в скважину. При этом вся система свободно подвешена на подшипнике узла подвески и кулачки не взаимодействуют. Под действием дебаланса отклонитель стремится занять требуемый угол установки. Перед забоем скважины производится расхаживание снаряда, способствующее более точной ориентации. При установке отклонителя на забой и создании осевой нагрузки кулачки смыкаются и обеспечивают передачу крутящего усилия на ротор отклонителя. В процессе искривления можно произвести повторное ориентирование. Для этого останавливают вращение и производят расхаживание снаряда. При отрыве от забоя кулачки размыкаются и отклонитель может поворачиваться под действием дебаланса.

Первые испытания макетов ориентатора АЗОР-1 производились в Норильской и Минусинской ГРЭ и Слещевской ГРП. Результаты испытаний приведены в табл. 23.

Полученные результаты подтвердили работоспособность ориентатора АЗОР-1 в скважинах при зенитных углах от 2 до 42° на глубинах до 1200 м. При этом достигнута вполне удовлетворительная точность ориентирования. Это позволило рекомендовать ориентатор АЗОР-1 к более широкому внедрению.

В Гагаринской ГРП было проведено 27 циклов искривлений отклонителями типа ТЗ с применением ориентатора АЗОР-1 в

Таблица 23

| Номер скважины | Глубина искривления, м | Зенитный угол скважины, градус | Угол установки, градус | | | Показатель точности ориентации искривления |
|-----------------|------------------------|--------------------------------|------------------------|-------------|--------------------------|--|
| | | | расчетный | фактический | ошибка по углу установки | |
| Норильская ГРЭ | | | | | | |
| 980 | 942 | 14,0 | —150 | —150 | 0 | 1,00 |
| 980 | 958 | 12,5 | —160 | —100 | 60 | 0,50 |
| 980 | 972 | 9,5 | —130 | —120 | 10 | 0,98 |
| 1052 | 1241 | 10,5 | —60 | —65 | 5 | 0,99 |
| 129К | 334 | 10,0 | 0 | 37 | 37 | 0,80 |
| 129К | 350 | 3,0 | 20 | 33 | 13 | 0,96 |
| 729 | 518 | 7,5 | —70 | —72 | 0 | 1,00 |
| 729 | 527 | 5,5 | —20 | 0 | 20 | 0,94 |
| 729 | 538 | 7,0 | —55 | —55 | 0 | 1,00 |
| 729 | 560 | 12,0 | —30 | —35 | 5 | 0,99 |
| Минусинская ГРЭ | | | | | | |
| 33 | 444 | 27,0 | 0 | 0 | 0 | 1,00 |
| 33 | 462 | 28,5 | 0 | 0 | 0 | 1,00 |
| 33 | 477 | 30,0 | —90 | —95 | 5 | 0,99 |
| 33 | 487 | 30,0 | 0 | 0 | 0 | 1,00 |
| 33 | 495 | 32,5 | —80 | —90 | 10 | 0,98 |
| 33 | 695 | 32,5 | 0 | 0 | 0 | 1,00 |
| 33 | 702 | 34,0 | 0 | 0 | 0 | 1,00 |
| 33 | 712 | 36,0 | 0 | 0 | 0 | 1,00 |
| 33 | 723 | 39,5 | —70 | —30 | 40 | 0,77 |
| 33 | 735 | 40,5 | —70 | —60 | 10 | 0,98 |
| 33 | 744 | 42,0 | 0 | 0 | 0 | 1,00 |
| 33 | 765 | 43,5 | —80 | —80 | 0 | 1,00 |
| 33 | 702 | 34,5 | 0 | 0 | 0 | 1,00 |
| Слащевская ГРП | | | | | | |
| 141 | 203 | 2,0 | —80 | —90 | 10 | 0,98 |
| 141 | 220 | 2,5 | —90 | —90 | 0 | 1,0 |
| 141 | 242 | 2,0 | —60 | —45 | 15 | 0,96 |
| 141 | 259 | 3,0 | —50 | —55 | 5 | 0,99 |
| 148 | 191 | 3,5 | 180 | 180 | 0 | 1,0 |
| 148 | 218 | 2,5 | 170 | 180 | 0 | 1,0 |

скважинах при зенитных углах от 6 до 24° на глубине от 130 до 680 м с целью изменения зенитного и азимутального углов. Бурение производилось с технической водой и глинистым раствором повышенной вязкости. При работе с ориентатором АЗОР-1 отмечается упрощение технологии ориентирования и искривления в осложненных условиях (шлам в скважине, вывалы и т. д.) по сравнению с применением серийных ориентаторов, а также сокращение затрат времени на ориентирование, которые составили в среднем 7 мин. При работе с аппаратурой «Курс» эти затраты составляют в среднем 1 ч. Средний показатель точности ориентации при работе ориентатором АЗОР-1 составил 0,83, а аппаратурой «Курс» — 0,64.

В Аргунской ГРП было произведено 15 циклов искривлений

отклонителями ТЗ-3 при зенитных углах от 12 до 24° с различными углами установки в интервале глубин от 70 до 600 м. Затраты времени на одно ориентирование составили 5—7 мин против средних затрат времени при работе ориентатором ШОК-1 — 0,5 ч при прочих равных условиях. Показатель точности ориентации при работе ориентатором АЗОР-1 составил 0,81, с применением ориентатора ШОК-1 — 0,60.

В Зырянской ГРЭ было приведено 28 циклов искривлений на глубинах от 350 до 780 м при зенитных углах от 6 до 32° с затратами времени на ориентирование 3—5 мин. Во всех случаях были получены положительные результаты. Также успешно применялся ориентатор АЗОР-1 в Семипалатинской ГРЭ при зенитных углах от 2 до 15°.

Специалистами Мурманской ГРЭ Б. Е. Стебловым и Б. И. Вихаревым в 1978 г. проведены сравнительные испытания АЗОР-1 с другими ориентаторами. При этом искусственные искривления выполнялись отклонителем ТЗ-3-76 в скважинах с зенитным углом от 6,5 до 32°, на глубине от 157 до 790 м. При использовании ориентаторов типов УШО и ШОК на операцию ориентирования затрачивается от 0,3 до 6 ст-ч, что составляет от 5 до 30% от общих затрат времени на цикл искривления. Применение ориентатора АЗОР-1 позволило сократить эти непроизводительные затраты до 5—10 мин. По произведенным 40 циклам искривлений отклонителем ТЗ-3-76 с ориентатором АЗОР-1 показатель точности в среднем составил 0,903, что превышает показатель точности при работе другими ориентаторами. Результаты испытаний приведены в табл. 24.

Таблица 24

| Ориентатор | Наибольшая глубина использования, м | K_T |
|------------|-------------------------------------|-------|
| ШОК | 400—500 | 0,877 |
| УШО-15 | 1000 | 0,824 |
| АЗОР-1 | до 800 | 0,903 |

Вместе с тем были отмечены случаи снижения точности ориентирования при сужении ствола скважины.

В настоящее время ориентаторы АЗОР-1 успешно применяются в Удино-Витимской, Северобайкальской, Нежданинской, Главно-Кавказской, Янской ГРЭ и в ряде других геологоразведочных организаций страны. В Североуральской ГРЭ и ГРП предприятия «Бор» ориентатор АЗОР-1 успешно применен для ориентирования клиновых отклонителей.

Таким образом, разработка самоориентирующихся систем для искусственного искривления скважин является реальным резервом повышения качества работ при направленном бурении и сокращения непроизводительных затрат времени.

Глава X

НАДЕЖНОСТЬ ОТКЛОНИТЕЛЕЙ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

В последнее время большое внимание уделяется надежности применяемой техники. Исследование надежности технических средств для искусственного искривления отличается некоторой специфичностью, обусловленной влиянием ряда взаимосвязанных факторов общей системы отклонитель — породоразрушающий инструмент — ориентатор. Оценить надежность каждого звена этой системы и затем всей системы в целом — задача достаточно сложная. В связи с этим представляют интерес исследования надежности отклонителя типа ТЗ, выполненные в ЗабНИИ, методика проведения которых может быть использована при анализе надежности других ОНД.

§ 1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ НАДЕЖНОСТИ

Объект — предмет определенного целевого назначения, рассматриваемый в периоды проектирования, производства, эксплуатации, изучения, исследований и испытаний на надежность.

Надежность — свойство объекта, заключающееся в его способности выполнять определенные задачи в определенных условиях эксплуатации. Это комплексное свойство, включающее безотказность, долговечность и ремонтпригодность объекта.

Безотказность — свойство объекта сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Долговечность — свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

Ремонтпригодность — свойство объекта, заключающееся в приспособлении к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

Работоспособность — состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией.

Предельное состояние — состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за неустранимого нарушения требований безопасности или неустранимого ухода заданных параметров за установленные пределы, или неустранимого снижения эффективности эксплуатации

ниже допустимой, или необходимости проведения среднего или капитального ремонта.

Отказ — событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта.

Наработка — продолжительность или объем работы объекта.

Ресурс — наработка объекта от начала эксплуатации или ее возобновления после среднего или капитального ремонта до наступления предельного состояния.

При исследовании надежности отклонителя как объекта его следует рассматривать как элемент общей отклоняющей системы отклонитель — породоразрушающий инструмент — ориентатор, назначение которой — получение плавной кривизны в требуемом направлении. В данной системе функциональное долевое назначение отклонителя — обеспечение принудительного отклонения породоразрушающего инструмента, передача ему крутящих и осевых нагрузок от бурильных труб с подводом промывочной жидкости, стабилизация направления этого отклонения по мере углубления забоя.

Различают отказы *конструкционные* (вследствие ошибок конструктора или несовершенства принятых методов конструирования), *производственные* (вследствие ошибок при изготовлении, нарушения требуемой технологии изготовления или ее несовершенства) и *эксплуатационные* (вследствие нарушения правил эксплуатации внешних воздействий, не свойственных нормальной эксплуатации).

При анализе отказов отклоняющей системы отклонитель — породоразрушающий инструмент — ориентатор необходимо выделять отказы непосредственно отклонителя, как элемента этой системы, являющегося объектом.

Отклонитель относится к восстанавливаемым объектам, т. е. его работа после отказа может быть возобновлена в результате восстановительных работ. Под восстановлением объекта понимают не только ремонт той или иной детали и узла, но и замену на новые. Процесс эксплуатации отклонителя можно представить как последовательность интервалов работоспособности с интервалами простоя.

При эксплуатации отклонителя появление отказов носит случайный характер: отказы могут быть внезапными, например обрыв вала, и постепенными, например, износ сепаратора в подшипнике. Как правило, отказы, следующие один за другим, бывают зависимыми и независимыми и зачастую полными, т. е. после возникновения отказа отклонитель становится неработоспособным и нуждается в восстановлении.

§ 2. МЕТОДИКА АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ ОТКЛОНИТЕЛЯ

Методикой анализа надежности отклонителей, разработанной ЗабНИИ на основании рекомендаций специальной литерату-

ры и учета специфичности работы изучаемого объекта, предусматривается определение ряда показателей.

1. Нарботка на отказ T

$$T = t_m/n, \text{ ч}, \quad (90)$$

где t_m — время работы отклонителя в скважине; n — число отказов за это время. Например, за 100 ч работы отклонителя наблюдалось 8 отказов, следовательно $T = 100/8 = 12,5$ ч/отказ, т. е. один отказ происходил в среднем каждые 12,5 ч работы.

2. Вероятность безотказной работы отклонителя $p^{(t)}$. Этот показатель определяют по формуле экспоненциального закона, который справедлив для большинства горных машин

$$p^{(t)} = e^{-t_p/T}, \quad (91)$$

где t_p — время, в течение которого отклонитель должен исправно работать. Для обеспечения высокой безотказности устройства наработка на отказ T должна значительно превышать $p^{(t)}$. Если, например, $T = 12,5$ ч, $t_p = 10$ ч, то

$$p^{(t)} = 2,718^{-10/12,5} = 0,45.$$

При $T = 20$ ч, $t_p = 10$ ч

$$p^{(t)} = 2,718^{-10/20} = 0,606.$$

3. Среднее время восстановления отклонителя после отказа t_b . Это время определяют по затратам времени на ремонтно-восстановительные работы

$$t_b = \frac{\sum t_{bi}}{n}, \text{ ч}, \quad (92)$$

где t_{bi} — время на восстановление i -го отказа (на разработку, осмотр, замену неисправной детали или узла, сборку); n — число отказов.

Если эксплуатируют сразу несколько отклонителей одной модификации, то в числителе приводят суммарные затраты времени на восстановление отклонителей, а в знаменателе — общее число отказов данных отклонителей за анализируемый период времени, т. е.

$$t_b = \frac{\sum \sum t_{bi}}{\sum n}, \text{ ч}. \quad (93)$$

4. Ремонтпригодность. Этот показатель характеризует скорость восстановления работоспособности отклонителя после отказа и выражается через коэффициент технического использования

$$K_{ти} = T/(T + \bar{t}_n + \bar{t}_o), \quad (94)$$

где \bar{t}_n — средние затраты времени на выполнение профилактических работ за время T ; \bar{t}_o — средняя продолжительность уст-

ранения одного отказа. Например, при $T = 12,5$ ч, $\bar{t}_n = 0,5$ ч, $\bar{t}_o = 1$ ч

$$K_{\text{тн}} = 12,5 / (12,5 + 0,5 + 1) = 0,89.$$

5. Средний коэффициент технического использования отклонителя за весь срок службы определяется по формуле

$$K_{\text{тн}} = \frac{T_p}{T_p + \Sigma (T_n + T_o)}, \quad (95)$$

где T_p — ресурс отклонителя; $\Sigma (T_n + T_o)$ — суммарные затраты времени на профилактику и устранения отказов за весь срок службы отклонителя.

Например, при $T_p = 200$ ч, $\Sigma (T_n + T_o) = 50$ ч

$$K_{\text{тн}} = 200 / (200 + 50) = 0,8.$$

6. Удельная стоимость отклонителя C . Этот показатель определяют по формуле из работы [19].

$$C = \frac{C_o + \Sigma C_d n_d + \Sigma C_t n_t}{T_p}, \text{ руб/ч}, \quad (96)$$

где C_o — первоначальная стоимость отклонителя; $\Sigma C_d n_d$ — суммарная стоимость всех деталей, использованных при восстановлении работоспособности отклонителя взамен неисправных за весь срок его службы; $\Sigma C_t n_t$ — суммарная стоимость всех работ по техническому обслуживанию за тот же период; T_p — ресурс отклонителя. Например, при эксплуатации в Норильской ГРЭ одного отклонителя ТЗ-3-76 $C_o = 650$ руб.; $\Sigma C_d n_d = 370$ руб.; $\Sigma C_t n_t = 82$ руб.; $T_p = 240$ ч, отсюда

$$C = (650 + 370 + 82) / 240 = 4,59 \text{ руб/ч}.$$

Для определения показателей надежности отклонителя необходимо в процессе его эксплуатации регистрировать в «Журнале эксплуатации отклонителя» следующие данные:

- а) тип отклонителя, заводской номер, дату получения;
- б) первоначальную стоимость отклонителя;
- в) затраты времени и стоимость технического обслуживания;
- г) наработка отклонителя на каждый отказ и число отказов для каждой детали;
- д) затраты времени и стоимость восстановления работоспособности отклонителя;
- е) продолжительность эксплуатации.

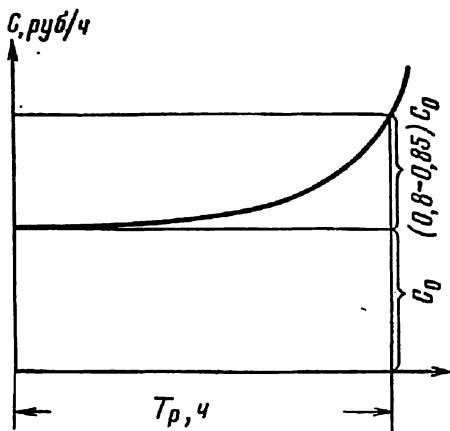
Ресурс отклонителя определяется по «Журналу эксплуатации» путем суммирования всех наработок между отказами за весь срок его службы. Этим же путем можно определить наработку на каждую деталь отклонителя в отдельности при анализе прочностных характеристик.

С точки зрения экономических показателей срок службы каждого отклонителя предложено ограничивать коэффициентом экономического использования $K_{\text{эи}}$ определяемого отношением

эксплуатационных расходов на содержание отклонителя в работоспособном состоянии к его первоначальной стоимости

$$K_{\text{эн}} = (\Sigma C_{\text{д}} n_{\text{д}} + \Sigma C_{\text{т}} n_{\text{т}}) / C_0. \quad (97)$$

Оптимальная величина этого коэффициента, как показала практика эксплуатации отклонителей в различных организациях, должна быть в пределах 0,8—0,85. На рис. 45 показан график определения оптимального ресурса отклонителя в зависимости от роста эксплуатационных расходов.



Дальнейшая эксплуатация отклонителей незначительно повышает его ресурс, но при этом резко возрастает удельная стоимость вследствие повышения стоимости эксплуатационных расходов.

В производственных условиях за критерий прекращения эксплуатации обычно принимают предельное состояние отклонителя, но это вряд ли оправдано, так как вследствие сильного износа всех деталей может возникнуть аварийная ситуация в скважине.

В качестве примера использования методики можно рассмотреть анализ надежности пяти от-

Рис. 45. График определения оптимального ресурса отклонителя:

C_0 — начальная стоимость

Таблица 25

| Данные отклонителя | | | | Дата работы отклонителя | Наименование детали, из-за поломки которой произошел отказ |
|--------------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------------|--|
| Тип | Заводской номер | Дата получения | Стоимость, руб. | | |
| ТЗ-3-76* | 12 | 1.02.76 | 500 | 22.02.76 | Нижний вал Подшипник № 8207 Подшипник № 206 Шлицевый вал Верхний вал |
| | | | | 25.02.76 | |
| | | | | 26.02.76 | |
| | | | | 29.11.76 | |
| | | | | 10.12.76 | |

* Списан из-за предельного износа 11.12.76 г.

клонителей ТЗ-3-76 при их одновременной эксплуатации в Гагаринской ГРП. Ресурс отклонителей составил 200, 205, 224, 186 и 190 ч. В табл. 25 приведена выписка из «Журнала эксплуатации» одного отклонителя, полный угол искривления которым составил 121°.

После обработки материалов эксплуатации этого отклонителя были получены следующие значения показателей: наработка на отказ $T=12$ ч; вероятность безотказной работы $p^{(t)}=0,58$;

среднее время восстановления $t_{в}=0,8$ ч; коэффициент технического использования $K_{тн}=0,6$; коэффициент экономического использования $K_{эи}=0,94$; удельная стоимость отклонителя $C=4,7$ руб/ч; рентабельность $R=0,58$; ресурс 201 ч.

При анализе показателей были сделаны следующие выводы.

1. Малые наработки на отказы в начальный период работы отклонителя обуславливаются недостаточным качеством изготовления: неправильной регулировкой узлов, нарушениями технологии изготовления и отсутствием опыта работы с отклонителем у обслуживающего персонала. В дальнейшем случаи отказов, как правило, уменьшаются, а происходящие вызываются появлением усталостных напряжений в опасных сечениях от действия знакопеременных и динамических нагрузок, т. е. такие отказы являются эксплуатационными.

2. Сокращение времени на восстановление работоспособности отклонителя и на проведение планово-предупредительного ремонта оказывает влияние на показатели надежности (среднее время восстановления, ремонтпригодность, средний коэффициент технического использования и удельную стоимость отклонителя), и этому в значительной степени способствует организация ремонтных работ (наличие специального стенда для сборки—разборки, необходимого инструмента, запасных и быстроизнашивающихся деталей и т. п.).

3. Рентабельность отклонителя зависит от технологических параметров бурения (механической скорости, вида бурения, работоспособности породоразрушающего инструмента, категорий пород по буримости и т. п.) и технических параметров (вписыва-

| Наработка на отказ T , ч | Время на восстановление $t_{в}$, ч | Стоимость восстановления работоспособности отклонителя $\Sigma C_{д} n_{д}$, руб. | Техническое обслуживание отклонителя | |
|-------------------------------|-------------------------------------|---|---------------------------------------|--|
| | | | Затраты времени $\Sigma t_{п}$, ч | Стоимость $\Sigma C_{т} n_{т}$, руб. |
| 6 | 0,5 | 18,2 | 3 | 3,5 |
| 8 | 0,8 | 1,2 | 1,5 | 1,75 |
| 7 | 0,5 | 1,7 | 1,5 | 1,75 |
| 12 | 0,9 | 16,0 | 1,5 | 1,75 |
| 16 | 1,2 | 22,0 | — | — |

емости отклонителя в криволинейный участок, силовой характеристики и т. п.).

§ 3. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ОТКЛОНИТЕЛЕЙ

Совокупность методов повышения надежности деталей отклонителя можно представить в виде схемы (рис. 46) [19].

Наиболее перспективным направлением увеличения надежности отклонителя является повышение циклической прочности

базовых деталей. Особое внимание при этом необходимо уделять увеличению усталостной прочности и повышению предела выносливости валов отклонителя при циклическом изгибе. Основными технологическими операциями при изготовлении, способствующими повышению циклической прочности, являются упрочнение деталей пластическим деформированием, термическая упрочняющая обработка, химико-термическая обработка; химико-термомеханическая обработка, легирование поверхности различными методами.

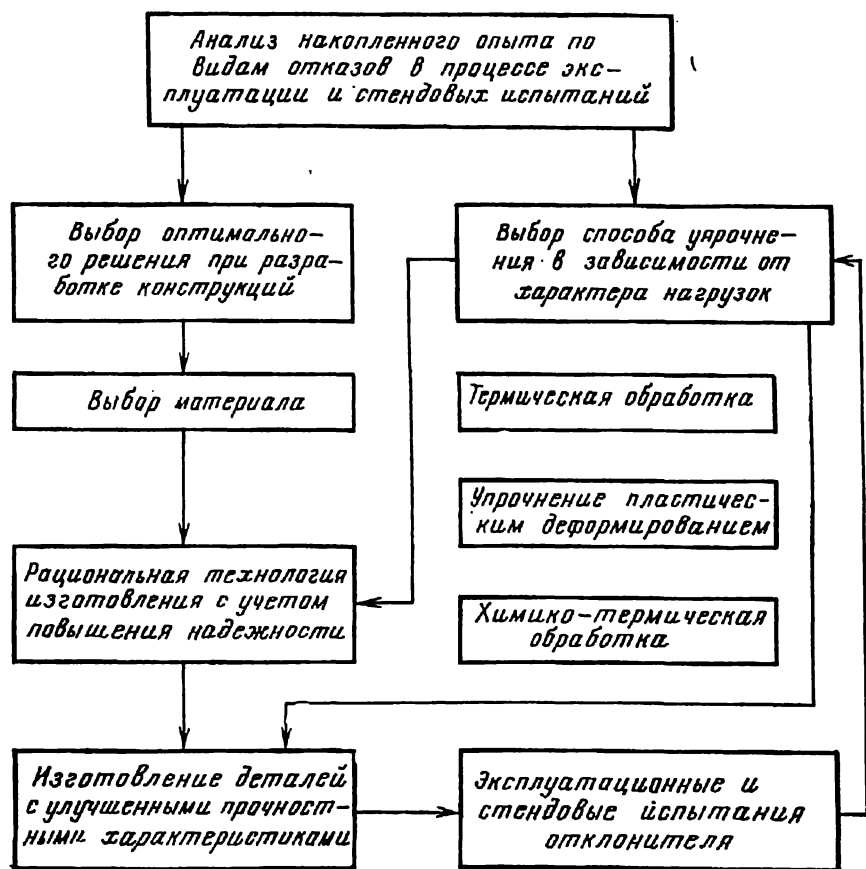


Рис. 46. Рациональная схема выполнения работ по повышению надежности отклонителей

Для повышения усталостной прочности деталей, особенно работающих в условиях совместного действия изгибающих нагрузок и крутящего момента, удовлетворительные результаты дает пластическое деформирование поверхностного слоя. При этом также повышаются качество обработки поверхности и износостойкость детали. Усталостная прочность и износостойкость повышаются благодаря появлению остаточных напряжений в поверхностном слое после деформирования.

К методам упрочняющей обработки пластическим деформи-

рованием относятся дорнование и калибрование отверстий деталей дорнами и калибрующими протяжками; обкатывание наружных поверхностей, в том числе и вибрационное; раскатывание внутренних поверхностей шариковыми и роликовыми раскатниками; упрочнение чеканкой; дробеструйная упрочняющая обработка и обработка шариковыми центробежно-наклепывающими инструментами; алмазная или твердосплавная обработка.

Наиболее приемлемыми методами в условиях неспециализированного производства отклонителей являются: дорнование отверстий валов шариком и обкатывание их наружных поверхностей твердосплавными роликами.

Из химико-термических упрочняющих обработок для деталей отклонителей представляет интерес цементация, благодаря которой повышается износостойкость и увеличивается усталостная прочность деталей.

Для валов отклонителей, изготавливаемых обычно из стали 40X и имеющих концентраторы напряжения в виде упорных выступов и резьб, глубина цементируемого слоя не должна превышать 1—2% от радиуса вала. В условиях единичного производства лучшие результаты дает цементация в жидком карбюризаторе, состоящем из 80—85% Na_2CO_3 , 10—12% NaCl , 7—10% SiC . При этом детали загружают в ванну, содержащую расплав солей, и процесс ведется при температуре 820—850°C в течение 1,0—1,5 ч. Преимущество цементации в жидком карбюризаторе в том, что достигается равномерный нагрев детали, уменьшается деформация, отсутствует окалина. Кроме того, закалку можно производить непосредственно после цементации без дополнительного нагрева.

Широкие возможности для повышения надежности отклонителей дает совершенствование его конструкции, имеющие следующие основные направления.

1. Рациональное использование внутреннего пространства статора отклонителя для увеличения диаметров валов ротора.

2. Применение подшипников, обладающих наиболее приемлемыми характеристиками для работы в условиях повышения вибрации, динамических нагрузок, возможности попадания шлама и т. п. Рациональное размещение их в узлах с целью создания минимальных нагрузок и устранения несоосностей посадочных мест.

3. Применение эффективных уплотняющих элементов в подшипниковых узлах для предупреждения попадания шлама в подшипники.

4. Устранение концентратов напряжений путем создания разгрузочных поясков, плавных переходов и т. п.

5. Применение видов сталей, отвечающих условиям работы деталей отклонителя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие техники и технологии направленного бурения является одним из эффективных путей повышения качества и экономичности буровых работ. Несмотря на имеющиеся достижения в разработке новых технических средств при внедрении методов направленного бурения, пока еще не везде в полной мере используют благоприятные геолого-методические предпосылки для совершенствования методики поисков и разведки на основе направленного бурения, еще недостаточно высок общий технологический уровень выполнения работ.

Анализ современного состояния проблемы направленного бурения и изучение основных тенденций развития технического прогресса позволяют считать перспективными следующие пути повышения эффективности методов направленного бурения.

1. Более широкое использование возможностей направленного бурения для совершенствования методики разведки. Одним из наиболее актуальных и перспективных направлений в повышении эффективности использования методов направленного бурения является расширение геолого-методических задач, совершенствование методики разведки на основе широкого использования возможностей, которые увеличиваются с применением ОНД. Как известно, в большинстве геологоразведочных организаций отклонители в основном используют для корректировки направления скважин, отклонившихся от требуемой трассы, значительно реже — для бурения многоствольных скважин. Наиболее благоприятны для широкого использования методов направленного бурения объекты с крутопадающими рудными телами. Специалисты Карамкенской ГРЭ по-новому осуществили поисково-оценочные работы, применив наклонно направленное бурение по серии параллельных жильных тел и заменив 3—4 скважины одной.

Томмотская экспедиция при разведке крутопадающего рудного тела применила многоствольные скважины, бурение которых вели по методике «сверху — вниз», и дополнительные стволы забуривали с искривлением до 30° из основного ствола, субпараллельного рудному телу [14].

Специалисты Северо-Уральской ГРЭ разработали новую методику исследований условий мест заложения шахтных стволов, при внедрении которой получен огромный экономический эффект и сокращены сроки работ. Небольшое число приведенных примеров показывает, что необходим качественный переход от отдельных искривлений, направленных на выполнение частных задач, к планомерному и широкому использованию методов на-

правленного бурения с целью оптимизации методики разведочных работ.

2. Совершенствование системы планирования и нормирования. Планирование и нормирование работ имеют большие резервы в повышении эффективности методов направленного бурения. При планировании и оплате бурения многоствольных скважин не учитывают трудоемкость и сложность выполнения работ, возрастающие с увеличением глубины забуривания дополнительного ствола и набора кривизны. Необходим дифференцированный подход к планированию производительности труда при направленном бурении многоствольных скважин, учитывающий сокращение объема буровых работ.

3. Обеспечение производственных организаций комплексами технических средств для искусственного искривления скважин, а в связи с этим расширение объема серийного производства этой техники.

4. Повышение качества инклинометрии. Этот вид каротажа приобретает особое или повышенное значение при искусственном искривлении скважин, так как по данным инклинометрии производят расчеты трассы скважины и принимают конкретные и оперативные меры по ее управлению, оценивают получаемую интенсивность искривления в данных породах, т. е. инклинометрия становится одной из важных операций в технологии направленного бурения.

Следует отметить, что инклинометрия требует больших затрат времени при направленном бурении. Поэтому для повышения эффективности помимо совершенствования конструкции приборов необходимо совершенствовать организацию работ, повышать четкость и оперативность во взаимодействии каротажной и буровой служб, использовать для оперативных замеров одноточечные инклинометры типа ОК-40У конструкции ВИТра, МИ-42 конструкции ВКГУ. В связи с этим представляется перспективным оснащение отклонителей специальными индикаторами изменения зенитного и азимутального углов, позволяющими оперативно определить результаты искривления.

5. Повышение уровня квалификации специалистов. Использование методов направленного бурения для решения ряда задач технологического, методического и экономического характера требует от специалистов дополнительной подготовки и определенного опыта работ. Поэтому в геологоразведочных организациях с технологической службой, включающей в свой штат специалистов с определенной подготовкой, направленное бурение внедряют с большой эффективностью. Например, в Западно-Караелахской ГРП, производящей буровую разведку глубоких горизонтов, была организована специальная лаборатория направленного бурения, которая обеспечила проведение этих работ на высоком уровне. В некоторых экспедициях в связи с боль-

шим объемом работ по направленному бурению проводят специальное курсовое обучение буровых мастеров и бурильщиков передовым приемам и современной технологии этого специального вида работ. Вместе с тем следует отметить, что это обучение проводят по произвольным программам и порой при полном отсутствии методических пособий и учебных плакатов. В связи с этим большую роль в популяризации методов и повышении общего уровня направленного бурения играют договоры о сотрудничестве производственных и научно-исследовательских организаций.

6. Совершенствование технологии направленного бурения с целью повышения общей результативности работ и полного использования возможностей техники с учетом местных условий.

7. Разработка новых отклонителей, комплекса специального породоразрушающего и вспомогательного инструмента, позволяющих получать требуемую кривизну или ответвление в любых породах при сохранении высокого уровня производительности труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анищенко А. Я., Страбыкин И. Н.: Влияние точности определения пространственного положения скважин на выдержанность разведочной сети. — В кн.: Техника и технология разведочного бурения/Тр. КазИМС, вып. 2, 1974, с. 12—24.

2. Айрияцц А. С., Костин Ю. С.: Первые результаты внедрения в Армении современных методов направленного бурения скважин. — Изв. АН Армянской ССР, «Науки о Земле», 1978, № 3, с. 63—69.

3. Барташев Л. В. Конструктор и экономиста. М., Экономика, 1977.

4. Вторых В. М. К вопросу проектирования пространственно искривляемых многоствольных и направленных геологоразведочных скважин. — В кн.: Методика и техника разведки/Тр. ВИТР, № 77, 1971, с. 16—22.

5. Вторых В. М., Костин Ю. С., Перминов В. В. Опыт организации работ по направленному бурению скважин в Норильской ордена Трудового Красного Знамени комплексной геологоразведочной экспедиции. М., изд. ВИЭМС, 1973.

6. Гончаренко А. С., Заколюдяжный В. В. Забуривание вторых стволов в скважинах диаметром 46 мм — В кн.: Техника и технология разведочного бурения/Тр. КазИМС, вып. 4, 1977, с. 13—16.

7. Гурулев С. В. Определение угла установки отклонителя при направленном искривлении скважин. — В кн.: Совершенствование техники и технологии геологоразведочных работ в Забайкалье. Чита, изд. ЗабНИИ, 1973, с. 162—166.

8. Квитка В. Г., Пешалов Ю. А. Внедрение прогрессивных способов в практику буровых работ. М., Недра, 1975.

9. Костин Ю. С., Гурулев С. В., Перминов В. В. Определение основных параметров направленного искривления скважин с помощью номограмм. — В кн.: Методика и техника разведки/Тр. ВИТР, № 77, 1971, с. 22—26.

10. *Костин Ю. С., Перминов В. В.* Оценка эффективности способов направленного искривления скважин. — Разведка и охрана недр, 1974, № 4, с. 50—52.

11. *Костин Ю. С.* Об определении экономической эффективности работ при искусственном искривлении скважин. — Изв. вузов. «Геология и разведка», 1978, № 6, с. 150—155.

12. *Коломоец А. В., Ветров А. К.* Современные методы предупреждения и ликвидации аварий в разведочном бурении. М., Недра, 1977.

13. *Мельничук И. П.* Бурение многозабойных скважин в породах высоких категорий. — Разведка и охрана недр, 1976, № 1, с. 52—54.

14. *Мельничук И. П.* Бурение направленных скважин малого диаметра. М., Недра, 1978.

15. *Морозов Ю. Т.* Оценка технико-экономической эффективности применения искусственных отклонителей. — Разведка и охрана недр, 1975, № 11, с. 31—34.

16. *Морозов Ю. Т.* Бурение направленных и многоствольных скважин малого диаметра. М., Недра, 1976:

17. *Новый забойный гидравлический двигатель Д-54/Д. Ф. Балденко, М. Т. Гусман, Н. Ф. Мутовкин и др.* — Разведка и охрана недр, 1977, № 10, с. 33—37.

18. *Олексенко М. П.* Опыт и перспективы внедрения направленного и многоствольного бурения в Карамкенской ГРЭ. — В кн.: Техническая политика ВВТГУ на X пятилетку в области геологоразведочного производства. Магадан, 1976, с. 99—103.

19. *Орлов П. И.* Основы конструирования. М., Машиностроение, 1977.

20. *Пустовойтенко И. П.* Предупреждение и ликвидация аварий в бурении. М., Недра, 1973.

21. *Страбыкин И. Н.* Зависимость оценки результатов применения отклонителей от точности инклинометрических замеров — В кн.: Техника и технология разведочного бурения/Тр. КазИМС, вып. 4, 1977, с. 3—13.

22. *Щитихин В. В.* Технические средства для направленного бурения скважин малого диаметра. Л., Недра, 1978.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение | 3 |
| Глава I. Современное состояние проблемы направленного бурения скважин | 6 |
| § 1. Краткая характеристика современного технического уровня направленного бурения | 6 |
| § 2. Состояние направленного бурения в различных регионах страны | 11 |
| Глава II. Геолого-экономические основы направленного бурения скважин | 15 |
| § 1. Назначение и возможности методов направленного бурения | 15 |
| § 2. Основные геолого-методические предпосылки использования направленного бурения | 17 |
| § 3. Общая методика определения перспектив направленного бурения в производственных условиях | 20 |
| § 4. Показатели себестоимости работ при направленном бурении | 22 |
| § 5. Методика определения экономической эффективности при направленном бурении | 26 |
| § 6. Методика определения критической глубины искусственного искривления | 27 |
| Глава III. Методы проектирования и оценки эффективности искусственного искривления | 30 |
| § 1. Общая методика проектирования направленной скважины | 30 |
| § 2. Профилирование скважин при направленном бурении | 32 |
| § 3. Методика определения параметров искусственного искривления | 34 |
| § 4. Методика оценки результативности и точности искусственного искривления | 35 |
| § 5. Методика построения общей диаграммы искривления скважины | 37 |
| § 6. Методика технико-экономического анализа и оценки эффективности работ при искусственном искривлении | 39 |
| Глава IV. Способы искусственного искривления скважины и их краткая характеристика | 44 |
| § 1. Способы искусственного искривления для набора кривизны | 44 |
| § 2. Способы искусственного искривления для ответвления | 47 |
| Глава V. Экспериментально-теоретические основы разработки отклонителей непрерывного действия | 50 |
| § 1. Основные требования к технике для набора кривизны | 50 |
| § 2. Особенности конструирования и рациональная методика разработки отклонителей | 51 |
| § 3. Выбор кинематической схемы отклонителя ТЗ-3 | 54 |
| § 4. Выбор и методика расчета стабилизирующего узла и основных параметров ТЗ-3 | 56 |
| § 5. Стенды для исследования отклонителя | 60 |
| § 6. Исследование стабилизации статора и экспресс-метод проверки состояния отклонителя ТЗ-3 | 64 |
| Глава VI. Отклонители непрерывного действия и рациональная технология искривления | 69 |
| § 1. Общие сведения | 69 |
| § 2. Отклонитель типа БСНБ | 70 |
| § 3. Отклонитель типа СНБ-ИМР | 74 |
| § 4. Отклонители типа ТЗ | 75 |
| § 5. Отклонители непрерывного действия с гидравлическим силовым узлом | 81 |

| | |
|--|------------|
| § 6. Отклонитель на базе забойных двигателей | 83 |
| § 7. Породоразрушающий инструмент для искусственного искривления | 87 |
| § 8. Рациональная технология искусственного искривления отклонителем непрерывного действия (на примере отклонителя ТЗ-3) | 90 |
| § 9. Результаты внедрения и резервы повышения эффективности отклонителя типа ТЗ | 94 |
| Глава VII. Аварийность при направленном бурении и выбор оптимальной кривизны | 100 |
| § 1. Основные виды аварий и осложнений при направленном бурении и пути их снижения | 100 |
| § 2. Определение оптимальной интенсивности искусственного искривления | 106 |
| § 3. Регулирование интенсивности искривления при работе отклонителя ТЗ-3 | 110 |
| Глава VIII. Точность искусственного искривления | 113 |
| § 1. Общая характеристика точности искусственного искривления | 113 |
| § 2. Основные причины погрешности ориентации искривления и методы их устранения | 115 |
| § 3. Основные причины погрешности набора кривизны и методы их устранения | 121 |
| § 4. Экспериментальные исследования некоторых факторов, влияющих на точность искривления | 123 |
| § 5. Пути повышения точности искривления | 126 |
| Глава IX. Ориентирование отклонителей, разработка новых средств | 128 |
| § 1. Общие сведения | 128 |
| § 2. Краткий обзор самоориентирующихся устройств для направленного бурения | 129 |
| § 3. Выбор рациональной схемы и методика расчета системы самоориентирования | 130 |
| § 4. Забойный ориентатор АЗОР-1 | 136 |
| Глава X. Надежность отклонителей непрерывного действия | 140 |
| § 1. Основные термины и понятия надежности | 140 |
| § 2. Методика анализа надежности отклонителя | 141 |
| § 3. Пути повышения надежности отклонителей | 145 |
| Заключение | 148 |
| Список литературы | 150 |

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН

ЮРИЙ СЕРГЕЕВИЧ КОСТИН

Редактор издательства *Л. Н. Авижанская*
 Переплет художника *А. Е. Чучканова*. Художественный редактор *В. В. Шутько*.
 Технический редактор *Т. П. Локтионова*. Корректор *Т. М. Кушнер*.

ИБ № 2147

Сдано в набор 15.01.81. Подписано в печать 06.05.81. Т-08846
 Формат 60×90^{1/16} Бумага типографская № 2. Гарнитура «Литературная».
 Печать высокая Усл.-печ. л. 9,5. Усл. кр.-отт. 9,87. Уч.-изд. л. 9,83.
 Тираж 4000 экз. Заказ 78/6838—5 Цена 50 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19

Подольский филиал ПО «Периодика» Союзполиграфпрома
 при Государственном комитете СССР
 по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
 г. Подольск, ул. Кирова, д. 25