

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки – Нефтегазовое дело
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Анализ работы роторно-управляемых систем в различных геолого-технических условиях

УДК 622.243.56-047.44

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ82	Беркетов Владислав Владимирович		16.06.2020

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Минаев К.М	к.х.н.		18.06.2020

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Романюк В.Б.	к.э.н.		17.06.2020

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент отделения общетехнических дисциплин	Черемискина М.С.	-		17.06.2020

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Минаев К.М	к.х.н		19.06.2020

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>
P1	Применять базовые естественнонаучные, социально-экономические, правовые и специальные знания в области нефтегазового дела, для решения <i>прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем</i> , соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики), самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные <i>исследования</i> с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в <i>сложных и неопределённых условиях</i> ; использовать <i>принципы изобретательства, правовые основы-в области интеллектуальной собственности</i>
P3	Проявлять профессиональную <i>осведомленность о передовых знаниях и открытиях</i> в области нефтегазовых технологий с учетом <i>передового отечественного и зарубежного опыта</i> ; использовать <i>инновационный подход</i> при разработке новых идей и методов <i>проектирования</i> объектов нефтегазового комплекса для <i>решения инженерных задач развития</i> нефтегазовых технологий, <i>модернизации и усовершенствования</i> нефтегазового производства.
P4	<i>Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы</i> для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила <i>охраны здоровья и безопасности труда</i> , выполнять требования по <i>защите окружающей среды</i>
P5	Быстро ориентироваться и выбирать <i>оптимальные решения в многофакторных ситуациях</i> , владеть методами и средствами <i>математического моделирования</i> технологических процессов и объектов
P6	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при <i>разработке и реализации проектов</i> , проводить <i>экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность</i>
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и оперативные планы всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести ответственность за результаты работы
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности; активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности
P9	Разрабатывать и внедрять инновационные решения при строительстве скважин
P10	Обеспечивать технологический контроль и управление процессом бурения скважин
P11	Разрабатывать проектную документацию на строительство скважин в осложненных горно-геологических условиях

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) – Нефтегазовое дело
 Уровень образования – магистратура
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение нефтегазового дела
 Период выполнения – осенний / весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01 марта 2020	1. Проведение литературного обзора по теме	20
08 марта 2020	2. Проведение сравнительного анализа РУС	5
22 апреля 2020	3. Утверждение методики морфологического анализа РУС	20
06 мая 2020	4. Анализ полученных аналитических результатов, промежуточная аттестация выполнения диссертации	40
15 июня 2020	5. Предварительная защита диссертации	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, Звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Минаев К.М.	к.х.н.		11.02.2020

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, Звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Минаев К.М.	к.х.н.		11.02.2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки – Нефтегазовое дело
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ82	Беркетов Владислав Владимирович

Тема работы:

Анализ работы роторно-управляемых систем в различных геолого-технических условиях	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.02.2020, № 59-113/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования: Роторно-управляемые системы Область применения: Наклонно-направленное бурение
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. История возникновения роторно-управляемых систем 1.1 Основные принципы роторно-управляемых систем 1.2 Роторно-управляемые системы «Push the bit» 1.3 Роторно-управляемые системы «Point the bit» 1.4 Гибридные роторно-управляемые системы 2. Анализ РУС российских производителей 3. Анализ РУС мировых производителей 4. Анализ роторно-управляемых систем

	4.1 Сравнительный анализ роторно-управляемых систем 4.2 Морфологический анализ роторно-управляемых систем
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Необходимость в графических материалах отсутствует

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент отделения нефтегазового дела, к.э.н., Романюк В.Б.
Социальная ответственность	Ассистент отделения общетехнических дисциплин Черемискина М.С.
Часть на иностранном языке	Доцент отделения иностранных языков, к.п.н, Гутарева Н.Ю.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:
Rotary-steerable systems, principles of the operation.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	11.02.2020
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Минаев К.М.	к.х.н.		11.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ82	Беркетов Владислав Владимирович		11.02.2020

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ82	Беркетов Владислав Владимирович

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (ОНД)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Строительство глубоких нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материально-технических, энергетических, финансовых и человеческих ресурсов научного исследования.
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Налоговый кодекс РФ. ФЗ-213 от 24.07.2009 в редакции от 09.03.2016 №55-ФЗ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	SWOT-анализ проекта
2. Планирование и формирование бюджета научно-исследовательских работ	Расчет: 1) времени на спускоподъемные операции до модернизации и после модернизации; 2) фонда заработной платы; 3) амортизации оборудования; 4) экономического эффекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<p><i>Таблицы:</i></p> <p>1) <i>SWOT-анализ</i></p> <p>2) <i>Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений;</i></p> <p>3) <i>Расчет фонда заработной платы персонала;</i></p> <p>4) <i>Риски и меры по ограничению их последствий</i></p>
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Романюк В.Б.	к.э.н.		11.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ82	Беркетов Владислав Владимирович		11.02.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ82	Беркетов Владислав Владимирович

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (ОНД)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Строительство глубоких нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях»

Тема ВКР:

Анализ работы роторно-управляемых систем в различных геолого-технических условиях	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования в нефтегазовой промышленности	Объект исследования: Роторно-управляемые системы. Область применения: Наклонно-направленное бурение
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: — специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; — организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019). Приказ Ростехнадзора от 12.03.2013 № 101 (ред. от 12.01.2015) "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности" ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности
2. Производственная безопасность: 2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы 1. Избыточное тепло или сильный мороз. 2. Шум. 3. Вибрация. Опасные факторы 1. Движущиеся машины и механизмы. 2. Падение предметов с высоты.
3. Экологическая безопасность:	Бурение скважины сопровождается: 1. Загрязнением атмосферного воздуха; 2. Нарушением гидрогеологического режима; 3. Загрязнением поверхностных водных источников и подземных вод; 4. Повреждением почвенно-растительного покрова.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: пожар, наводнение. Наиболее типичная ЧС: открытый фонтан 1. Разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; 2. Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	11.02.2020
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.			11.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ82	Беркетов Владислав Владимирович		11.02.2020

Реферат

Магистерская диссертация включает 110 страниц текстового материала, 43 рисунка, 24 таблицы, 30 источников, 1 приложение.

Ключевые слова. Наклонно-направленное бурение, роторно-управляемая система, параметры, сравнительный анализ, морфологический анализ,.

Объект исследования. Роторно-управляемые системы.

Цель работы. Выявить наиболее эффективную роторно-управляемую систему для различных геолого-технических условий.

Результаты исследования. Основным результатом исследовательской работы является выявление наиболее эффективной РУС и получение проранжированного перечня роторно-управляемых систем для различных геолого-технических условий. Сопутствующим результатом является разработка способа оценки роторно-управляемых систем.

Методы проведения исследования. Был проведен сбор данных по рынку и работе роторно-управляемых систем, а затем выполнен сравнительный и морфологический анализ полученных данных в табличном виде.

Область применения. Технологии наклонно-направленного бурения.

В будущем планируется исследование новейших РУС, которые в текущее время находятся в разработке или на стадии испытаний и на основе полученных данных составить методическое пособие по сортаменту РУС и методике их выбора.

Перечень сокращений, условных обозначений, символов, единиц и терминов

ИИС – искусственное искривление скважины;

ЗТС – забойные телеметрические системы;

ВЗД – винтовые забойные двигатели;

РУС – роторно-управляемая система;

КНБК – компоновка низа бурильной колонны;

ГК – гамма-каротаж;

ГП – горная порода;

ПРИ – породоразрушающий инструмент

УБТ – утяжеленные бурильные трубы;

RSS – rotary steerable system;

RSM – rotary steerable motor;

MWD – measurement while drilling;

LWD – logging while drilling;

RCLS – rotary steering and closed-loop system;

BHA – bottom hole assembly;

WOB – weight on bit.

Оглавление

Введение	13
1 Технологии наклонно-направленного бурения	14
1.1 История возникновения наклонно-направленного бурения	14
1.2 Роторно-управляемые системы, принципы работы	17
2 Роторно-управляемые системы российских производителей	21
2.1 «РУК 8.75 БС» (RSS Push the bit)	21
2.2 «РУС – ГМ195» (RSS Point the bit).....	23
3 Роторно-управляемые системы мировых производителей.....	26
3.1 Роторно-управляемые системы компании «Schlumberger»	26
3.1.1 Power Drive X6	26
3.1.2 PowerDrive Xceed	29
3.1.3 PowerDrive Orbit.....	31
3.1.4 PowerDrive vorteX	32
3.1.5 PowerDrive Archer	34
3.2 Роторно-управляемые системы компании «Baker Hughes».....	35
3.2.1 «AutoTrack Curve» RSS	35
3.2.2 «AutoTrack X-tream» RSS	37
3.2.3 «AutoTrack eXpress».....	38
3.3 Роторно-управляемые системы компании «Weatherford»	40
3.3.1 «Magnus» RSS.....	40
3.3.2«Revolution» RSS	42
3.4 Роторно-управляемые системы компании «Halliburton»	43
3.4.1 «Geo-Pilot Dirigo» RSS	43
3.4.2 «Geo-Pilot Duro» RSS	44
3.4.4 «Geo-Pilot» RSS	47
3.4.5 «iCruise Intelligent» RSS	49
3.5 Downhole Adjustable Rotary Tool компании «Андергейдж»	50
3.6 «Suresteer» RSS компании «APS technology»	51
3.7 «Wellguide» RSS компании «Gyrodatta»	54

4 Анализ роторно-управляемых систем	57
4.1 Сравнительный анализ роторно-управляемых систем	57
4.2 Морфологический анализ роторно-управляемых систем.....	64
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	69
6 Социальная ответственность	80
Заключение.....	92
Список использованной литературы	93
Приложение А.....	96

Введение

В настоящее время большая часть "простых" залежей уже находится в эксплуатации либо консервации. По данным Министерства энергетики Российской Федерации на 2019 год более 65% составляет доля трудноизвлекаемых запасов нефти от общего объёма доказанных запасов. В связи с этим усложняются конструкции и профили скважин, которые пробурить традиционными способами невозможно или обусловлено большим риском.

Последнее десятилетие наблюдается стабильный прирост горизонтального бурения. Согласно данным международной консалтинговой компании Deloitte в 2018 году на горизонтальное бурение приходится 48% всех объёмов эксплуатационного бурения. А по информации Института народнохозяйственного прогнозирования РАН с 2013 по 2018 доля горизонтального бурения выросла на 27% – с 21% до 48%. И, по-видимому, данная тенденция сохранится в ближайшие годы.

Вместе с этим на рынке давно присутствуют роторно-управляемые системы (РУС) и с каждым годом появляются новые модели. Они позволяют бурить скважины с большим отходом от вертикали и протяжёнными горизонтальными участками. Одни РУС позиционируются, как системы для точной проводки скважин, другие для бурения в сложных геологических условиях, третьи обещают повышенную надёжность и т.д. Однако литература по роторно-управляемым системам сейчас находится в состоянии застоя, и вместе с этим встаёт вопрос: какую роторно-управляемую систему выбрать для работы?

Предметом исследования являются роторно-управляемые системы.

Целью работы является выявление наиболее эффективной роторно-управляемой системы для различных геолого-технических условий.

1 Технологии наклонно-направленного бурения

1.1 История возникновения наклонно-направленного бурения

Начальным этапом развития искусственного искривления скважин произошло в 1912 году. На юге Африки при бурении алмазных скважин понадобилось изменить положение оси скважины. Для этой операции было применено устройство, названное «буровой клин», а операция получила свое название – искусственное искривление скважины (ИИС). «Буровой клин» представляет собой перевернутый клин, поверхность которого имеет вогнутую форму с внутренней стороны, а для предотвращения вращения во время бурения нижняя часть имеет заостренную форму. Принцип работы заключался в том, что бурильная колонна при спуске на забой вынуждена отклониться от оси скважины из-за созданного бокового поперечного усилия на неё.

В первой половине XX в. на морском дне в Биби-Эйбатской бухте было обнаружено крупное нефтяное месторождение. Инженером П.Н. Потоцким было предложено начать разработку нефтяного месторождения, находящегося на дне Каспия, путем бурения скважин наклонно-направленным способом с засыпанных участков бухты. Но данная идея на тот момент не могла реализоваться из-за сложности проводки наклонно-направленных скважин путем ударного бурения, так как данная технология была чрезвычайно трудна. Технология бурения развивалась, и с появлением роторного бурения нефтегазовых скважин, вопрос проводки наклонных скважин начал решаться с 30-х годов прошлого века.

Бурение скважин с искусственным искривлением ствола было впервые выполнено на грозненском промысле в 30-х годах, где освоение и разведка скважинами, пробуренными вертикальными методами, столкнулись с непреодолимыми проблемами: сильное естественное искривление, повлекшее к обвалам в таких зонах, ограниченностью разрабатываемых пластов и сложностью попадания в них. Ориентированное искривление впервые было

применено с помощью уипстока с универсальным шарниром в Старогрозненском районе. Но из-за отсутствия опыта у буровых работников и аварии с уипстоком, данная попытка провалилась, и ствол скважины не получилось искривить по заданной траектории. В 1935 году была пробурена наклонная скважина со смещением более 500 метров, глубиной 1800 метров и зенитным углом 32° . Такая скважина сыграла важную роль в освоении и эксплуатации наклонно-направленных скважин. В последующем при помощи уипстока было пробурено множество наклонно-направленных скважин, но для получения требуемых параметров искривления необходимо было часто спускать уипсток, из-за чего скорость проходки составляла 140-200 м/мес.

В 1939г. была удачно пробурена первая в мире направленно-искривленная скважина с применением турбобура при помощи кривой трубы для ухода в сторону. При каждом спуске турбины интенсивность искривления составляла $1,5-3^\circ$. Такой способ бурения был предложен советским учёным, специалистом в области разработки нефтяных месторождений, организатором нефтедобывающих предприятий, инженером-нефтяником М.А. Гейманом. Но из-за несовершенства турбобура, у данного метода существовали недостатки, при этом из-за неустойчивых пород происходили обвалы и выхолаживания ствола скважины.

Начиная с 1941г., после усовершенствования турбинного редуктора, турбинный метод бурения стал широко применяться для проводки наклонных скважин, как на морских площадках, так и на суше. В дальнейшем научно-исследовательские институты (НИИ) стали совершенствовать турбобур. После ряда проведенных испытаний, было выявлено, что самым эффективным оказался – турбобур с эксцентричным ниппелем, он помог достичь интенсивность искривления $1,5^\circ/10$ м и достижением увеличения зенитного угла скважины до 50° . Опыт применения такого типа турбобура дал возможность контроля над угловыми параметрами, позволил уточнять компоновку низа бурильной колонны и выбор типа породоразрушающего инструмента.

С 50-х годов прошлого века при колонковом бурении в Соединенных

штатах Америки задействовались отклоняющий клин, стационарный съемный клин, а кроме того всевозможные устройства гироскопических, электрических и фотоинклинометров.

Благодаря вкладу в развитие теории направленного бурения американских специалистов: Дж. Каммингу, Г., Вудсу, Д. Brentли, А. Лубинскому, такие разработки дали толчок развитию СССР в сфере наклонно-направленного бурения.

В середине 1950-х годов в бывшем СССР начали буриться скважины с горизонтальным окончанием, а в 70-х годах за рубежом. За непродолжительное время были созданы, пройдя полевые испытания, и возникли для приобретения свежие телеметрические системы, долота, забойные двигатели и другое оборудование, которое представляло новые горизонты для достижения высоких экономических и технических показателей при бурении.

В этот период активно велись работы по созданию опытных образцов винтовых забойных двигателей. Таким образом, создали двигатель, применяемый при наклонно-направленном бурении и как техническое средство для привода низкооборотных долот, взамен турбобуру. В первые годы ВЗД использовался для выполнения узконаправленных работ, таких как: бурение в интервалах набора кривизны и корректировка направления ствола. В последующем в 80-90 гг., из-за резкого развития и получения положительного опыта использования винтовых забойных двигателей при наклонно-направленном бурении, специальных и ремонтно-восстановительных работах многие фирмы начали специализироваться на выпуске ВЗД различного назначения. Стал наблюдаться высокий рост использования ВЗД при бурении скважин с искусственным искривлением.

Колоссальное развитие техники и технологии наклонно-направленного бурения приобрело в конце 1990-х годов при освоении методов вертикально горизонтальных скважин. При данном методе начали использоваться и развиваться забойные телеметрические системы (ЗТС), применение которых сопровождалось использованием датчиков дистанционного контроля

положения забоя и управление за траекторией скважины. Эти датчики представляли собой электронные средства: гироскоп, акселерометр или магнитометры, а для получения параметров и последующего дистанционного контроля использовалась система связи, такая как: электромагнитная, гидравлическая, кабельная [6].

Для того чтобы изменить траекторию скважины, совместно с ЗТС используются винтовые забойные двигатели (ВЗД), роторные управляемые системы (РУС).

В современном мире стали широко применяться роторные управляемые системы, внедрение которых началось в середине 1990-х годов. Применялись роторно-управляемые системы в случае большого отклонения от вертикали относительно устья. РУС обеспечивали решение многочисленных задач бурения, но в то же время имели существенный минус в лице дороговизны оборудования. Существующие компоновки с забойными двигателями не обеспечивали такую возможность. Преимуществами такого оборудования является непрерывность вращения всей бурильной колонны и реагирование для изменения траектории без задержки. НК «Роснефть» на острове Сахалин пробурили рекордную скважину, глубина которой составила 13500 метров по протяженности, а смещение ее забоя составило 12033 метра. На данный момент такое оборудование получило широкое распространение из-за возможности точного контроля за параметрами [4].

1.2 Роторно-управляемые системы, принципы работы

На сегодняшний день активное применение получили роторные управляемые системы (РУС) для проходки вертикальных, наклонных и горизонтальных стволов, с помощью которых разрушение горной породы реализуется вращением долота с бурильной колонной верхним приводом буровой установки или ротором, а также отклоняющие системы, сочетающие применение винтовых забойных гидродвигателей [3].

Указанные системы представляют собой наиболее эффективное

оборудование, а в комбинации с телеметрическими системами и системами геонавигации преобразились в высокосоввершенные беспилотные инструменты дистанционного координирования направлением буримых скважин. Потенциал данные систем поражает: при высочайшей точности ($\pm 0,1^\circ$) и скорости действия указанные системы способны реализовывать бурение скважин любой ориентации в пространстве протяженностью до 13 км непрерывными рейсами, которые могут составлять более 1000 м. Современная отклоняющая система представляет собой беспилотный электронно-механический агрегат, управляемый дистанционно [1].

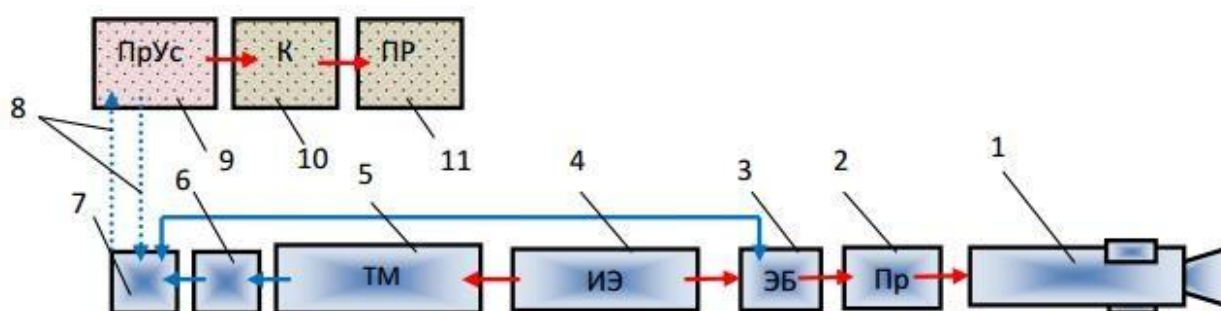


Рисунок 1 – Принципиальная схема РУС: 1 – механизм искривления; 2 – привод механизма искривления; 3 – электронный блок управления приводом механизма искривления; 4 – источник электроэнергии (гидротурбина или аккумуляторные батареи); 5 – телеметрия; 6 – электронный блок телеметрии; 7 – блок передачи и приема информации, передаваемой с поверхности и к забойной системе; 8 – канал связи (гидроимпульсный, электромагнитный); 9 – приемное устройство и усилитель сигнала; 10 – компьютер; 11 – прибор для визуального контроля.

Имея в составе автономные источники электроэнергии (4) роторно-управляемые системы аналогичного вида управляются оператором с поверхности посредством компьютера (10), который конвертирует сигнал, передаваемый с помощью бурового раствора или используя электромагнитное излучение (8) до забойной компоновки, в которой через электронный блок (3) и системы привода (2) отклоняющего механизма (1), выполняется ориентированное изменение направления скважины указанным курсом.

Параллельно этому интегрированная телеметрическая система (5) осуществляет непрерывный мониторинг угловых параметров бурящейся скважины и с помощью электронного блока (6), и системы трансформации сигнала (7) передает данные на поверхность в приёмный блок и блок усиления сигнала (9), затем в компьютер (10) и на устройство для зрительного контроля процесса бурения (11) непосредственно к оператору. Впоследствии подобного взаимодействия создается новое задание для корректирования направления скважины, которое и осуществляется с высокой точностью.

Эффективность РУС устанавливается следующими факторами:

- улучшение выноса шлама, поскольку РУС не формирует зауженных интервалов ствола скважины;
- увеличение скорости проходки, ввиду эффективного выноса шлама, затрудняет его осаждение, что оказывает благоприятное влияние на процесс разрушения породы;
- возрастает скорость бурения и протяженность горизонтального ствола за путем уменьшения силы трения между колонной и стенкой скважины ввиду вращения колонны целиком;
- уменьшается вероятность дифференциального и механического прихватов, так как отсутствуют неподвижные элементы РУС, взаимодействующих с о стенкой ствола скважины, обсадной колонной или отклонителем [9].

С помощью РУС представляется возможным бурить пологие и горизонтальные скважины с плавным профилем по причине неимения перегибов ствола (традиционных при эксплуатации забойных двигателей) с большей протяженностью путем лучшей очистки ствола от шлама и сокращения сил трения. Предотвращается бурильного инструмента, уменьшается количество времени на вынос шлама и наблюдаются преимущества по качеству вскрытия продуктивного пласта благодаря наиболее высокой проходки с непрерывным вращением бурильной колонны. Используя РУС возможно бурить протяженные – более 10 км

горизонтальные стволы, ввиду того, что уменьшается вероятность забить шламом колонну и реализуется более высокая возможность к проводом колонны по горизонтальному стволу [7].

Более подробно роторно-управляемые системы их основные принципы, методы контроля и основные проблемы рассмотрены в приложении А.

2 Роторно-управляемые системы российских производителей

В настоящее время осуществляется огромная программа импортозамещения. Всеми силами отечественная промышленность старается выйти на новый уровень. Осуществляются многочисленные инвестиции в разработки технологий. Данная программа не обошла стороной нефтегазовую отрасль, а конкретно высокотехнологичные средства бурения – роторно-управляемые системы.

В 2015 г. только два производителя: концерн «Электроприбор» и НПП «Буринтех» — перешагнули этапы концептуальной проработки и проектирования и смогли выйти на скважинные испытания прототипов первых отечественных РУС. Такие компании, как «Тюменская буровая компания», «Пермская компания нефтяного машиностроения», ГК «Интегра» и некоторые другие, озвучили свои намерения разрабатывать РУС, но пока работы находятся на стадиях концептуальной проработки и проектирования.

2.1 «РУК 8.75 БС» (RSS Push the bit)

На рис. 2 представлен прибор РУК-8.75 БС производства концерна «Электроприбор». По способу управления долотом данный прибор относится к типу Push the bit. Направление долота регулируется путем нажатия на стенку скважины выдвижными башмаками. Имеются три выдвижных башмака. Работа прибора осуществляется на четырех режимах. Типоразмер долот — 220,7 мм. Источником питания служат литиевые батареи. Наиболее близкие аналоги — AutoTrak, BakerHughes, RSS Scout, SmartDrilling [2].



Рисунок 2 – РУК-8.75 БС

При испытании прибора РУК-8.75 БС были поставлены следующие

задачи:

1. Проверка характеристик системы:

— устойчивости к внешним воздействиям в условиях бурения скважины (скважинным давлением, температуре, осевым и боковым нагрузкам, вибрации);

— способности отклонять в заданном направлении траекторию скважины при вращении бурильной колонны;

— интенсивности искривления ствола в режимах сброса и набора зенитного угла (ЗУ).

2. Исследование возможности передачи управляющих команд с поверхности при помощи вибрации колонны.

3. Оценка надежности и износостойкости.

При испытаниях прибора РУК-8.75 БС:

— успешно пройден тест перед спуском в скважину;

— обеспечен выход на плановый режим бурения;

— подтверждена способность прибора изменять траекторию скважины при непрерывном вращении всей бурильной колонны;

— показана возможность принимать команды с поверхности.

Однако, данная система имеет несколько недостатков. РУК-8.75 БС не может осуществить обмен данными с телеметрическими аппаратами с поверхностным оборудованием, внутренний элемент ненадежен (разрушился при бурении интервала протяженностью 216 метров), точность управлением траекторией скважины находится на низком уровне. Опираясь на зарубежный опыт, давно используемых аналогов за рубежом, выявлены 2 пути доработки РУК-8.75 БС.



Рисунок 3 – Пути совершенствования прибора РУК-8.75 БС

2.2 « РУС – ГМ195» (RSS Point the bit)

Компания ООО НПП «БУРИНТЕХ» в рамках реализации отраслевой стратегии альтернативного замещения в части высокотехнологичных сервисов при бурении создала первую отечественную роторно-управляемую систему, основанную на гидромеханическом принципе и совместимую с любой стандартной телеметрической системой. Концепция отклонения долота от оси забоя скважины «Push-the-bit» и система имеют два рабочих режима. Изготовленный опытный образец роторно-управляемой системы РУС-ГМ-195 успешно прошел испытания, подтвердив работоспособность.

На рисунке 4 представлена схема прибора РУС-ГМ195, который является прототипом серийной роторной управляемой системы и по способу управления долотом относится к типу Point-the-bit. Направление долота регулируется путем изменения геометрии нижней части РУС, принцип действия — гидромеханический. Прибор имеет два режима работы: набора кривизны и стабилизации. Для защиты от поворота корпуса применяются одна выдвижная лопатка и две пассивные направляющие. Типоразмер долот — 215,9–222,3 мм. Источник питания — поток промывочной жидкости. Аналоги отсутствуют.

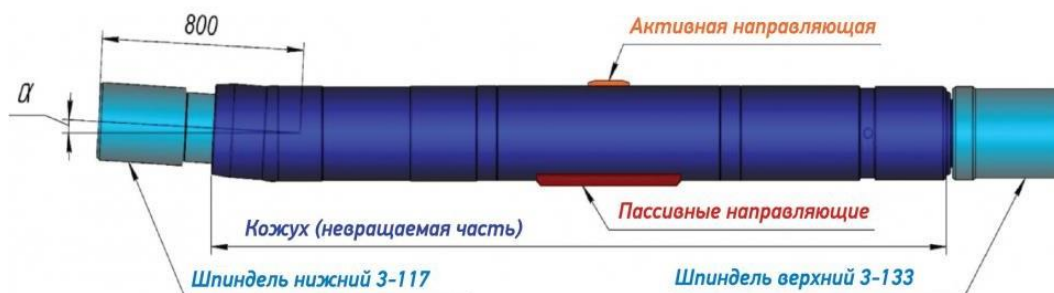


Рисунок 4 – схема прибора РУС-ГМ195

Задачи, поставленные при испытаниях РУС-ГМ-195, были аналогичны при испытаниях РУК-8.75 БС.

При испытании РУС-ГМ-195 отмечены следующие положительные моменты:

- 1) успешно пройден тест перед спуском в скважину;
- 2) обеспечен выход на плановый режим бурения;
- 3) имеется связь с телеметрией, обеспечивающая возможность наблюдать за работой оборудования.

При этом выявлены следующие недостатки:

- 1) конструкция не обеспечивает стабилизацию невращаемой части прибора в открытом стволе, что привело к невозможности управления траекторией;
- 2) индикация режимов работы РУС слабая или отсутствует даже при наличии связи с телеметрией;
- 3) невозможно определить способность принимать команды по переключению режимов работы.

Дорабатывать РУС-ГМ-195 можно в нескольких направлениях (рисунок 5). Выбор того или иного пути совершенствования узлов конструкции помимо инженерного обоснования требует оценки затрат и рисков, так как концепция, предложенная НПП «Буринтех», не имеет аналогов в мире.

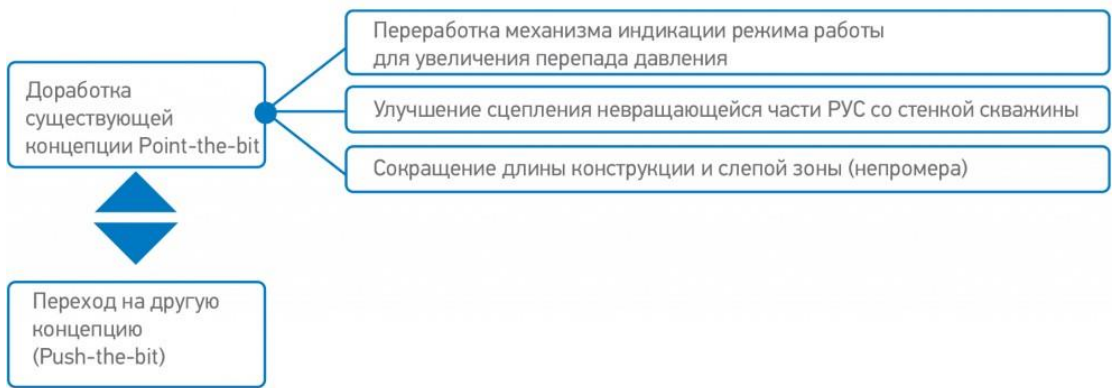


Рисунок 5 – Направления совершенствования прибора РУС-ГМ-195

3 Роторно-управляемые системы мировых производителей

3.1 Роторно-управляемые системы компании «Schlumberger»

Являясь лидером на рынке роторно-управляемых систем, компания «Schlumberger» представляет широкий выбор РУС:

1) РУС PowerDrive X6

Быстрая и точная проводка скважин

2) РУС PowerDrive Xceed

Бурение в сложных геологических условиях

3) РУС с отклоняющим модулем PowerDrive Orbit

Повышенная надежность, улучшенный контроль за траекторией

4) РУС PowerDrive vorteX

Усиленная забойная мощность

5) РУС PowerDrive Archer

Высокая интенсивность искривления ствола скважины

3.1.1 Power Drive X6

PowerDrive X6 RSS предназначен для полного управления направлением при вращении бурильной колонны. Эффективные системы нисходящей линии связи и автоматическое удержание наклона обеспечивают плавное касательное сечение и повышают истинную точность вертикальной глубины в горизонтальном сечении, что крайне важно для максимизации извлекаемых запасов и производственного потенциала скважины. Комплект трехосных датчиков обеспечивает быстрое и точное управление направлением в автоматическом или ручном режиме работы. Дополнительный азимутальный датчик гамма-излучения ближнего бита обеспечивает быструю реакцию на изменения пласта [10].

PowerDrive X6 RSS предоставляет дополнительную опцию гибридного обслуживания для расширенного использования в сложных условиях.

Комбинация push the bit PowerDrive X6 со встроенным гибким соединением позволяет системе использовать принцип point the bit для удовлетворения требовательных требований траектории. В результате получается полностью вращающаяся гибридная система, которая изгибает КНБК с более высокой степенью тяжести

Особенности:

- 1) все элементы РУС вращаются;
- 2) инклинометрия и измерение азимута над долотом;
- 3) измерение уровня вибраций и ударных нагрузок на забое;
- 4) ориентированный гамма-картаж (ГК) над долотом для геонавигации;
- 5) режим автоматического удержания зенитного угла;
- 6) дополнительная гибкая УБТ для увеличения интенсивности набора угла;
- 7) передача данных в режиме реального времени через телесистему;
- 8) возможность комбинирования с РУС PowerDrive vorteX.

Характеристики РУС PowerDrive vorteX различных диаметров указаны в таблице 1.

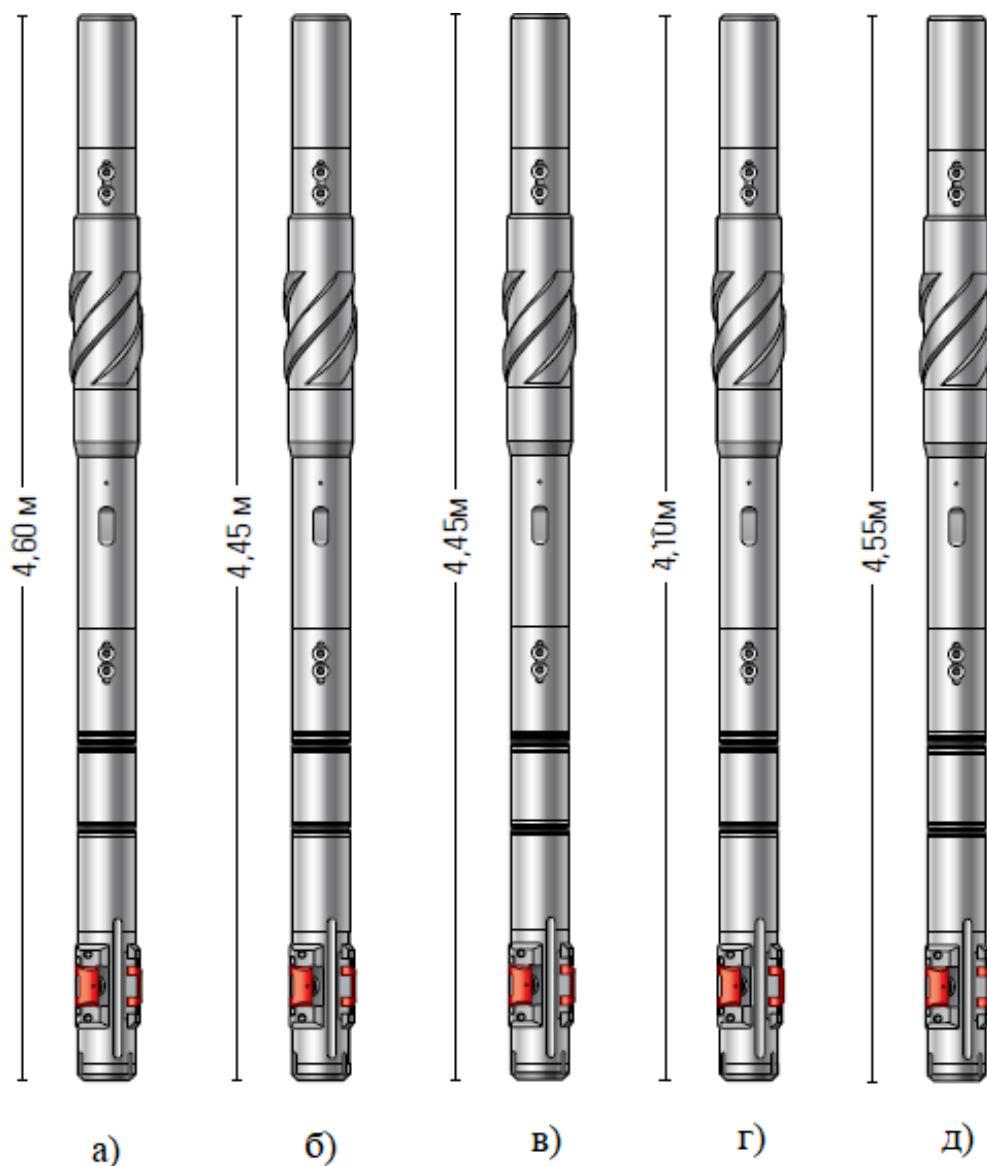


Рисунок 6 – а) PowerDrive X6 1100; б) PowerDrive X6 900; в) PowerDrive X6 825; г) PowerDrive X6 675; д) PowerDrive X6 475.

Таблица 1 – Эксплуатационные характеристики PowerDrive X6

Эксплуатационные характеристики	PowerDrive X6 1100	PowerDrive X6 900	PowerDrive X6 825	PowerDrive X6 675	PowerDrive X6 475
1	2	3	4	5	6
Диаметр ствола, мм	393-711	305 – 375	270 - 295	215,9 – 250,8	139,7 - 172
Тип бурового раствора	РВО/РУО	РВО/РУО	РВО/РУО	РВО/РУО	РВО/РУО
Максимальная рабочая температура, °С	150	150/ 175	150/ 175	150/ 175	150/ 175

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Максимальная пространственная интенсивность, °/30 м	3	5	6	8	8
Диапазон расхода, л/с	19 - 126	19 - 126	19 - 126	12.6 - 60	6.3 - 24
Наличие конфигурации приборов	Низкая/средняя/высокая производительность	Низкая/средняя/высокая производительность	Низкая/средняя/высокая производительность	Низкая/средняя/высокая производительность	Низкая/средняя/высокая производительность
Максимальное давление на забое, МПа	137	137/206	137/206	137/206	137/206
Максимальная скорость вращения, об/мин.	220 (диаметр скважины от 393 до 469,9мм)	220	220	220	220
	125 (диаметр скважины от 508 до 711 мм)				

3.1.2 PowerDrive Xceed

Роторная управляемая система Power Drive Xceed ориентирована на направленное бурение и подразумевает возможность использования для забуривания новых направлений ствола скважины и бурения скважин увеличенного диаметра [10]. РУС Power Drive Xceed предоставляет возможность приема данных в режиме реального времени, взаимодействуя с системами телеметрии Power Pulse и Power Scope. Зенитный и азимутальный углы скважины поддерживаются автоматически, определяются они в

непосредственной близости от долота, также система позволяет измерять скорость вращения долота.

Характеристики PowerDrive Xceed указаны в таблице 2.

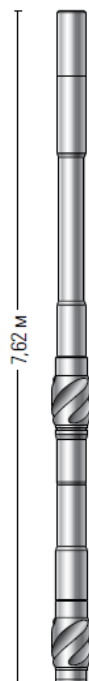


Рисунок 7 – PowerDrive Xceed

Таблица 2 – Эксплуатационные характеристики PowerDrive Xceed

Эксплуатационные характеристики	PowerDrive Xceed 900	PowerDrive Xceed 675
Диаметр ствола, мм	311-444,5	212,7 – 250,8
Тип бурового раствора	РВО/РУО	РВО/РУО
Максимальная рабочая температура, °С	150	150
Максимальная пространственная интенсивность, °/30 м	6,5	8
Диапазон расхода, л/с	28,4 -113,5	18,3 – 50,4
Максимальное давление на забое, МПа	137	137
Максимальная скорость вращения, об/мин.	350	350

3.1.3 PowerDrive Orbit

Инновационный дизайн отклоняющейся лопатки с металлическим уплотнительным кольцом, повышает устойчивость к воздействию коррозионных буровых растворов и неблагоприятных условий на забое. Увеличенный лимит максимальной скорости вращения до 350 об/мин позволяет повышать механическую скорость проходки и контроль образования неравномерных стенок скважины. Измерение зенитного угла и азимута по 6-ти осям позволяет лучше определять абсолютную глубину скважины и осуществлять ее точную проводку.

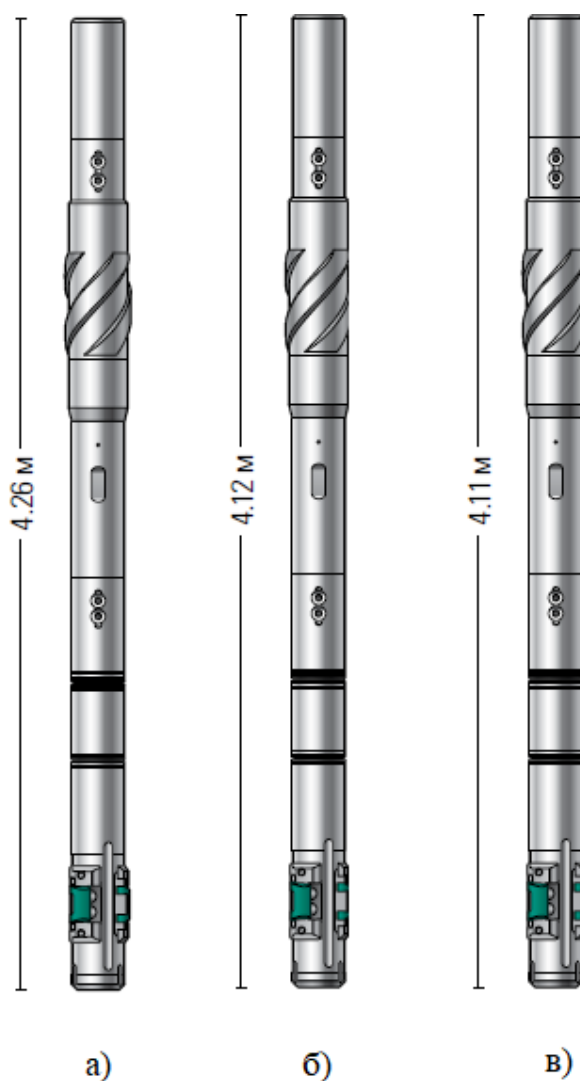


Рисунок 8 – а) PowerDrive Orbit 900; б) PowerDrive Orbit 675; в) PowerDrive Orbit 475.

Таблица 3 – Эксплуатационные характеристики PowerDrive Orbit

Эксплуатационные характеристики	PowerDrive Orbit 900	PowerDrive Orbit 675	PowerDrive Orbit 475
Диаметр ствола, мм	311,1 - 374,6	215,5	146
Тип бурового раствора	РВО/РУО	РВО/РУО	РВО/РУО
Максимальная рабочая температура, °С	150/ 175	150/ 175	150/ 175
Максимальная пространственная интенсивность, °/30 м	5	8	8
Диапазон расхода, л/с	17,6 - 126	13,2 - 60,5	7,5 - 22
Наличие конфигурации приборов	Низкая/средняя/высокая производительность	Низкая/средняя/высокая производительность	Низкая/средняя/высокая производительность
Максимальное давление на забое, МПа	137	137	137
Максимальная скорость вращения, об/мин.	350	350	350

3.1.4 PowerDrive vorteX

В любой среде бурения PowerDrive Vortex RSS обеспечивает мощность, необходимую для точного размещения скважин, с превосходным качеством скважины при обеспечении максимальной эффективности бурения. PowerDrive vorteX RSS позволяет выполнять бурение с увеличенным значением скорости проходки. Так же система характеризуется минимальным значением риск прихвата, износа обсадной колонны и усталости буровой колонны [10].

Полностью интегрированная силовая часть системы преобразует гидравлическую энергию бурового раствора в механическую энергию. Это увеличивает обороты на долоте, максимизируя мощность. С PowerDrive vorteX RSS максимизирует момент на долоте, уменьшая вибрацию и сопротивление.

PowerDrive vorteX RSS совместим с функцией автоматического искривления и функцией удержания угла для автоматического бурения вертикальных или горизонтальных участков, обеспечивая более высокую точность и скорость проходки.

Характеристики PowerDrive vorteX указаны в таблице 4.

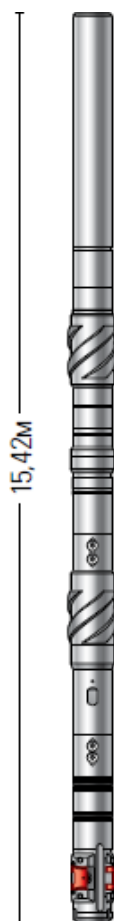


Рисунок 9 – PowerDrive vorteX

Таблица 4 – Эксплуатационные характеристики PowerDrive vorteX

Эксплуатационные характеристики	Эксплуатационные характеристики соответствуют РУС PowerDrive X6 или PowerDrive Xceed (120.6 – 279.4мм) с УБТ соответствующего диаметра
Максимальная рабочая температура, С	150/175
Максимальное давление на забое, МПа	137/206

3.1.5 PowerDrive Archer

PowerDrive Archer – роторная управляемая система, предоставляющая возможность производить бурение нестандартных профилей, которые ранее можно было пробурить лишь с помощью винтовых забойных двигателей. Эта инновационная система обеспечивает непрерывную и высокую интенсивность набора кривизны из любого зенитного угла — испытания показали значение более $17^\circ/30\text{м}$. Все внешние детали PowerDrive Archer вращаются, что значительно снижает риск механического или дифференциального прихвата и улучшает качество ствола скважины и, тем самым, облегчает процесс их заканчивания. Система способна бурить сложные трехмерные скважины от башмака до башмака и забуривать новые стволы из любых точек в открытом стволе. В основе РУС PowerDrive Archer лежат проверенные и надежные технологии, используемые в РУС PowerDrive X6, а также уникальный блок гибридного управления, который максимально увеличивает дренирование пласта и снижает риски при бурении.

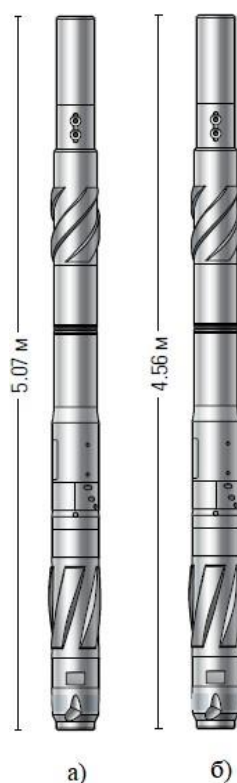


Рисунок 10 – а) PowerDrive Archer 675; б) PowerDrive Archer 475.

Таблица 5 – Эксплуатационные характеристики PowerDrive Archer

Эксплуатационные характеристики	PowerDrive Archer 675	PowerDrive Archer 475
Диаметр ствола, мм	212 – 222	149,2 – 171,5
Тип бурового раствора	РВО/РУО	РВО/РУО
Максимальная рабочая температура, °С	150	150
Максимальная пространственная интенсивность, °/30 м	18	18
Диапазон расхода, л/с	14,5 - 41	13,9 - 22
Наличие конфигурации приборов	Низкая/средняя/высокая производительность	Низкая/средняя/высокая производительность
Максимальное давление на забое, МПа	137	137
Максимальная скорость вращения, об/мин.	350	350

3.2 Роторно-управляемые системы компании «Baker Hughes»

3.2.1 «AutoTrack Curve» RSS

Роторно-управляемая система AutoTrak Curve обеспечивает лучшую экономичность бурения, точное размещение ствола скважины и более быстрое бурение в нестандартных зазорах. Это сокращает время на скважине благодаря надежной производительности, меньшему риску и улучшенному результату [11].

Система исключает скольжение и обеспечивает стабильное управление и высокую скорость оборотов в минуту, даже в условиях сильного скольжения. Непрерывное вращение колонны максимизирует общую эффективность за счет уменьшения крутящего момента и сопротивления, чтобы обеспечить высокое качество ствола скважины, лучшую очистку скважины и меньшее время очистки.

В 2018 году нефтегазовая компания «Cheyenne» связались с Бейкер Хьюз чтобы пробурить скважину на сланцевом месторождении «Eagle Ford»

Система AutoTrak Curve позволила Cheyenne просверлить 95/8 дюймов обсадной колонны и впоследствии с 2631 до 13188 футов за один проход общая протяженность составила 10 462 фута. Система AutoTrak Curve пробурила вертикальный участок скважины и смогла начать движение в правильном направлении, увеличивая угол наклона до 88 ° с интенсивностью искривления 8°/100 футов [11]. Секции были точно пробурены за шесть дней, а производительность системы AutoTrak Curve за один проход оказалась на два дня больше, чем в среднем по офсетным скважинам. При средней стоимости распространения данной установки в размере 40 000 долларов США компания Cheyenne сэкономила приблизительно 80 000 долларов США на эксплуатационных расходах, связанных с эксплуатацией установки.

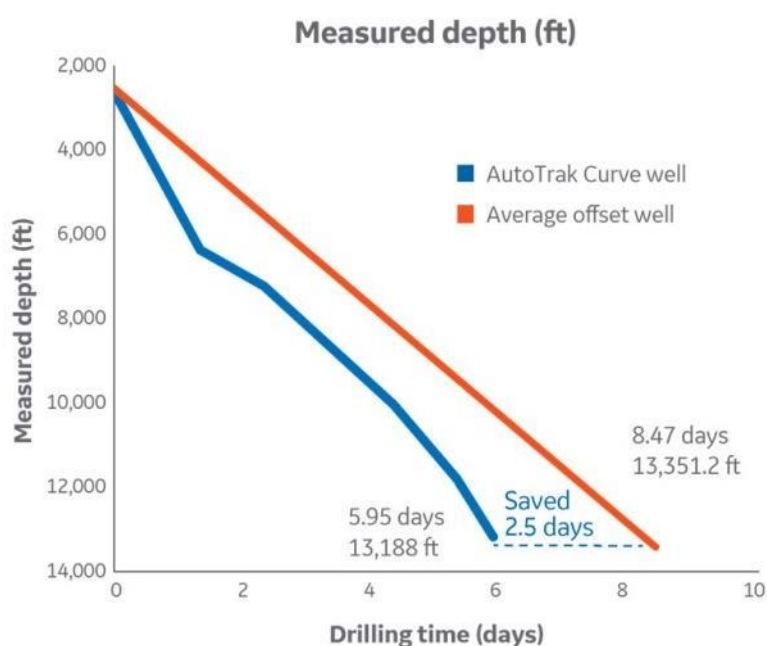


Рисунок 11 – График отношения глубины и затраченных дней на бурение.

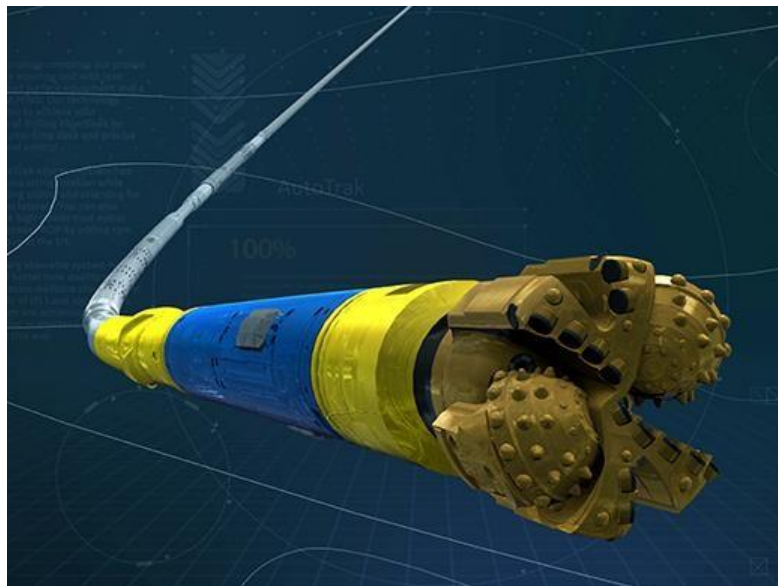


Рисунок 12 – Модель «AutoTrack Curve» RSS

3.2.2 «AutoTrack X-tream» RSS

Роторно-управляемая система AutoTrak X-treme с применением забойного двигателя минимизирует вредную динамику колонны и износ КНБК или обсадной колонны при одновременном увеличении энергии на долоте, что позволяет системе AutoTrak X-treme бурить дальше и быстрее, чем обычные RSS. В отличие от других управляемых систем, система AutoTrak X-treme имеет жестко смонтированный двигатель, который обеспечивает полную двунаправленную передачу данных между MWD / LWD, блоком рулевого управления и другими датчиками в КНБК. Это имеет решающее значение для эффективной навигации резервуара [11].

AutoTrak X-treme показала хорошие результаты в полевых условиях, она быстро установила множество критериев производительности бурения, которые отличают ее от других технологий роторно-управляемых систем:

- 1) повышенная надежность при исключительно высоком вращении скорость до 400 об / мин - обеспечивает превосходное отверстие очистка для работы с меньшим риском при высоких оборотах;
- 2) увеличена рекордная скорость обращения, даже в экстремальных, суровые условия, регулярное бурение более 100% быстрее, чем другие поворотные системы;

- 3) снижение износа бурильной колонны и обсадной колонны на 50% при СПО и сложных многосторонних скважинных операция

3.2.3 «AutoTrak eXpress»

Система AutoTrak eXpress представляет собой автоматизированный 3-D роторный управляемый буровой сервис, использующий самую передовую в отрасли технологию управляемых стабилизаторов AutoTrak G3 с роторным замкнутым контуром (RCLS). Новый Autotrak eXpress предоставляет экономически эффективные услуги роторно-управляемого бурения для более широкого рынка направленного бурения. Преимущество этого нового роторного рулевого управления позволяет повысить эффективность буровой установки, обеспечить эффективное трехмерное управление направлением и достичь более жестких производственных целей в чувствительном к затратам бурении [11].

Инструмент может автоматически поворачиваться во время непрерывного вращения бурильной колонны с изменением траектории скважины, сообщаемой инструменту с поверхности при бурении. Информация об азимуте и уровне вибрации получают из сенсорного блока. Датчик направления (и дополнительный гамма-датчик) обменивается данными с датчиками стабилизатора AutoTrak для определения угла наклона, забоя, температуры, давления и диагностической информации. Передача данных на поверхность осуществляется с помощью самой современной технологии бурового насоса INTEQ. Новый нисходящий канал Autotrak eXpress обеспечивает очень надежную и простую в использовании связь для программирования скважинного прибора с поверхности.

По команде с поверхности система AutoTrak eXpress может:

- 1) автоматически поддерживать набор угла или падения;
- 2) автоматически поворачиваться к новому курсу цели и поддерживать наклон цели.
- 3) бурить касательные и горизонтальные участки в режиме

автоматического удержания наклона.

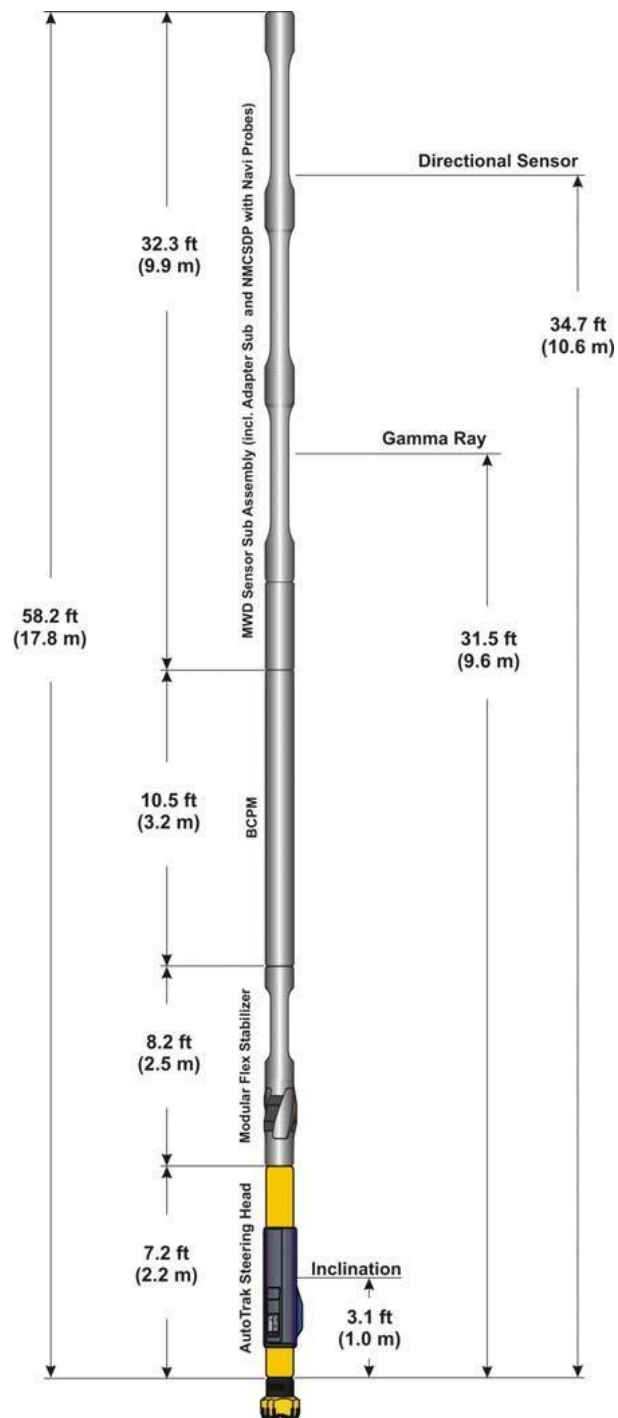


Рисунок 13 - AutoTrak eXpress

Характеристики AutoTrak eXpress отображены в таблице 6.

Таблица 6 – Эксплуатационные характеристики AutoTrak eXpress

Эксплуатационные характеристики	6 3/4" AutoTrak eXpress (171,145)
Диаметр ствола, мм	215,9 - 250
Тип бурового раствора	РВО/РУО
Максимальная рабочая температура, °С	150
Максимальная пространственная интенсивность, °/30 м	0-8
Диапазон расхода, л/с	57
Наличие конфигурации приборов	Низкая/средняя/высокая производительность
Максимальное давление на забое, МПа	138

3.3 Роторно-управляемые системы компании «Weatherford»

3.3.1 «Magnus» RSS

Роторно-управляемая система Magnus – это полностью вращающаяся конструкция с прочной, но простой конструкцией, облегчающей обслуживание даже в удаленных местах. Датчики, расположенные всего в 6 футах позади долота, обеспечивают точные показания угла наклона и гаммы для эффективного размещения ствола скважины и изменений геонавигации. Высокочастотная система управления обеспечивает быструю скорость отбора проб для проверки местоположения и оптимизации управления в приложениях с высокой частотой вращения и неблагоприятных условиях вибрационного бурения [12].

Прямая линия связи «на лету» с использованием технологии двунаправленной связи DownLink Commander быстро подтверждает информацию и выполняет немедленную регулировку рулевого управления.

Благодаря использованию технологии push-the-bit роторно-управляемая система Weatherford Magnus (RSS) обеспечивает высокопроизводительное бурение с точным направленным управлением. Практически в любой среде или приложении RSS предлагает надежные конструктивные элементы, обеспечивающие надежность и эффективность бурения, чтобы заблаговременно обеспечить качественный ствол скважины. RSS совместим с комплектом датчиков LWD компании Weatherford Wave для

выполнения требований по оценке пласта или геонавигации.



Рисунок 14 – «Magnus» RSS

Таблица 7 – Эксплуатационные характеристики Magnus RSS

Эксплуатационные характеристики	Magnus 675	Magnus 950	Magnus 1100
Диаметр ствола, мм	212,725 - 250,825	304,8 - 368,3	374,65 - 469,9
Тип бурового раствора	РВО/РУО	РВО/РУО	РВО/РУО
Максимальная рабочая температура, °С	150	150	150
Максимальная пространственная интенсивность, °/30 м	10	6	5
Расход, л/с	44,2	75,7	88,3
Максимальное давление на забое, МПа	206,8	172,4	172,4
Максимальная скорость вращения, об/мин.	300	300	300

3.3.2 «Revolution» RSS

Revolution RSS обеспечивает точное бурение в скважинах с большим отходом от вертикали с использованием технологии point the bit, которая улучшает качество скважины, скорость прохождения и срок службы долота. Короткая компактная конструкция снижает сложность технологии роторно-управляемой системы и размещает комплекс LWD вблизи долота.

В RSS используется поворотный стабилизатор, который ориентирует ось бурового долота относительно оси запланированного пути скважины, что оптимизирует процесс направленного бурения и максимизирует эффективность бурения. Насос генерирует движущую силу для отклонения бурильной колонны в соответствии с запрограммированным планом скважины.

Характеристики РУС Revolution отображены в таблице 8.



Рисунок 15 – «Revolution» RSS

Таблица 8 – Эксплуатационные характеристики Revolution RSS

Эксплуатационные характеристики	Revolution 675	Revolution 950	Revolution 1100
Диаметр ствола, мм	146,05 - 171,45	200, - 276	276 - 463,55
Тип бурового раствора	РВО/РУО	РВО/РУО	РВО/РУО
Максимальная рабочая температура, °С	149	149	149
Максимальная пространственная интенсивность, °/30 м	6 - 10	6 - 10	5 – 7,5
Расход, л/с	22	47,3	94,6
Максимальное давление на забое, МПа	172	172	172

3.4 Роторно-управляемые системы компании «Halliburton»

3.4.1 «Geo-Pilot Dirigo» RSS

Этот новейший агрегат обеспечивает высокую производительность в самых тяжелых условиях, где требуются высокие скорости бурения или когда мягкие пласты обычно ограничивают способность к скорости наращивания при использовании других систем. При бурении через пласты с залеганием, где порода может чередоваться между мягкой и довольно твердой, система «Geo-Pilot Dirigo» обеспечивает более стабильную скорость наращивания и помогает поддерживать более высокие скорости проникновения [13].

Система «Geo-Pilot Dirigo» идеально подходит для бурения скважин с большим отходом от вертикали, когда бурение происходит в неглубоких, мягких пластах. Эти траектории скважин повышают эффективность бурения за счет уменьшения крутящего момента и сопротивления, а также ускорения и плавности спуска.

Роторно-управляемая система «Geo-Pilot Dirigo» является единственной Роторно-управляемой системой для больших скважин, которая может создавать профили, которые ранее были возможны только с помощью

двигателей, но с лучшим качеством ствола скважины и более высокими скоростями проникновения [13].

Преимущества:

- 1) Интенсивность набора угла $10^{\circ}/30\text{м}$
- 2) Точка отклонения от вертикали располагается ниже и соприкосновение с резервуаром позже



Рисунок 16 – «Geo-Pilot Dirigo» RSS

3.4.2 «Geo-Pilot Duro» RSS

Geo-Pilot Duro роторно-управляемая система, созданная для увеличения надежности и работоспособности в сложных условиях, в которых необходима оптимальная эффективность бурения, время бурения и контроль за потерями бурового раствора. Отмечая значительное улучшение

производительности RSS, система представляет собой надежное решение для сложных условий бурения и идеально подходит для глубоководных резервуаров и резервуаров с расширенным охватом [13].

Преимущества:

- 1) Сокращенное время бурения, большее число оборотов в минуту
- 2) Улучшенная устойчивость к скольжению и защита от перегрузки
- 3) Увеличенная продолжительность бурения при высоких уровнях удара и вибрации, с улучшенной устойчивостью к скольжению по сравнению с обычными RSS
- 4) Меньше отключений и сокращенное время бурения: остановка потери бурового раствора, а затем продолжение бурения

3.4.3 «Geo-Pilot GXT» RSS

Обеспечивая повышенную мощность и обороты в минуту непосредственно на долото, система Geo-Pilot GXT преодолевает сложные пласты, уменьшая при этом скольжение. Система дает вам возможность достичь более высоких скоростей проникновения при минимальном износе обсадной колонны, отделяя скорость долота от скорости бурильной колонны.

Преимущества:

- 1) Больше энергии напрямую подается на долото, улучшая эффективность пародоразрушения и скорость проникновения, а также преодолевая скольжение
- 2) Отсоединение долота от бурильной колонны уменьшает передачу вибраций к LWD и другим компонентам КНБК, улучшая срок службы
- 3) Скорость вращения бурильной колонны может быть уменьшена для минимизации износа обсадной колонны, в то время как скорость долота оптимизирована для лучшей производительности бурения

Роторно-управляемая система Geo-Pilot GXT полностью интегрирована со всеми датчиками Sperry Drilling LWD и системой управления информацией о буровой установке, обеспечивая полный пакет данных для бурения и оценки в реальном времени [13].



Рисунок 17 – «Geo-Pilot GXT» RSS

3.4.4 «Geo-Pilot» RSS

В роторно-управляемой системе Geo-Pilot запроектирован управляемый отклонитель, который состоит из цельного вала, размещенного между долотом и верхней частью инструмента.



Рисунок 18 – РУС Geo-Pilot

Благодаря отдельной либо совместной работе систем привода кольца отклоняются вместе или по отдельности вследствие чего вал отводится в сторону по осевой линии корпуса, заставляя вал менять своё положение и ориентировать долото в направлении заданного угла установки отклонителя. Вращающиеся уплотнения внутри корпуса разработаны намеренно для того чтобы не предоставлять возможности буровому раствору проникать внутрь системы, а смазочным компонентам вытекать наружу.

Секция вала опирается на верхний подшипник фиксированного конца, нижний плавающий подшипник и подшипник радиальной опоры, проходя сквозь корпус. Во время изгиба вала эксцентриковыми кольцами вал изгибается промеж верхнего подшипника фиксированного конца, с помощью которого вал не изгибается выше себя и нижним плавающим подшипником, предоставляющий долоту возможность отклоняться в любых заданных

направлениях и свободно вращаться. Исходя из того, что большая часть нагрузки передаётся на долото посредством корпуса, то за счёт этого вал можно запроектировать более тонкий и управляемый вал [13].



Рисунок 19 – «Geo-Pilot» RSS

3.4.5 «iCruise Intelligent» RSS

Интеллектуальная роторная управляемая система (РУС) iCruise™ имеет возможность автоматизации для обеспечения точной направленной работы и безошибочной проводки скважин, что помогает операторам сократить время строительства скважины благодаря большей скорости бурения, надежной работе и предсказуемым результатам [13].

Простая и очень прочная интеллектуальная РУС iCruise обладает одними из самых высоких эксплуатационных характеристик среди представленных на рынке систем. Это позволяет операторам сократить время бурения и увеличить до максимума скорость проходки на нетрадиционных, зрелых месторождениях и в условиях глубоководного бурения. Модульная компоновка низа бурильной колонны (КНБК) может быть сконфигурирована для более быстрого бурения протяженного горизонтального участка или для бурения за один рейс вертикального, участка набора и горизонтального участков.



Рисунок 20 - «iCruise Intelligent» RSS в полевых условиях

3.5 Downhole Adjustable Rotary Tool компании «Андергейдж»

Управляемая роторная система DART (Downhole Adjustable Rotary Tool) представляет собой 100% механический инструмент для бурения скважин по плавным кривым траекториям с постоянной интенсивностью изменения угла. Искривление по принципу трёхточечной стабилизации обеспечивается путём приложения постоянного бокового усилия от несоосного стационарного стабилизатора к долоту.

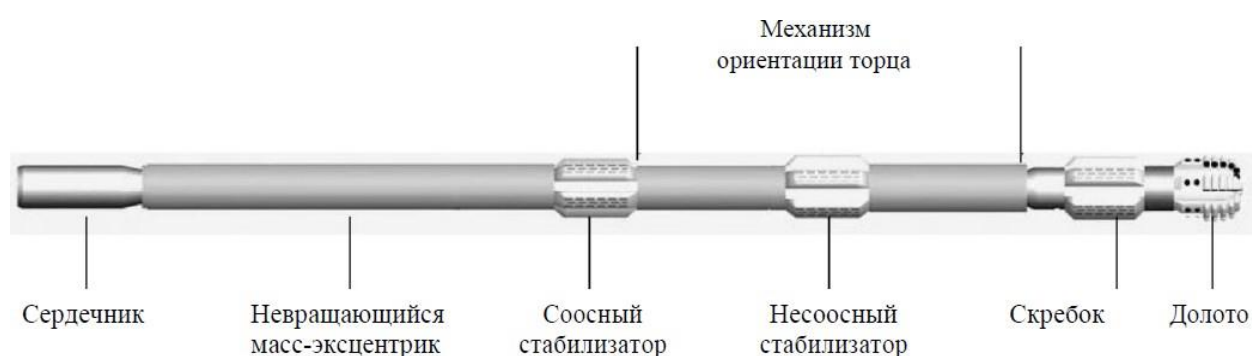


Рисунок 21 – Роторно-управляемая система DART

Система DART включает следующие элементы и устройства:

На следующем рисунке показан пример принципа действия системы: несоосный стабилизатор предаёт на долото боковое усилие, которое направляет торец инструмента на 45 градусов вправо от точки зенита. Таким образом, бурение осуществляется именно по этому вектору.

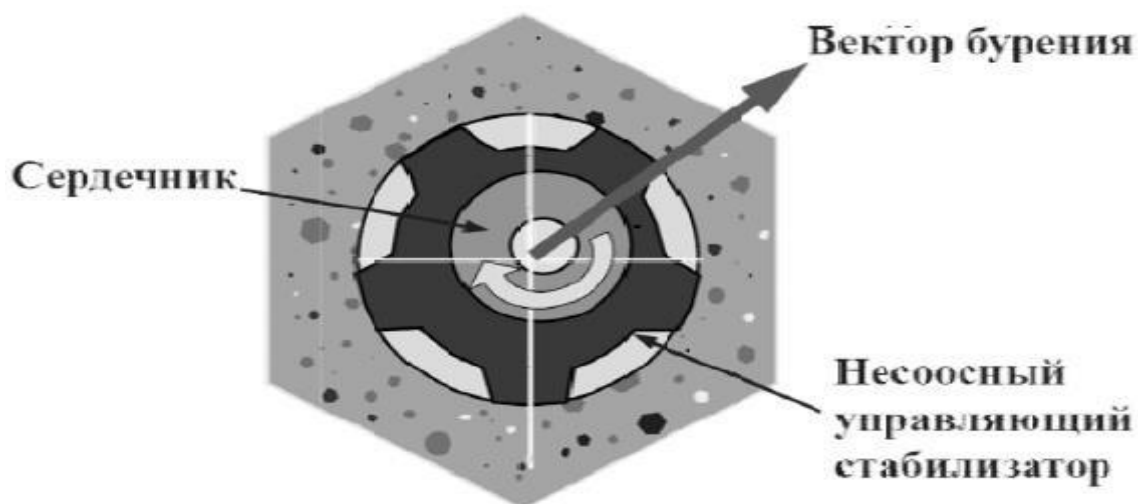


Рисунок 22 – Принцип действия системы

Бурение наклонных участков с применением системы DART производится путём поочередной ориентации торца в противоположных направлениях. Поскольку изменение ориентации торца при помощи системы DART производится легко и быстро, эта процедура не приводит к увеличению времени бурения и позволяет получить прямой ствол скважины. Технические характеристики отображены в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики системы DART

Характеристика	Значение
Диаметр инструмента, мм	120,6 для бурения скважин 149,2-171,5 мм
Длина, м	8,23, включая над долотный и первый колонный калибратор
Интенсивность набора угла, град./30 м	3 ⁰ /30 м (возможна регулировка под меньшую интенсивность)
Объём подачи раствора, л/с	9,5-18,9
Внутренний диаметр, мм	28,57
Максимальная температура, °С	150
Максимальная осевая нагрузка, кН	136
Максимальная скорость вращения, об./мин.	220
Максимально допустимая интенсивность	25 град./30 м (без вращения) искривления, град./30 м

3.6 «Suresteer» RSS компании «APS technology»

Роторно-управляемая система «SureSteer» RSS 475 был создан в дополнение к проверенному в эксплуатации вращающемуся управляемому двигателю APS (RSM). Принимая во внимание, что RSM имеет встроенную силовую секцию, предназначенную для максимизации мощности на долоте, RSS либо работает под буровым двигателем, либо приводится в движение непосредственно от верхнего привода, чтобы максимизировать производительность и скорость бурения [14].

Особенности и преимущества:

1) Может быть запрограммирован на использование системы обратной связи с обратной связью для контроля вертикального или тангенциального угла, или для работы с предоставленными на поверхности инструкциями для эффективного бурения любого направленного плана скважины.

2) Легко программируемый в скважине и простой в использовании. Серия временных изменений скорости насоса позволяет переключаться между режимами или выключать инструмент

3) Может быть напрямую связан с системой APS MWD или LWD для более высокого уровня комплексного контроля траектории

На рулевой головке расположены рулевые колодки; направленная измерительная и управляющая электроника; и электрические и гидравлические энергетические системы, которые приводятся в действие интегрированной системой турбины и генератора.

Управляющая электроника подает сигналы синхронизации на гидравлический коллектор для управления направлением рулевого управления и усилием для достижения желаемой цели [14].

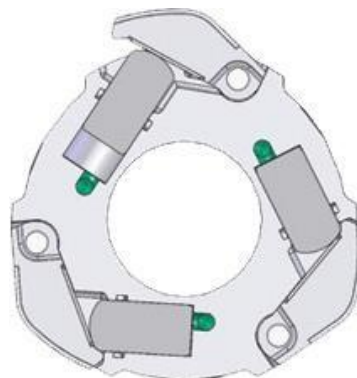


Рисунок 23 – Отклоняющее устройство

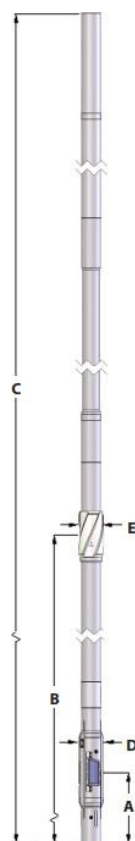


Рисунок 24 – «Suresteer» RSS компании «APS technology»

Характеристики РУС «Suresteer» отображены в таблице 10.

Таблица 10 – Параметры «Suresteer» RSS

Номинальный диаметр скважины, мм	152,4/171
Максимальная скорость вращения об/мин	200
Максимальный момент, Н*м	13150
Максимальная рабочая температура, °C(°F)	150(302)
Максимальное давление на забое, МПа	137,9
Расход бурового раствора, м ³ /ч	68.13 - 272.55

3.7 «Wellguide» RSS компании «Gyrodата»

«WellGuide» RSS от «Gyrodата» — это полностью автоматизированная роторно-управляемая система (Point the bit), которая позволяет превосходно управлять направлением бурения для оптимального ствола скважины что в итоге приводит к максимизации производства [15].

WellGuide обеспечивает предварительное программирование цели для азимута и наклона.

Проектирование и производительность:

- 1) Немагнитная конструкция с целью размещения датчика (азимут / наклон) для достижения большей точности и аккуратности
- 2) Разработан для обеспечения полного контроля при низких углах до $0,5^\circ$, что обеспечивает повышенную целостность ствола скважины по сравнению с обычными системами RSS.
- 3) Совместим с доступной системой MWD для доставки в реальном времени почти битовых данных (наклон, азимут, об / мин, подтверждение линии связи).
- 4) Полная интеграция для широкого спектра сложных операций, включая LWD и MicroGuide (каротаж скважины высокой плотности).
- 5) Приведение в действие от внутреннего источника питания, обеспечивающее отсутствие падения давления или гидравлической неэффективности.

Общие параметры «Wellguide» RSS отображены в таблице 11, а параметры бурения указаны в таблице 12



Рисунок 25 – «Wellguide» RSS компании «Gyrodata»

Таблица 11 – Общие параметры

Параметры	4 3/4" WELLGUIDE RSS	7" WELLGUIDE RSS	10" WELLGUIDE RSS
Длина, м	7,3	7,6	9,5
Вес, кг	549,754	999,7176	2549,643
Максимальная нагрузка на долото, кг	11339,809	24040,396	31751,4659
Максимальная точка ухода от вертикали, °/м	12,5°/30,48	6°/30,48	3°/30,48
Максимальная скорость вращения, об/мин	250	200	150
Максимальная рабочая температура, °C(°F)	150(302)	150(302)	150(302)
Допустимый дополнительный свехвес на крюке, кг	158757,33	226796,185	453592,37
Долговечность батареи, ч	200	250	400

Таблица 12 – Параметры бурения

Параметры	4 3/4" WELLGUIDE RSS	7" WELLGUIDE RSS	10" WELLGUIDE RSS
Максимальный крутящий момент, Н*м	10846	20000	41000
Максимальное давление на забое, МПа	138	138	138
Расход бурового раствора, м ³ /ч	68.137412	136.274824	272.549648

4 Анализ роторно-управляемых систем

4.1 Сравнительный анализ роторно-управляемых систем

В данном разделе разобраны ключевые критерии сравнения роторно-управляемых систем.

Опираясь на практический опыт строительства наклонно-направленных скважин, предоставляется возможным обозначить основные критерии выбора систем бурения:

1. механическая скорость проходки;
2. реализация искривления в соответствии с проектом
3. качество ствола скважины;
4. эффективная длина горизонтальной секции;
5. безаварийность проходки;
6. стоимость оборудования.

На множестве скважин, где использовались роторные управляемые системы, был замечен рост скорости проходки относительно забойного двигателя. Специалисты отдела бурения ОАО «Верхнечонскнефтегаз» и департамента по геологии и разработке месторождений компании Schlumberger приводят следующие данные для Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения: средняя механическая скорость проходки с использованием РУС на четырех скважинах составила 16 м/ч (рекорд – 21,85 м/ч), что вдвое выше, чем при использовании винтовых забойных двигателей (ВЗД). Это позволило сократить цикл бурения горизонтальных секций на три дня – до 3,62 суток. Иными словами, на бурение 100 м с использованием РУС требуется вдвое меньше времени – 0,65 суток вместо 1,39 суток.

Также можно привести пример работы компании Ultra Petroleum на месторождении Марселлус. В 2010 году компания приступила к реализации

ускоренной программы бурения. Компания пробурила первую (контрольную) скважину на месторождении Марселлус с использованием управляемого объемного двигателя. Следующие 10 скважин были пробурены при помощи РУС PowerDrive Archer. В некоторых из них боковой ствол зарезали долгим поворотом на азимут 90° или более для выхода на уровень целевого горизонта при одновременном наращивании угла со скоростью до $8^\circ/30$ м. Возникновение геологических неопределенностей возле точки входа в пласт иногда требовало принятия корректирующих мер, например, часто было нужно увеличить темп набора кривизны. В результате, скважины, пробуренные с применением РУС, обеспечили существенную экономию времени бурения. Кроме того, за счет качественно пробуренного ствола, все колонны заканчивания были спущены без происшествий. Гибридная РУС также позволила глубже проникнуть в целевой объект, что привело к повышению дебитов добычи более чем вдвое.

При оценке механической скорости бурения также следует учитывать увеличение длины горизонтальной секции, обеспечиваемое применением РУС. Так, на упомянутом месторождении Марселлус, скорость набора кривизны составила $8^\circ/30$ м, что, по данным компании Ultra Petroleum, позволило оператору увеличить скорость проходки на 80%, по сравнению со скважинами, пробуренными ранее при помощи объемных двигателей. После бурения гладкого ствола на всем изогнутом участке оператор смог перейти на РУС PowerDrive X5, которая пробурила боковой ствол длиной 1385 м на проектную глубину всего за один проход. Высокая скорость проходки изогнутого интервала в сочетании с высокой скоростью набора кривизны и гладкостью пробуренного бокового ствола позволил сократить время бурения на 10 дней.

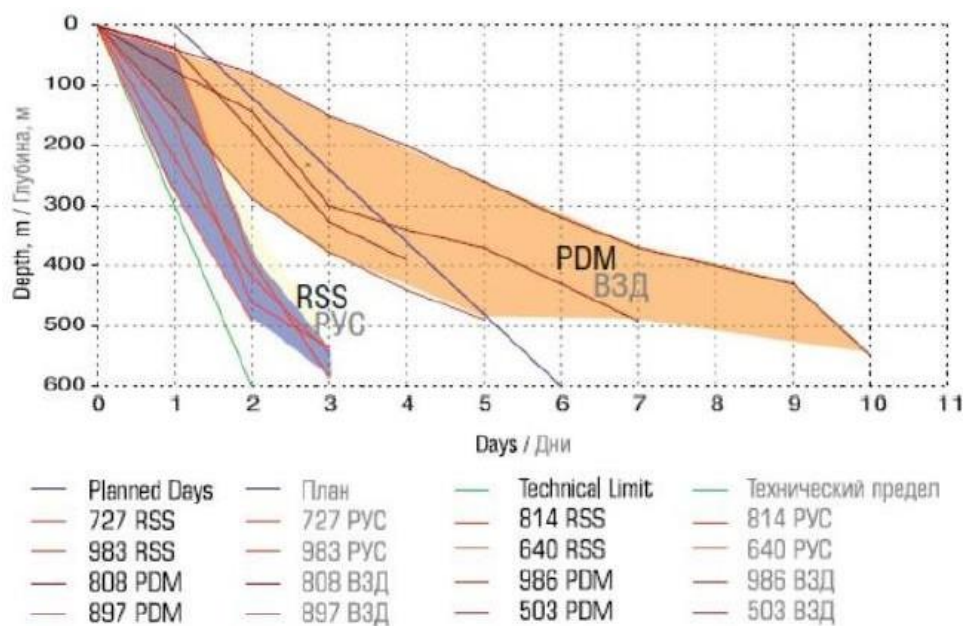


Рисунок 29 – График «глубина-день» для секции диаметром 152,4 мм (без времени на спускоподъемные операции), по данным ОАО «Верхнечонскнефтегаз» для Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения

Другим немаловажным показателем является качество ствола скважины. Бурение управляемым двигателем характеризуется низким качеством ствола, волнообразными неровностями и резкими изгибами, при этом они являются практически неустраняемыми недостатками метода. Это возникает во время так называемого "слайдирования". В данном режиме колонна бурильных труб не вращается, а вращается только долото. Основные сложности в этом случае вызваны недостатком вращения колонны труб. В процессе проходки бурильная колонна скользит по лежащей стенке скважины, промывочная жидкость движется вокруг нее неравномерно, что уменьшает выносящую способность раствора и способствует повышению риска прихвата колонны. Кроме того, повышается риск желобообразования и прихвата колонны. На рисунке 30 представлены изображения, полученные с помощью каверномера. Они показывают, при бурении с использованием объемного двигателя получается ствол скважины со спиралевидной канавкой (вверху на рис. 30), в то время как роторная управляемая система создает намного более гладкий ствол.

Происходит это вследствие того, что в процессе бурения роторной управляемой системой колонна вращается постоянно, что способствует качественной промывке ствола, а долото направленно соосно с направлением бурения скважины. [8].



Рисунок 30 – Сравнение качества ствола скважины, построенного по данным каверномера: сверху – забойный двигатель с кривым переводником, снизу – роторная управляемая система

Что касается эффективной длины горизонтальной секции, то здесь также отмечено преимущество РУС, как в отечественном опыте бурения, так и за рубежом. Специалисты Департамента буровых работ ОАО «Верхнечонскнефтегаз» и Департамента по геологии и разработке месторождений компании Schlumberger приводят следующие данные: применение РУС позволило эффективнее пробурить скважину и размещать ее в самых продуктивных зонах пласта. При этом эффективная длина горизонтальной секции увеличилась до 70 %, в то время как на скважинах, пробуренных с использованием ВЗД, этот показатель составляет всего 30%. В результате, дебиты скважин увеличились вдвое – до 200-250 т в сутки.

На рисунке 31 представлена трехмерная траектория скважины, пробуренной на месторождении сланцевого газа Марселлус. Для строительства данной скважины была использована РУС PowerDrive Archer для отхода забоя от вертикали, бурения трехмерной дуги с изменением азимута более чем на 100° и последующего бурения наклонного участка.

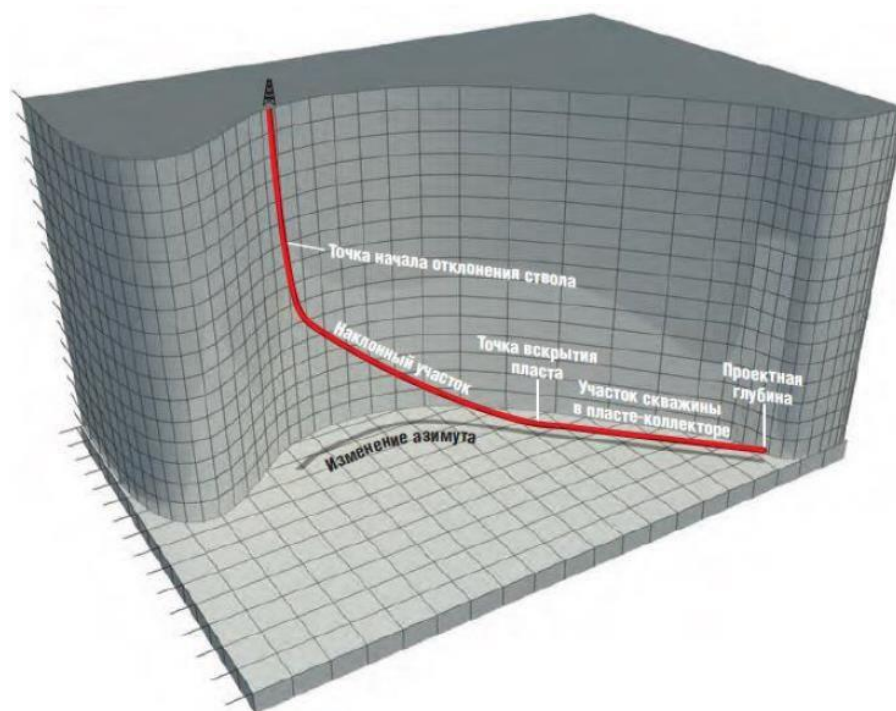


Рисунок 31 – 3D модель траектории скважины

Безаварийность проходки является тем критерием, по которому сложно сделать определенные выводы. Причина аварии, в том числе с потерей инструмента, может быть не связана прямо с типом применяемого забойного оборудования. Тем не менее, исходя из условий применения забойного двигателя, можно сделать вывод о несколько большей опасности аварии. Это связано, в первую очередь, с уже упомянутым «скользящим» режимом бурения. Основной опасностью здесь является желобообразование и неравномерное движение промывочной жидкости вокруг колонны, что способствует возникновению прихвата.

Стоимостной критерий является наиболее существенным препятствием широкому внедрению роторных управляемых систем. Так, если

РУС будет потеряна в скважине во время бурения, стоимость замены данного оборудования может превысить \$1 млн. А замена ВЗД обойдется примерно в \$200 тыс.

Исходя из того, что роторно-управляемые системы преимущественно выбираются для бурения с продолжительными горизонтальными участками, наилучшим вариантом для рассмотрения являются роторно-управляемые системы для бурения под хвостовик. Роторно-управляемые системы таких компаний, как Baker Hughes и Halliburton не рассматриваются в данном анализе, так как у представленных моделей отсутствует разработка для бурения "под хвостовик", либо недостаточно данных для проведения анализа.

Далее были выделены основные характеристики роторно-управляемых систем и проведен сравнительный анализ. Результаты представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Сравнительный анализ РУС

Характеристики	«PowerDrive X6 475» компании «Schlumberger»	«PowerDrive Archer 475» компании «Schlumberger»	«Revolution 675» компании «Weatherford»	«Suresteer» компании «APS technology»	«Wellguide RSS» компании «Gyrodatta»	«DART» компании «Андергейдж»
Управление смещением долота	Push the bit	Hybrid	Point the bit	Push the bit	Point the bit	Point the bit
Диаметр ствола, мм	139,7-172	149,2-171,5	146-171,5	152,4-171	152,4-171	149,2-171,5
Тип бурового раствора	РВО/РУО	РВО/РУО	РВО/РУО	РВО/РУО	РВО/РУО	РВО/РУО
Максимальная рабочая температура, °С	150/175	150	149	150	150	150
Максимальное давление на забое, МПа	137	137	172	137,9	138	137
Максимальная пространственная интенсивность, %/30 м	8	18	10	6,5	12,5	3
Максимальная скорость вращения, об/мин	220	350	300	200	250	220
Максимальный крутящий момент на долоте, Н*м	5420	12500	13558	13150	10846	13600
Максимальная осевая нагрузка, т	22,3	24,3	11,3	-	11,4	13,6
Диапазон расхода, л/с	6,3 - 24	13,9 - 22	22	18	18	9,5 - 18,9
Цена, млн. руб./24 ч циркуляции	1,8	2	2,3	-	-	-

4.2 Морфологический анализ роторно-управляемых систем

Морфологический анализ – это эвристический метод решения задач, основанный на построении таблицы, в которой указываются основные показатели или элементы, составляющие объект и производится их оценка.

Очередность действий для анализа такова:

1. Определить конкретную цель.
2. Выделить ключевые элементы объекта.
3. Занести их в таблицу.
4. Провести оценку имеющихся вариантов.
5. Выбрать оптимальный вариант.

В данной работе был применен вариант с присвоением веса определённым критериям и перевод их в баллы, для удобства сравнения. Суммарно вес выбранных показателей должен быть равным единице.

Первым шагом необходимо определить, какие параметры будут использоваться для анализа, а от каких можно отказаться, чтобы не нагружать таблицу лишними элементами. Для этого были использованы результаты сравнительного анализа, отображённые в таблице 13.

Максимальная рабочая температура, максимальное давление на забое и тип бурового раствора – второстепенные элементы для данного типа анализа. Связано это решение с тем, что все рассмотренные РУС, спроектированы для критических значений давлений и температур, а промывка осуществляется всеми видами промывочных жидкостей.

Такой технологический параметр, как расход бурового раствора также определяется второстепенным, вследствие того, что при бурении под выбранный нами для рассмотрения интервал нет необходимости в большом литраже. А также во всех рассмотренных моделях РУС, данный параметр находится в одном диапазоне.

Геологическими условиями принято решение пренебречь, так как ни твердость, абразивность, кавернозность или трещиноватость не оказывают

существенного влияния на работу непосредственно РУС, как, например на ПРИ.

Максимальная пространственная интенсивность искривления – важнейший параметр, чем больше данный показатель, тем более сложный профиль возможно будет пробурить и с большей глубины начать отклонение от вертикали. Данному параметру присвоен вес 0,3 балла.

Максимальный крутящий момент и максимальная осевая нагрузка – немаловажные показатели в данном анализе. От них зависит в насколько твёрдых горных породах, и с какой наибольшей механической скоростью мы будем производить бурение. Исходя из этого, данным параметрам присвоен вес 0,2 балла и 0,25 балла соответственно.

Максимальная скорость вращения – несущественный параметр, в рамках производимого морфологического анализа, потому что у всех выбранных для исследования моделей РУС высокие показатели скорости вращения, максимальные значения которых, скорее всего даже не будут применяться в процессе бурения. Однако, некоторые модели обладают гораздо большими значениями, что может косвенно указывать на их более высокую надёжность и просто более высокое технологическое развитие. Данному параметру присвоено 0,1 балла.

Цена – параметр, не влияющий на бурение, но определенно важный для покупателя или арендатора. Учитывая это, выделяем фактор с весом немного ниже среднего в текущем анализе, а именно 0,15 балла.

Результаты присвоения веса параметров отображены в таблице 14.

Таблица 14 – Вес параметров

Параметр	Вес
Интенсивность искривления	0,3
Максимальный крутящий момент	0,2
Максимальная осевая нагрузка	0,25
Максимальная скорость вращения	0,1
Цена	0,15

Далее необходимо проранжировать показатели от "1" до "5" под заданные условия. В соответствии с целью необходимо выбрать РУС подходящую под различные геолого-технические условия. И в итоге необходимо результаты проранжированных параметров умножить на присвоенный вес параметров. Результаты отображены в таблицах 15 и 16.

Таким образом, был получен проранжированный перечень роторно-управляемых систем для бурения в различных геолого-технических условиях под интервал спуска хвостовика.

1. «PowerDrive Archer 475» компании «Schlumberger» – 4,85 балла.
2. «Revolution 675» компании «Weatherford» – 4,3 балла.
3. «PowerDrive X6 475» компании «Schlumberger» – 4,3 балла.
4. «Wellguide RSS» компании «Gyrodatta» – 4,25 балла.
5. «DART» компании «Андергейдж» – 3,55 балла.
6. «Suresteer» компании «APS technology» – 3,35 балла.

Таблица 15 – Проранжированные показатели под условие универсальности РУС

Характеристики	«PowerDrive X6 475» компания «Schlumberger»	«PowerDrive Archer 475» компания «Schlumberger»	«Revolution 675» компания «Weatherford»	«Suresteer» компания «APS technology»	«Wellguide RSS» компания «Gyrodatta»	«DART» компания «Андергейдж»
Интенсивность искривления	4	5	4	3	5	2
Максимальный крутящий момент	3	5	5	5	4	5
Максимальная осевая нагрузка	5	5	4	2	4	4
Максимальная скорость вращения	5	5	5	5	5	5
Цена	5	4	4	3	3	3

Таблица 16 – Морфологический анализ РУС

Характеристики	«PowerDrive X6 475» компания «Schlumberger»	«PowerDrive Archer 475» компания «Schlumberger»	«Revolution 675» компания «Weatherford»	«Suresteer» компания «APS technology»	«Wellguide RSS» компания «Gyrodota»	«DART» компания «Андергейдж»
Интенсивность искривления	1,2	1,5	1,2	0,9	1,5	0,6
Максимальный крутящий момент	0,6	1	1	1	0,8	1
Максимальная осевая нагрузка	1,25	1,25	1	0,5	1	1
Максимальная скорость вращения	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Цена	0,75	0,6	0,6	0,45	0,45	0,45
ИТОГО	4,3	4,85	4,3	3,35	4,25	3,55

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В этом разделе выпускной квалификационной работы проводится расчет затрат на внедрение оборудования для наклонно-направленного бурения в производственную систему разработки нефтегазовых месторождений, и расчет целесообразности и экономичности использования роторных управляемых систем взамен винтовым забойным двигателям.

В данной дипломной работе проведена сравнительная характеристика оборудования для наклонно-направленных скважин. Выбрано подходящее оборудование для бурения в определенных горно-геологических условиях, увеличивающее ресурс эффективность и снижающее экономические затраты на строительство скважин.

SWOT-анализ

SWOT-анализ представлен совокупным обзором инженерного проекта. Его применение заключено в описании преимуществ и недостатков проекта для того, чтобы у организации или менеджера проекта появилась отчетливая картина.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 14.

Таблица 17 – Матрица SWOT

<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличение механической скорости проходки. 2. Сокращение сроков строительства скважин. 3. Не требуется переквалификация 4. Простота в применении. 5. Исключение возможных осложнений при бурении. 6. Простота в применении. 7. Большой срок службы. 	
<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Необходимость замены на более мощные буровые насосы. 2. Дороговизна оборудования. 	
<p>Возможности: В1. Существование потенциального спроса на альтернативные способы бурения со стороны буровых компаний. В2. Сокращение количества спускоподъемных операций. В3. Постоянное вращение бурильной колонны – постоянное шаблонирование ствола скважины, и уменьшение вероятности прихвата.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Существование потенциального спроса на альтернативные способы бурения со стороны буровых компаний. 2. Сокращение количества спускоподъемных операций. 3. Постоянное вращение бурильной колонны – постоянная шаблонировка ствола скважины, и уменьшение вероятности прихвата. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вероятность неправильного использования оборудования из-за низкой квалификации кадров.
<p>Угрозы: У1. Более дешевые аналоги оборудования. У2. Возможные погрешности в проводке ствола из-за ошибок в специализированном программном обеспечении.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не окупаемость оборудования при бурении некоторых скважин. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Незаинтересованность буровых сервисных компаний в переходе на данный вид оборудования из-за дороговизны. 2. Простой оборудования из-за применения более дешевых аналогов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Исследование конкурентоспособных технических решений со стороны ресурсоэффективности и ресурсосбережения дает возможность осуществить сравнительной оценки эффективности роторных управляемых систем с винтовыми забойными двигателями и определить направления для будущей модернизации. Данный сравнительный анализ позволяет корректировать оборудование, чтобы быть конкурентоспособным.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

1. технические характеристики разработки;
2. уровень проникновения на рынок;
3. бюджет разработки;
4. конкурентоспособность разработки;
5. финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения.

Таблица 18 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Брус	Бвзд	Крус	Квзд
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,2	8	5	3	4
2. Удобный в эксплуатации	0,15	4	6	4	1
3. Надежный	0,11	3	5	2	2
4. Простота эксплуатации	0,08	2	3	1	2
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	3	3	2	2
2. Уровень проникновения на рынок	0,04	1,5	1,5	0,5	0,5
3. Цена	0,14	6	3	2	3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,11	5	3	2	1
5. Обслуживание	0,07	2	2	2	1
Итого	1	34,5	31,5	18,5	16,5

$B_{\text{рус}}$ – Бурение с применением роторных управляемых систем;

$B_{\text{взд}}$ – Бурение с применением винтовых забойных двигателей.

$K_{\text{рус}}$ – Конкурентоспособность РУС

$K_{\text{взд}}$ – Конкурентоспособность ВЗД

Проведя анализ, мы делаем вывод, что роторные управляемые системы составляют достойную конкуренцию винтовым забойным двигателям по нескольким критериям. Но для успешной реализации оборудования необходимо проводить рекламную кампанию, подкрепляя успешными испытаниями в производственной сфере.

Развитая сфера конкурентоспособности объясняется большой разновидностью скважинного оборудования для бурения на рыночной площадке.

Формирование организационной структуры управления инженерным проектом

Формирование структурной схемы имеет базисную роль, в процессе формируются основные характеристики организации, а также тенденции, согласно которым должно быть реализовано более подробное проектирование, как организационной структуры, так и других важнейших качеств системы (внутриорганизационного экономического механизма, методов обработки информации, кадрового обеспечения).

Самым распространённым видом структуры иерархического типа является линейно-функциональная структура (рисунок 34). В основу её построения положены: линейная вертикаль управления и специализация управленческого труда по функциональным подсистемам организации (маркетинг, производство, исследования и разработки, финансы, персонал и др.).

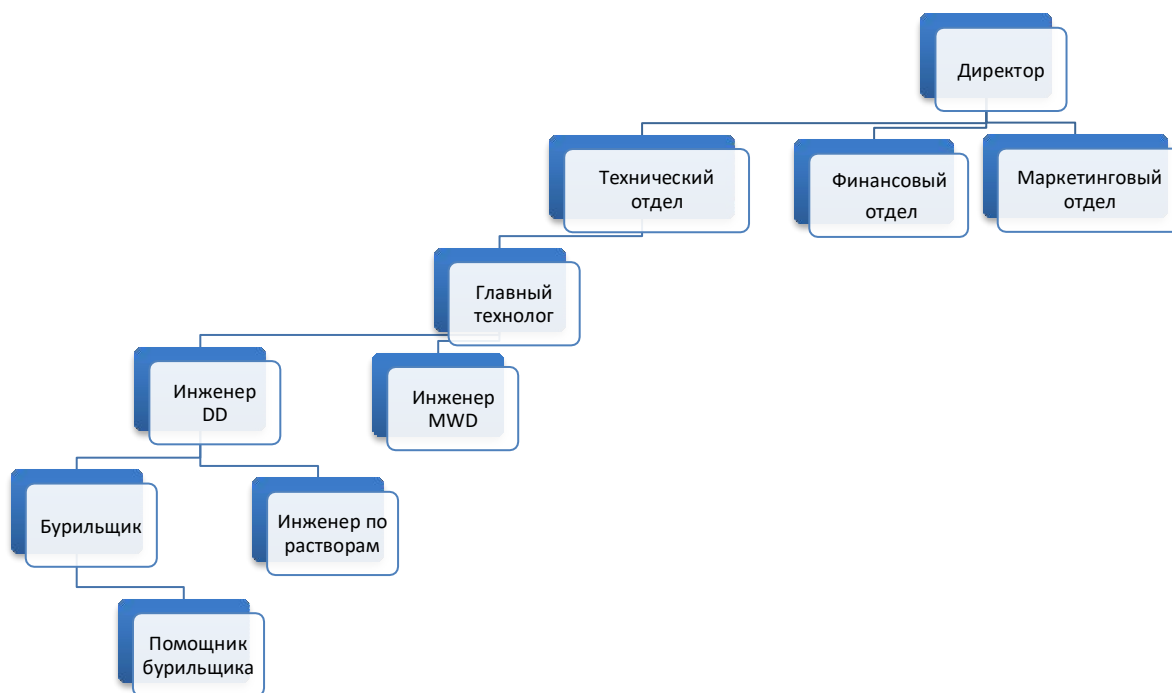


Рисунок 34 – Линейно-функциональная структура управления

Составление бюджета разработки и внедрения инженерных решений

Расчет фонда заработной платы персонала показан в таблице 16. Результаты данного расчета необходимы для определения калькуляции себестоимости модернизации буровой установки, приведенной в таблице 17.

Таблица 19 – Расчет фонда заработной платы персонала

Исполнитель	Оклад, тыс.руб. /мес	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Коэффициент	Фонд з/платы, тыс. руб.
Главный технолог	180	6000	12	3,5	210
Инженер DD	126	4200	12	3,5	147
Инженер MWD	120	4000	12	3,5	140
Бурильщик	111	3700	12	3,5	130
Инженер по растворам	90	3000	12	3,5	105
Помощник бурильщика	84	2800	12	3,5	98
Итого					829

Таблица 20 – Калькуляция себестоимости продукции

Наименование статей расхода	Ед. изм.	Сумма, тыс. руб.
Топливо на технологические цели	л.	150
Энергия всех видов на технологические цели	кВт	220
Заработная плата полевого персонала	руб.	333
Закупка бурового скважинного оборудования	руб.	14000
Доставка нового оборудования на месторождение	руб.	2000
Заработная плата ИТР	руб.	497
Общепроизводственные расходы	руб.	210
Итого	руб.	17410

Проведение анализа безубыточности инженерного проекта

Так как бурение роторными управляемыми системами производится только для бурения наклонно-направленных и горизонтальных участков под эксплуатационную колонну с большой протяженностью, а для остальных применяются винтовые забойные двигатели или роторные компоновки. Проведем сравнительный анализ целесообразности применения такого вида оборудования.

Дана скважина глубиной 5000 метров и горизонтальным окончанием 2000м. При использовании винтовых забойных двигателей на горизонтальном участке происходит снижение механической скорости проходки и повышенный износ бурильного инструмента. Поэтому рационально применять компоновки низа бурильной колонны с использованием роторных управляемых систем. Срок строительства скважины по графику глубина-день составляет 35 суток. Так же стоит учесть, что при бурении применяется силовой верхний привод и буровые насосы типа УНБТ 1080L в количестве 2 штук.

Приблизительная стоимость горизонтальной скважины, глубиной 5000 метров и более составляет порядка 150 млн. рублей.

Проведя анализ использования роторных управляемых систем, можно сделать вывод, что из-за постоянного вращения бурильной колонны осевая нагрузка на долото доходит на 83%. Что увеличивает механическую скорость в 1,5-2 раза. Из-за сокращения количества спускоподъемных операций, на которые затрачивается порядка 35% от времени всего строительства скважины, применение роторных управляемых систем сокращает сроки строительства наклонно горизонтальных скважин.

Главный положительный эффект применения РУС – снижение времени на бурение, а следовательно уменьшение затрат. Временные затраты из общей суммы составляют 20 млн. руб.

Таблица 21 – Исходные данные

Глубина скважины, м	L=5000
Продолжительность бурения с ВЗД, дни	$t_{\text{общ}}^0$
Продолжительность бурения с РУС, дни	$t_{\text{общ}}$
Время на спускоподъемные операции с ВЗД, дни	$t_{\text{СПО}}^0$
Время на спускоподъемные операции с РУС, дни	$t_{\text{СПО}}$
Время на бурение операции с ВЗД, дни	$t_{\text{бур}}^0$
Время на бурение операции с РУС, дни	$t_{\text{бур}}$
Скорость бурения с ВЗД, м/день	V_0
Скорость бурения с РУС, м/день	V
Стоимость бурения скважины, млн. руб.	C=150

Время на СПО с ВЗД:

$$t_{\text{СПО}}^0 = 0,35 * t_{\text{общ}}^0 = 0,35 * 35 = 12,25 \text{ дней} \quad (5.1)$$

значит время на СПО с РУС составит:

$$t_{\text{СПО}} = 0,3 * t_{\text{общ}}^0 = 10,5 \text{ дней} \quad (5.2)$$

Также из экспериментальных данных:

$$V = 1,1 * V_0 \quad (5.3)$$

следовательно:

$$t_{\text{бур}} = \frac{t_{\text{бур}}^0}{1,1} = \frac{t_{\text{СПО}}^0 - t_{\text{общ}}^0}{1,1} = \frac{35 - 12,25}{1,1} = 20,68 \text{ дней} \quad (5.4)$$

Таким образом, общее время бурения с РУС составит:

$$t_{\text{общ}} = t_{\text{СПО}} + t_{\text{бур}} = 10,5 + 20,68 = 31,18 \approx 31 \text{ день} \quad (5.5)$$

Экономия времени составляет:

$$\Delta t = t_{\text{общ}} - t_{\text{общ}}^0 = 35 - 31 = 4 \text{ дня} \quad (5.6)$$

Для того, чтобы выразить это в денежном эквиваленте, найдем стоимость одного дня бурения:

$$C_{1\text{д}} = \frac{20000000}{35} = 571400 \text{ руб.} \quad (5.7)$$

Общая экономия при сокращении буровых работ на 4 дня составит:

$$\Delta C = 4 * 571400 = 2285600 \text{ руб.} \quad (5.8)$$

Значит, за год экономия составит более 20 млн. руб.

Стоит отметить, что ведется расчет на одну буровую установку. Персонал такой буровой установки бурит за год в среднем 10 скважин.

Ресурс роторной управляемой составляет примерно 12 000 м, а следовательно, при бурении эксплуатационных скважин глубиной до 5 000 м требуется заменять долото и сопутствующие материалы, в то время как насос УНБТ 1080L имеет гораздо больший срок службы и относится к постоянным затратам.

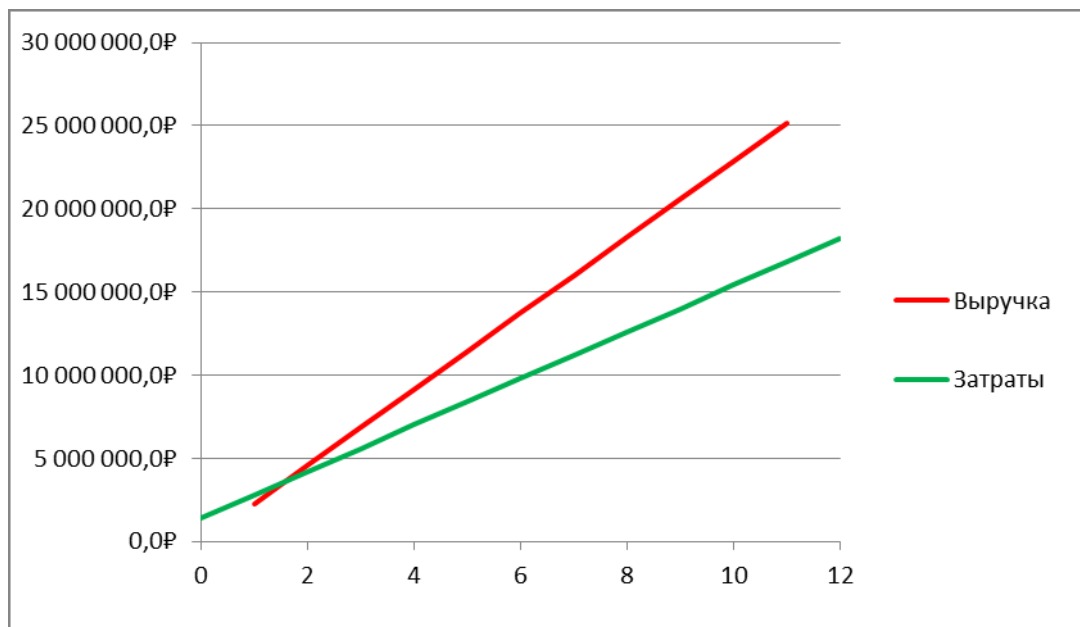


Рисунок 35 – График срока окупаемости

Из графика следует, что срок окупаемости составляет два месяца.

Оценка эффективности инженерных решений

Анализ экономических итогов проекта выполняется на основании

годовых показателей, рассчитанных по годам продолжительности жизненного цикла реализации проекта.

ЧДД – по международной терминологии NPV – или интегральный эффект:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (R_t - S_t) \frac{1}{(1+n)^t} \quad (5.9)$$

Где: R_t – результаты, достигнутые на t -шаге расчета;

P_p – чистая прибыль;

A – амортизационные отчисления;

S_t – затраты, осуществляемые на том же шаге;

T – горизонт расчета, равный номеру шага расчета, на котором производится ликвидация объекта, т.е. последнему году жизненного цикла проекта;

n – норма дисконта;

На практике пользуются модифицированной формулой для определения ЧДД. Для этого из состава затрат S_t исключают капиталовложения и обозначают K_t – капиталовложения в год t . Сумма дисконтированных капиталовложений вычисляется как:

$$K = \sum_{t=0}^T K_t (1+n)^{-t} \quad (5.10)$$

где t - год вложения средств.

Тогда:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T \frac{P_{pt} + A_t}{(1+n)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1+n)^t} \quad (5.11)$$

Если ЧДД > 0, то проект является эффективным (при данной норме дисконта). Чем больше ЧДД, тем проект эффективнее.

Капиталовложения в первый год были определены при калькуляции себестоимости и составляют:

$$K_t = 8400000$$

$$\text{ЧДД} = \frac{2285600}{(1+0,1)^1} - \frac{840000}{(1+0,1)^1} = 2077818 - 763636 = 1314182 \text{ руб.} \quad (5.12)$$

ЧДД > 0, следовательно, проект является эффективным.

Анализ потенциальных рисков и разработка мер по их управлению

Проектный риск – это совокупный риск осуществления реального инвестиционного проекта, включавший в себя все разновидности индивидуальных рисков. Определение риска в количественном выражении является изменением численных показателей проекта: чистой приведенной стоимости (ЧДД), внутренней нормы доходности (ВНД) и срока окупаемости.

Итогом качественного рассмотрения рисков считается описание неопределенностей, присущих проекту, факторов, вызывающие их, и, как итог, рисков проекта.

В следствии будет организован список рисков, каким подвержен проект. Затем их следует ранжировать согласно важности и величине вероятных потерь.

Действия по уменьшению проектного риска ведутся в 2-х направлениях: избежание возникновения вероятных рисков и сокращение влияния риска.

Целиком исключить риски почти невозможно, однако уменьшить их влияние руководитель способен, понижая влияние негативных условий. Следует в данном разделе сформировать список простых рисков, а также мероприятия по их уменьшению.

Таблица 22 – Риски и меры по ограничению их последствий

Виды рисков	Меры по ограничению последствий рисков
Изменения в законодательстве, налоговый рост	Мониторинг изменений в законодательстве РФ
Появление конкурентного продукта	Систематическое изучение конъюнктуры рынка. Маркетинговые продвижения продукта;
Снижение платежеспособности потребителей, инфляция, рост цен на ресурсы	Резервный фонд для покрытия непредвиденных расходов. Поиск поставщиков
Непредвиденные обстоятельства;	Страхование транспортных перевозок и имущества
Небрежность и не квалифицированность специалистов	Определение систем воздействия к неисполнительным работникам
Технологические нарушения или неправильная технологическая эксплуатация	Обучение персонала работе на новом технологическом оборудовании

Заключение по разделу

Результаты данного раздела подтверждают целесообразность использования роторной управляемой системы в сфере бурения.

SWOT-анализ показал, что РУСы обладают некоторыми преимуществами по сравнению с ВЗД. Эффективность проекта подтверждается положительным ЧДД. А срок окупаемости в два месяца доказывает высокую степень экономичности при значительной себестоимости.

Анализ конкурентных технических решений позволил выявить, что способ бурения с использованием РУСов малоприменим ввиду его специфики применения. Однако в наше время ведется активный поиск альтернативных решений для бурения и использования РУСов является выгодным направлением и при хорошем продвижении способен составить конкуренцию применяемым на данный момент техническим средствам бурения.

6 Социальная ответственность

Социальная ответственность в период формирования зрелого общества приобрела обширное продвижение в абсолютно всех областях деятельности человека. Как правило, социальная ответственность рассматривается как одно из выражений обязанности в обществе. Ответственность равно как метод взаимодействия различных сил в обществе сопряжённая с исполнением тех или иных обязательств, предъявлением на данной основе требований к ответственному лицу или компании, а также применением систематизированных штрафов в случае невыполнения.

В этом разделе рассмотрим более подробно роль социальной ответственности в нефтегазовом деле, в частности в сфере бурения скважин на нефть и газ. Потенциальными пользователями данной работы могут быть организации, работающие в области наклонно-направленного бурения. Географически место проведения работ зависит только от наличия нефтегазоносных пластов в той или иной точке мира. Социальная направленность работы заключается в том, что при рациональном использовании роторно-управляемых систем возможно сокращение времени строительства скважины и уменьшение риска возникновения аварий. Следовательно, уменьшится количество выбросов в окружающую среду и риск травмирования работников.

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальные (характерные для рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

При вахтовом методе применяются более напряженные, по сравнению с обычными, режимы труда с менее благоприятными по сравнению с общими нормами условиями для отдыха, которые связаны с регулярными поездками, а порой и трудом, а также временным проживанием в местностях с тяжелыми природно-климатическими условиями. Поэтому статьей 298 ТК

предусмотрены категории лиц, которых нельзя привлекать к таким работам: лиц в возрасте до 18 лет; беременных женщин; женщин, имеющих детей в возрасте до трех лет; лиц, имеющих медицинские противопоказания к выполнению работ вахтовым методом.[28] До работы допускаются лица прошедшие:

1. профессиональную подготовку с наличием соответствующего документа;
2. медицинский осмотр;
3. инструктаж по охране труда в производственном помещении;
4. инструктаж по электро- и пожаробезопасности;
5. инструктаж по оказанию первой помощи;
6. обучение безопасным приемам и методам труда согласно соответствующей программе;
7. стажировку на рабочем месте;
8. проверку закрепленных знаний по правилам безопасности.

Работник должен проходить:

1. повторный инструктаж не реже одного раза в три месяца;
2. внеплановый инструктаж (при изменении правил охраны труда, модернизации или замене оборудования, изменении организаций и условий труда, при нарушениях соответствующих инструкций, отсутствия на работе более чем 30 дней);
3. целевой инструктаж;
4. проверку полученных знаний по охране труда.

В целях компенсации за вредные условия труда и работу вахтовым методом, работодатели за свой счет обеспечивают работникам: дополнительный отпуск, доплаты, медосмотры, средства индивидуальной защиты.

При достаточном трудовом стаже работники, трудившиеся в районах Крайнего Севера или приравненных к ним, пользуются правом на досрочное назначение трудовой пенсии по старости в возрасте: мужчины в 55 лет,

женщины в 50 лет.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Площадка для производства работ по бурению скважин должна быть тщательно спланирована, очищена от посторонних предметов и ограждена. Буровая установка, прилегающие к ней блоки и территории, где будут работать сотрудники должна быть достаточно освещена, в соответствии с нормативными документами. В производственных помещениях и в зонах работы на открытых площадках необходимо предусматривать аварийное и эвакуационное освещение.

Все движущиеся части механизмов (шестерни, шкивы, шпонки, приводные ремни, цепи и выступающие концы валов) должны быть надежно закрыты кожухами. Открывать дверцы ограждений или снимать ограждения следует после полной остановки оборудования или механизма.

Пуск оборудования или механизма разрешается только после установки на место и надежного закрепления всех съемных частей ограждения.

Производственная безопасность

Значимость вопроса безопасности жизнедеятельности обусловлена тем, то, что современный человек проживает в обществе угрозы со стороны технических, экологических, антропогенных, природных, социальных и других факторов. Вопросы безопасности, оценки риска и защиты от опасностей сопровождали общество с периода его возникновения. Приспосабливание человека к окружающему миру и увеличение его защищенности реализуется посредством подготовки персонала к труду и применение средств коллективной и индивидуальной защиты. Возникают все новые проблемы, в частности вопрос сбережения человеческого здоровья на производстве, возникает нужда предотвращать воздействие опасных и вредных факторов производства.

Согласно работе, производственная безопасность – система мер по защите жизни и здоровья персонала предприятий и граждан, их

имущества, окружающей природной среды от вредных и опасных факторов, возникающих при авариях на опасных производственных объектах. В данной части был произведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при разработке или эксплуатации оборудования.

Далее в таблице 23 показаны опасные и вредные факторы, которые могут возникнуть на производстве [16].

Таблица 23 – Основные опасные и вредные производственные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этап работ	Нормативные документы
	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	1. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны[17]. 2. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности[19]. 3. ГОСТ 12.1.012-2004. Вибрационная безопасность. Общие требования[20]. 4. Р2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды.[21] 5. Приказ от 28 марта 2014 года N 155н "Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте"[23]
2. Превышение уровня шума	+	
3. Повышенный уровень вибрации	+	
4. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;	+	
5. Падение предметов на работника с высоты	+	

Анализ выявленных вредных и опасных факторов

Возможно воздействие вредных факторов, таких как:

1) Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны.

Работа на буровой происходит на открытом воздухе, в результате чего на рабочих действуют различные климатические условия (дождь, снег, ветер, температура окружающей среды).

2) Шум и вибрация.

Возникают при использовании различного технологического оборудования (насосы, лебедка, вибростата, двигатели, ротор, компрессор).

Буровая установка представляет сложный и массивный рабочий объект, состоящий из множества механизмов и различных технических узлов.

Наличие множества подвижных элементов в конструкции установки (буровые насосы, привода, лебедки, ротор и др.), являются чрезвычайно опасными для здоровья рабочих, в случае несоблюдения техники безопасности на объекте.

1. Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования. Риск получения травм при производстве буровых работ очень велик. Из-за того, что на объекте бурения присутствует большое количество движущихся и вращающихся частей машин и механизмов, не оборудованных кожухами и ограждениями (ротор, буровые насосы, лебедка, ключи АКБ, ГКШ).

2. Падение предметов с высоты. Данный вид опасности возникает в связи со спецификой работы на буровой установке. Довольно часто работникам во время проведения определенных технологических операций или ремонта приходится одновременно производить работы на разных высотах.

Мероприятия по снижению воздействия вредных и опасных факторов

1) Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны.

Данный фактор должен соответствовать ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Однако, из-за того, что работы проводятся на открытом воздухе, невозможно искусственно создать необходимый температурный режим. Для защиты от неблагоприятных климатических условий нужно использовать коллективные средства защиты (система отопления, места для отдыха и обогрева, защитные щиты и т.д.) и средства индивидуальной защиты. Следует запрещать работу при неблагоприятных метеоусловиях. Осуществлять чередование труда и отдыха[17].

2) Шум.

Шум на рабочем месте не должен превышать 80 дБА и соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности».

Применяются следующие мероприятия по устранению шума:

1. применение коллективных средств защиты (планово-предупредительные ремонты, смазывание оборудования, установка кожухов, экранов, кабин, звукоизоляции, звукопоглощения, глушителей);
2. применение средств индивидуальной защиты (наушники, вкладыши, противошумный шлем).[19]

3) Вибрация.

Вибрация на рабочем месте регламентируется нормативным документом ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ "Вибрационная безопасность». Общие требования безопасности".

Мероприятия по устранению вибрации:

1. применение коллективных средств защиты: балансировка, установка амортизаторов, проведение планово-предупредительных ремонтов, увеличение массы основания вибрирующих устройств, крепление вибрационных систем;
2. применение средств индивидуальной защиты (виброобувь, виброрукавицы, виброгасящие коврики) [20].

Допустимые нормы вибрации приведены в таблице 24.

Таблица 24 – допустимые нормы вибрации

Частота колебания, Гц	Амплитуда смещения, мм	Скорость перемещения, мм/с
2	1,28	11,2
4	0,28	5
8	0,056	2
16	0,028	2
31,5	0,014	2
63	0,0072	2

Мероприятия по устранению опасных факторов

А) Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования.

Для исключения получения травм необходимо проводить следующие мероприятия:

1. проверка наличия на вращающихся и двигающихся частях механизмов кожухов и защитных ограждений;
2. согласно ГОСТ 12.4.026 – 76 «Цвета сигнальные и знаки безопасности» вывешиваются инструкции, и плакаты по безопасным методам работ, предупредительные надписи и знаки, а также используются сигнальные цвета;
3. проверка состояния пусковых и тормозных устройств, ремней, тросов, цепей;
4. наглядная проверка на механические повреждения;
5. проведение инструктажей по охране труда;
6. Также буровое оборудование должно соответствовать требованиям безопасности устройства и эксплуатации механизмов по ГОСТ 12.2.003–91.

Б) Мероприятия по устранению падения предметов на работника с высоты.

Предупреждение травматизма связанного с падением предметов с высоты достигается выполнением следующих мероприятий:

1. При эксплуатации грузоподъемных механизмов использование блокировок;
2. Лестницы на буровой должны быть с уклоном не более 60°, с высотой перил 1 метр.
3. Использование средств индивидуальной защиты (каска, сапоги с металлическим подноском, защитные очки.) [24].
4. Снижение до минимума количества одновременных работ на разных высотах, при невозможности обеспечения данного условия – обязательно оповестить старшего смены.
5. Не допущение захламления рабочего пространства.
6. Страховка ручного инструмента и любого подвешного оборудования.

Экологическая безопасность

Воздействие нефтяной и газовой промышленности на основные

компоненты окружающей среды (воздух, воду, почву, растительный, животный мир и человека) обусловлено токсичностью природных углеводородов, их спутников, большим разнообразием химических веществ, используемых в технологических процессах, а также все возрастающим объемом добычи нефти и газа, их подготовки, транспортировки, хранения, переработки и широкого разнообразного использования.

Основным видом воздействия на природную среду при использовании скважинного оборудования являются:

1. физическое нарушение почвенно-растительного покрова, фундаментов, природных ландшафтов;
2. нарушение температурного режима геологических процессов (термоэрозия, пучение, наледообразование, заболачивание и др.);
3. нарушение естественной изоляции между пластовыми флюидами в земных недрах, химическое загрязнение горизонтов подземных вод.

Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

В соответствии с "Основами земельного законодательства" РФ 17.04.93 г., законом "О недрах" РФ, 21.02.1992 г., законом РФ "Об охране окружающей природной среды" 10.01.2002 г. производственные объединения и управления организуют ведомственный контроль за использованием и охраной недр, почв и водных объектов, за сбором, очисткой и обезвреживанием отходов производства [26].

Для организации ведомственного контроля за состоянием и охраной окружающей среды на предприятиях создаются соответствующие структурные подразделения, службы, лаборатории или отделы.

Строительство кустового основания осуществляется по проекту, предусматривающему комплекс мероприятий по защите окружающей среды. Проект строительства скважины учитывает требования охраны окружающей среды, как непосредственно в процессе строительства, так и в процессе эксплуатации скважины.

Применяемое для строительства скважины типовое комплектное оборудование не позволяет снизить концентрацию загрязняющих веществ в отходах бурения до уровня ПДК, поэтому комплекс мероприятий носит в значительной мере организационный характер и направлен на предупреждение или максимальное снижение вредного воздействия техники и технологии на окружающую среду.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – состояние, при котором в результате возникновения источника ЧС на объекте, определенной территории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения.

Возможные ЧС при строительстве скважины:

1. Затопление.

Достаточно часто объекты строительства нефтяных и газовых скважин располагаются в заболоченных местностях или непосредственно близко к иным водоёмам. С приходом весны при таянии снега уровень воды повышается, что может привести к критическим последствиям, например: нарушение сообщения с объектом производства работ, порча имущества работника и работодателя, проседание основания буровой установки или иного оборудования и т.д.

2. Пожар.

Объекты производства буровых работ по строительству нефтяных и газовых скважин являются взрывопожароопасными объектами.

Причиной пожара может стать:

1) Курение вне отведённого места.

2) Проведение огневых работ без наряда-допуска или с нарушением его требований.

3) Открытый фонтан нефти или газа из скважины.

4) Розливы горюче-смазочных материалов, необходимых для производства работ.

5) Неисправность электрооборудования, повреждение силовых кабелей.

6) Отсутствие или неисправность искрогасителей на выхлопных системах двигателей внутреннего сгорания.

Для недопущения пожаров необходимо соблюдать требования Постановления от 25 апреля 2012 года N 390 "О противопожарном режиме", а так же Приказ Ростехнадзора от 12.03.2013 N 101 "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности".

3. Открытый фонтан.

Открытый фонтан – авария, крайняя форма технологического осложнения в процессе строительства скважины, называемого газонефтеводопроявлением.

Газонефтеводопроявление (ГНВП) – вид осложнения, при котором поступление флюида из пласта в скважину или через ее устье можно регулировать или приостанавливать с помощью запорного оборудования.

Открытый фонтан является наиболее вероятным видом ЧС при бурении скважины. Источником возникновения является превышение пластового давления над забойным, и как следствие поступление флюида из пласта в скважину.

Для предупреждения ГНВП необходимо строго соблюдать технологию строительства скважины согласно проекта, а также постоянно контролировать следующие параметры:

1) Плотность бурового раствора.

2) Уровень бурового раствора в приёмной емкости.

3) Скорость потока бурового раствора из скважины при неизменной подаче насосов.

4) Объём долива и вытеснения бурового раствора при спуско-подъёмных операциях.

5) Уровень бурового раствора в скважине при отсутствии циркуляции.

6) Уровень газосодержания в промывочной жидкости.

7) Механическая скорость бурения.

8) Крутящий момент на роторе.

При возникновении ГНВП, для его ликвидации, необходимо герметизировать устье скважины превенторами, зафиксировать давления в трубном и затрубном пространстве, сообщить ответственному лицу. Далее следовать согласно плану ликвидации аварии, разработанному специально для данной организации.

Открывать превентор можно лишь после того, как вся газированная жидкость вышла из скважины и избыточное давление на выходе из последней снизилось до атмосферного.

При невозможности ликвидировать ГНВП и допущении открытого фонтана, необходимо:

1) Эвакуировать людей на безопасное расстояние.

2) Сообщить о возникшей ЧС в специальное военизированное противofонтанное подразделение.

3) По возможности обеспечить свободный проезд техники к месту возникновения фонтана.

4) По приезду противofонтанного отряда, строго следовать всем указаниям.

5) Далее ликвидация ведётся под руководством командира военизированного противofонтанного отряда.

Меры по ликвидации последствий открытого фонтана, разрабатываются уже после непосредственной ликвидации ЧС, в зависимости от объёма и типа причинённого вреда. В общем, они сводятся к:

1) Демонтажу и вывозу поврежденного оборудования.

2) Зачистке и рекультивации объекта производства работ.

Заключение по разделу

В данном разделе выпускной квалификационной работы магистра были изучены и проанализированы основные факторы, определяющие опасность и вредность при строительстве скважин.

Проведен анализ наиболее возможной чрезвычайной ситуации – открытого фонтанирования. Разработаны превентивные меры по предупреждению её возникновения и порядок действия в результате возникновения ЧС.

Материалы данного раздела могут быть использованы в ознакомительных и обучающих лекциях для сотрудников, работающих на объекте производства буровых работ по строительству нефтяных и газовых скважин.

Заключение

В аналитической выпускной квалификационной работе магистра была поставлена цель – выявить наиболее эффективную роторно-управляемую систему для различных геолого-технических условий. Все поставленные задачи были решены и цель достигнута.

На этапе сравнительного анализа возникла проблема, что на данный момент не существует рационального механизма оценки роторно-управляемой системы. Поэтому для достижения поставленной цели было принято решение, впервые использовать способ оценки роторно-управляемых систем на основе метода морфологического анализа.

В результате исследования роторно-управляемых систем как отечественных, так и мировых производителей был проведен сравнительный и морфологический анализ, что позволило выявить лидеров для работы в различных геолого-технических условиях.

В итоге, был получен проранжированный перечень роторно-управляемых систем с целью работы в различных геолого-технических условиях для бурения под хвостовик. А параллельно, был внедрен способ оценки роторно-управляемых систем, который в дальнейшем можно использовать в целях выбора РУС не только под глобальные, но и под конкретные задачи.

Список использованной литературы

1. Осипов Ю.В., Ахметов Д.С., Еникеев Р.В., Бадретдинов Д.Ф. «Применение роторных управляемых систем для бурения».
2. Закиров А.Я. «Первые результаты испытаний роторно-управляемых систем российского производства».
3. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин А. С. Повалихин, А. Г. Калинин, С. Н. Бастриков, К. М. Солодкий; под общ.ред. доктора технических наук, профессора А. Г. Калинина. – М. : Изд. Центр-ЛитНефтеГаз, 2011. – 647 с.
4. Калинин, Б.А. Никитин, К.М. Солодкий, А.С. Повалихин. Профили направленных скважин и компоновки низа бурильных колонн – М.: Недра, 1995-305с
5. Акбулатов Т.О. Роторные управляемые системы: учебное пособие / Т.О. Акбулатов, Р.А. Хасанов, Л.М. Левинсон – Уфа: УГНТУ, 2006.
6. Кейн С.А. Современные технические средства управления траекторией наклонно направленных скважин: учебное пособие / С.А. Кейн – Ухта : УГТУ, 2014.
7. Нескоромных, В. В. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин: рукопись / В.В. Нескоромных. – Красноярск.
8. Rotary steerable system workshop. Brisbane, 21-Oct-2015. Hoan Van Luu – Schlumberger Drilling Engineer.
9. Schaaf, S., Pafitis, D., and Guichemerre, E. 2000. Application of the point the bit rotary steerable system in Directional drilling Prototype Well-Bore profiles. Presented at the SPE/AAPG Western Regional Meeting, Long Beach, California, and 19-22 June. SPE-62519-MS.
10. Попов А.Н., Спивак А.И., Акбулатов Т.О. Технология бурения нефтяных и газовых скважин. – М.: ООО «Недра – Бизнесцентр», 2003. – 509 с.
11. Официальный ресурс компании «Schlumberger» [Электронный ресурс]. – режим доступа к стр.: <https://www.slb.com> (дата обращения 8.04.20).

12. Официальный ресурс компании «Baker Hughes» [Электронный ресурс].
– режим доступа к стр.: <https://www.bhge.com> (дата обращения 20.04.20).
13. Официальный ресурс компании «Weatherford» [Электронный ресурс]. –
режим доступа к стр.: <https://www.weatherford.com/en/> (дата обращения
29.05.19).
14. Официальный ресурс компании «Halliburton» [Электронный ресурс]. –
режим доступа к стр.: <https://www.halliburton.com/en-US/default.html> (дата
обращения 18.04.20).
15. Официальный ресурс компании «APS technology» [Электронный ресурс].
– режим доступа к стр.: <https://www.aps-tech.com> (дата обращения 25.03.20).
16. Официальный ресурс компании «Gyrodata» [Электронный ресурс]. –
режим доступа к стр.: <https://www.gyrodata.com> (дата обращения 27.03.20).
17. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
18. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с
Изменением N 1).
19. СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение (с
Изменением N 1).
20. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум.
Общие требования безопасности (с Изменением N 1).
21. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Вибрационная безопасность. Общие требования.
22. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с
Изменением N 1).
23. СНиП 2.04.05-91* от 01.01.1992. Отопление, вентиляция и
кондиционирование.
24. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).

Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2).

25. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

26. «Правила устройства электроустановок» (ПУЭ), «Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок» 2001 г.

27. Закон РФ "О недрах" от 21.02.1992 N 2395-1 (последняя редакция).

28. РД 08-254-98 Инструкция по предупреждению газонефтеводопроявлений и открытых фонтанов при строительстве и ремонте скважин в нефтяной и газовой промышленности.

29. Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).

30. РД 08-254-98 Инструкция по предупреждению газонефтеводопроявлений и открытых фонтанов при строительстве и ремонте скважин в нефтяной и газовой промышленности.

Приложение А

(справочное)

Подраздел 1.2.
Rotary-steerable systems, the principles of operation.

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ82	Беркетов Владислав Владимирович		16.06.2020

Руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Минаев К.М.	к.х.н.		17.06.2020

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гутарева Н.Ю.	к.п.н		17.06.2020

Rotary-steerable systems, principles of operation.

With the development of oil drilling to the new directions of an extended reach well, three-dimensional multi-target directional well, horizontal well with a deep and deeper pay zone, the equipment of oil drilling not only needs to meet the requirements for well drilling trajectory, but also needs to work reliably in a more complex stratum and harsher operating conditions in a long time. However, a traditional drilling technique is hard to satisfy the performance requirements of oil drilling in the new era. For the past 20 years many new techniques are presented such as a directional drilling, a vertical drilling, an ultrasonic drilling, a laser drilling and so on, which can shorten the drilling period, improve the drilling accuracy and increase the rate of penetration (ROP).

The rotary steerable system (RSS) is a new automatic technique of a directional drilling developed in the late 1980s, which is mainly composed by bottom hole assembly (BHA) and ground monitoring center. RSS can automatically adjust the inclination and azimuth and keep the downhole system's stability while drilling. The downhole steering tool which fixed on drill rig is the key part of BHA to realize borehole propagation and drilling trajectory control. At present, the major oilfield technology service companies in domestic and abroad have developed successively the techniques of RSSs [5].

A control system design plays an important role in RSS which is mainly used to control the magnitude and direction of lateral force to make the drill bit point to the desired propagation. In a practical rotary steerable system, the drilling performances are influenced by lithology, dip, type of drill bit, configurations and dimensions of BHA, rotary speed, weight-on-bit (WOB), hole curvature and so on. It is hard to establish the system's mathematical model and predict its state accurately due to the fact that downhole working condition contains numerous intense nonlinearity, time-variation and other unknown disturbance factors. Therefore, advanced control algorithms and strategies are introduced to realize accurate control of RSS, which have solved the problems in the borehole such as low control precision, bad control effect and so on to a large extent.

Rotary steerable system Fundamental structure and classification

RSS is mainly composed of a ground monitoring center, bidirectional communication system, logging while drilling (LWD) or measurement while drilling (MWD), downhole steering tool as shown in Fig.A1. LWD uses logging well tool fixed on BHA to measure the geophysical parameters in the borehole while drilling and transmit real-time measurement results to the surface for a geological analysis via a drilling mud pulser or other advanced techniques. MWD is used to obtain drilling parameters about pressure, temperature, inclination, azimuth or others to ensure pre-defined drilling process. Downhole steering tool is a key part to realize a wellbore trajectory control and is usually made up of bias unit, drilling fluid control unit and stable platform. The bias unit relies on wing rib and hydraulic cylinder to realize the bias effect [8]. Drilling fluid control unit can regulate the lateral force that comes from a hydraulic cylinder by controlling the flux of drilling fluid and rotation angle of an upper disc valve on control unit. Stable platform is of great importance for keeping stability of a downhole control system and signal transmission, which can guarantee bias unit work normally in the vibrational conditions while drilling. Stable platform is mainly composed of two turbine generators, electronic hardware, measurement and a control unit. The two turbine generators are used to provide the power with the electric equipment in the borehole by converting kinetic energy into electric energy. Some devices of signal detection and transmission are contained in electronic hardware, such as a tri-axial accelerometer, a gyroscope, the control circuits, an annunciator and so on. The electronic hardware part and measurement and control system are located between the two turbine generators which are used to implement signal transmission and reception, and measurement of deviation angle.

borehole spiraling and bring difficulties for the next well cementation and completion. In order to overcome these drawbacks of a push-the-bit, a point-the-bit RSSs were developed and the PowerDrive Xceed from Schlumberger and the Geo-Pilot from Halliburton were representative among this kind of RSSs. The point-the-bit steering tools currently adopt a set of the offset mechanisms to deflect the eccentric shaft and consequently regulate the drilling trajectory. Due to the fact that point-the-bit steering tool uses servo motors rather than hydraulic cylinders, in the section of driving power, its control accuracy is much better and the working life of BHA is greatly longer than the push-the-bit RSS. At the same time, because the point-the-bit steering tool has the benefits of less friction resistance and torque, larger ultimate horizontal displacements, better adaptability to complex stratum and working condition, it can provide better wellbore quality, lower vibration, higher rate of penetration and shorter drilling time. Main shortage of the point-the-bit RSS is that its eccentric shaft is easy to be worn, which is difficult to be overcome. Therefore, a new hybrid type RSS with both advantages of a push-the-bit and a point-the-bit has been studying by some researchers in the past a few years ago. A prominent example is the PowerDrive Archer from Schlumberger, which changes the direction of the drill bit by inclining the steering sleeve, and uses an extendable pad installed on the inner sleeve to push the outer sleeve to regulate the drilling trajectory [10].

Table A1 – The common commercial RSS

Company	Year	Machine Model	Type
Baker Hughes Inteq	1997	Auto-Trak RCLS	Static bias push-the-bit
Pathfinder Energy Services	2003	Pathmaker	Static bias push-the-bit
Noble Corp, NDT	2004	Express Drill	Static bias push-the-bit
TerraVici Drilling Solutions	2005	TerraVici X2	Static bias push-the-bit

End table A1 - The common commercial RSS

Schlumberger	1998	PowerDrive SRD	Dynamic bias push-the-bit
Sinopec	2008	MRSS	Dynamic bias push-the-bit
Gyrodatta Incorporated	—	Well-Guide RSS	Static bias point- the-bit
Weatherford	2005	Revolution	Static bias point-the-bit
Halliburton	2006	EZ-Pilot	Static bias point-the-bit
Halliburton	2013	Geo-Pilot Dirigo	Static bias point-the-bit
Schlumberger	2003	PowerDrive Xceed	Dynamic bias point-the-bit
Schlumberger	2011	PowerDrive Archer	The hybrid type

A directional principle

A rotary steerable system regulates the parameters in the drilling process according to the pre-defined procedures to fulfill the purpose of controlling the wellbore trajectory and direction. The directional principle of push-the-bit RSS as figure A2(a). The power of a driving drill string to change direction comes from pressure difference between inside and outside of a drill string produced by drilling fluid through the drilling channel. The downhole steering tool usually has 3, 4 or 6 hydraulic cylinders and their phase differences are 120° , 90° and 60° respectively. In most cases the number of the hydraulic pistons is 3 because of its simple structure and superior performance. The operating principle of a bias unit is to push the hydraulic cylinder through the pressure exerted by the drilling fluid control valve when drill string is rotating. Then the extendable pads are pushed by corresponding hydraulic cylinders and contact the borehole wall. The magnitude of thrust force is related to the pressure exerted by the drilling fluid control valve. At the same time, the reaction force provided by the borehole wall to the extendable pad pushes the drill string changing original path and moving to the pre-setting drilling trajectory. When the drilling direction is consistent with the setting direction, the extending magnitudes of three extendable pads will keep the same lengths and will not provide thrust force on the borehole wall. The directional principle of a point- the-bit is similar to a push-the-bit. The difference is only that a point-the-bit uses eccentric shaft to control drilling trajectory, whose schematic diagram is roughly shown as in a figure A2(b).

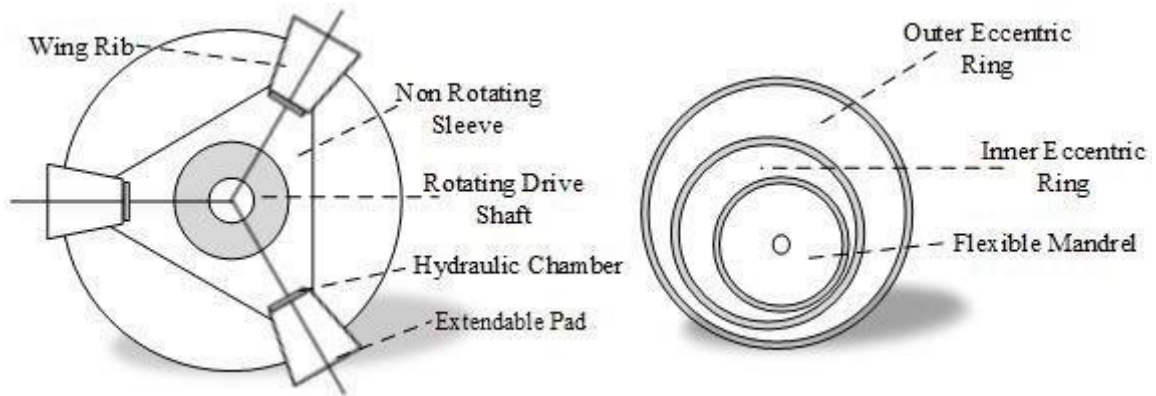


Figure A2 – The directional principle of RSS.

(a) A steering tool of a push-the-bit. (b) An eccentric shaft of a point-the-bit.

The rotary steerable systems «Push the bit»

The rotary-controlled system Push the Bit, which is translated literally to "push the chisel." The curvature is achieved by pushing the column in the opposite direction, while the column rotates. This method uses the principle of transferring a lateral force to the bit, pushing it against the borehole wall to achieve the desired trajectory.

In a system with a bit of deviation, the drill string is guided in the desired direction by pressing well wall. In one version of such the RSS, a deflection unit with three retractable vanes, driven by a drilling mud and located near the bit, is used to create a lateral force on the formation.

Applying hydraulic pressure each time a specific point passes, the blade deflects the drill string in the opposite direction, there by directing it in the desired direction.

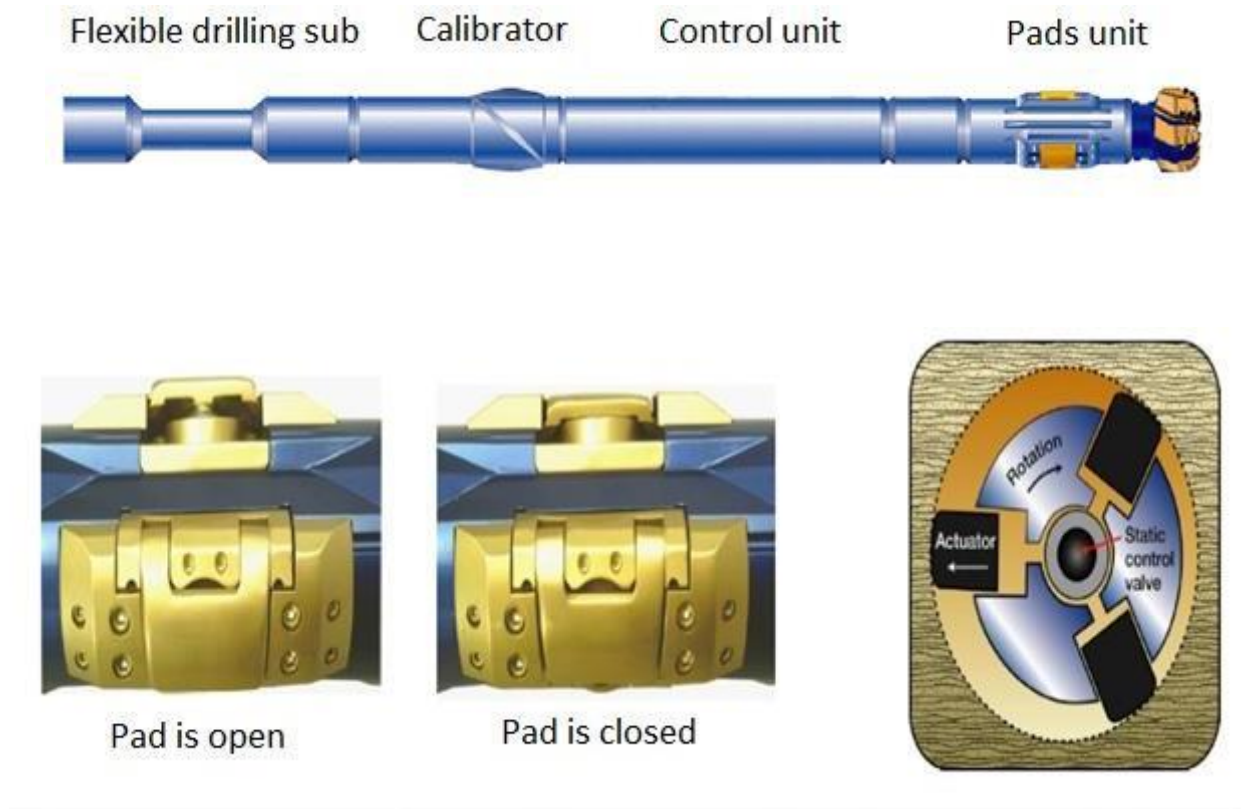


Figure A3 – Basic design RSS Push the bit

The drive of the blades is hydraulic, carried out due to the sequential supply of the drilling mud to the corresponding hydraulic chambers.

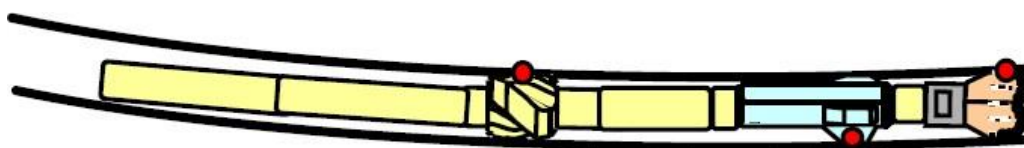


Figure A4 – Points of stress touching the wellbore.

Rotary steerable systems «Point the bit»

The rotary steerable system Point the bit, translated into Russian, "send a chisel." With this system, a fixed part of the column is needed, in which there will be a “curved pipe” that conveys direction of the bit. The curvature occurs by a hydraulic

system through the distribution of the supply of drilling fluid. Under high pressure, the drilling fluid is supplied to one or another of the pistons, and those starting from the walls of the fixed part of the column perform the bending of the rotating column itself. In the system with the direction of the bit, an internal bend is used to deflect the axis of the projectile from the current axis of the well and change the direction of drilling.

In such a system, the bending point is located in the heavy drill pipe immediately above the bit. The systems with the direction of the bit change trajectory of the well by changing the angle of the end face, of the drilling tool. The trajectory changes in the direction of bending. The orientation of the bend is controlled by a servomotor that rotates at the same speed as the drill string, but in the opposite direction. This allows you to save the geostationary orientation of the end of the drilling tool during rotation of the heavy drill pipe [9].



Figure A5 – Typical layout RSS Point the bit

The RSS is fixed in the borehole when advancing the dies. The rotation of the eccentric sleeve is carried out using a servo-mechanism, whose operation is controlled by the electronic unit upon a command from the computer controlling the process. The rotation of the eccentric sleeve leads to a deviation of the axis of the shaft-rotor from the central axis of the housing the RSS by the size of the gap and the bit gets skewed in one direction or another, depending on the position of the sleeve inside the housing.

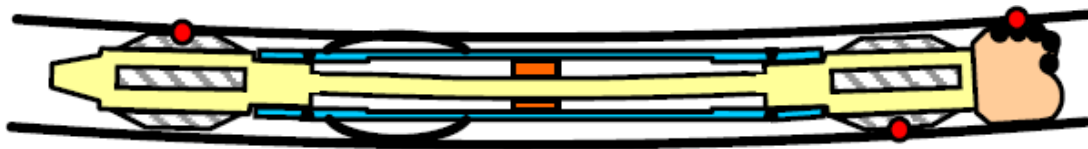


Figure A6 – Points of stress touch with the wellbore.

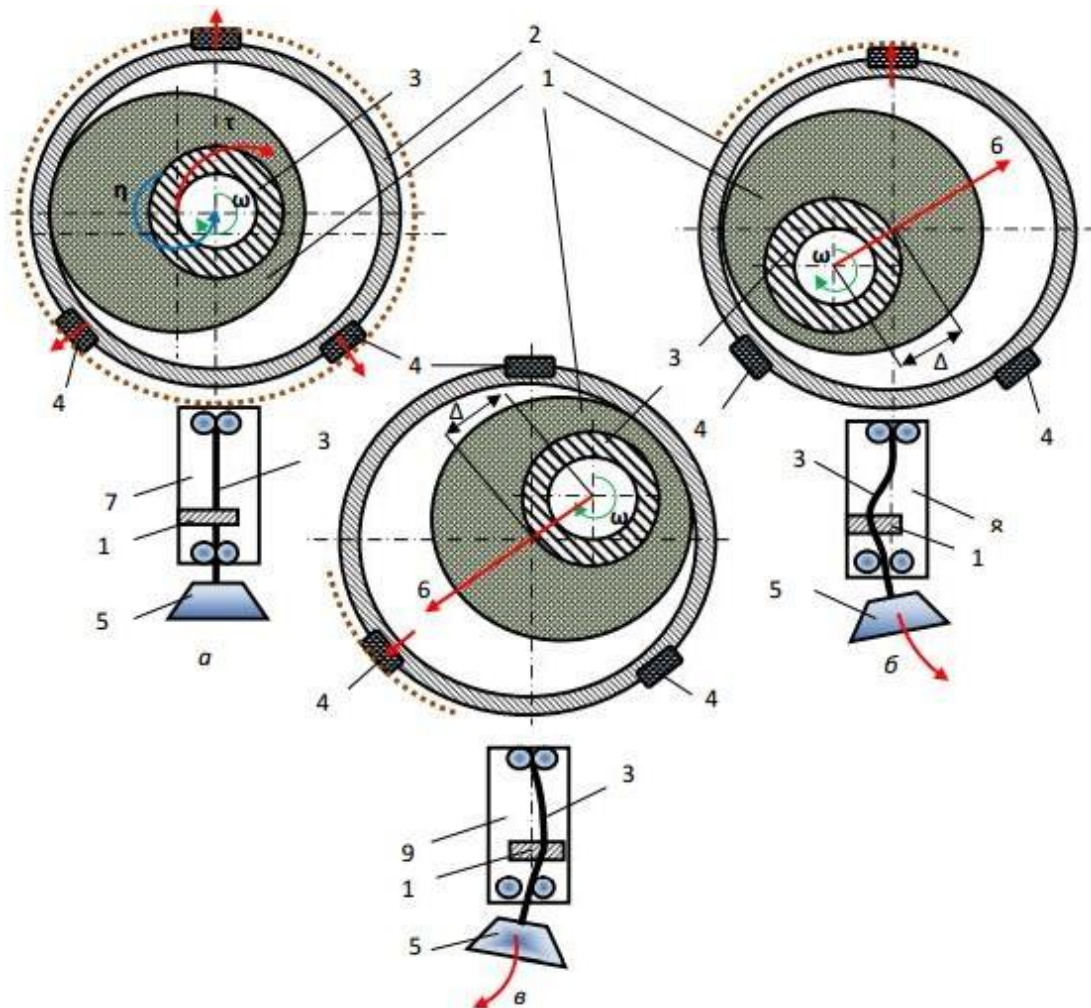
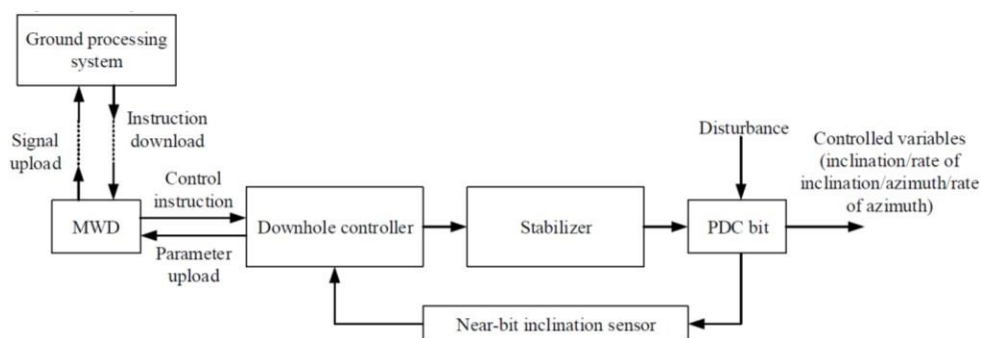


Figure A7 – Diagrams of operation of the RSS with the bit positioning: a - the position of the system determining the straight direction of drilling; b, c - the position of the system, determining the change in the direction of drilling; 1 - an eccentric bushing; 2- a housing-stator; 3 - a shaft-rotor; 4 - retractable dies; 5 - a chisel; 6 - the direction of the curvature of the well

Control methods of a rotary steerable system

The double closed-loops architecture is typically adopted in the most RSS's control system, which is shown in picture. 3. The inner loop is usually mainly composed of MWD, downhole controller, eccentric stabilizer, polycrystalline diamond compact (PDC) bit and near-bit inclination sensor. The outer loop is composed of the inner control loop and ground processing system, which generates desired drilling trajectory. In general, the inner loop regulates a downhole closed-loop control operation automatically according to pre-defined procedures, while the outer closed-loop involves human's operation in adjusting real-time drilling trajectory.

Near-bit inclination sensor is a main measurement unit of inner closed-loop in the control system, which is used to measure the real-time drilling trajectory and transmit it to the downhole controller. The downhole controller compares the real-time drilling trajectory with predefined borehole trajectory and calculates the error between them. According to this error, the downhole controller determines control outputs by well- designed control strategies and sends corresponding control instructions to actuators to regulate inclination, azimuth and rates of them. At the same time, MWD converts the output parameters measured by near-bit inclination sensor to drilling mud pulse and transmits these signals to surface. Ground processing system is used to implement online-manual monitoring on real drilling trajectory, and modify it by sending high priority control signal to a downhole controller when the real drilling trajectory deviates far from the desired borehole trajectory. In the control process, control strategy is the key to realize excellent downhole stability and accurate drilling trajectory.



Picture A8 – The typical architecture of RSS's control system.

Problems and suggestions

The researchers have been studying the rotary steerable system for decades. And great progresses in design, manufacture and other aspects of RSS are achieved. However, there are several problems still need to be solved in the future due to the excessively complex downhole control condition and the development of oil and gas exploration such as the extraction of shale gas.

Angle build hole rate

At present the rotary steerable system has better performance in angle build hole rate than before. However, compared with directional drilling approach which uses screw, the angle build hole rate of RSS needs to be increased by advanced techniques. Although several companies and institutes have studied novel RSSs which have high build hole rate, they still need to be validated further in the field of drilling application.

Directional mechanism

Due to the limitation of mechanical structure and material, as well as complex condition in the downhole such as corrosive stratum, mudstone, mechanical oscillation or others, the directional mechanism is liable to be worn. The point-the-bit RSS is easier to be damaged compared with the push-the-bit RSS because of its relatively fragile eccentric shaft. This situation is especially serious when drills ultra-deep wells or horizontal wells. Therefore, this is a problem that needs to adopt new-style materials or structures to realize eccentric shaft and other auxiliary mechanisms. This limiting factor should be solved further.

Sealing Performance of BHA

Sealing performance of BHA is also an important factor in the working life of RSS. If a BHA has bad sealing performance in the downhole, drilling mud will flow into the inner directional mechanism and lead to sticking accident. At present, sealing performance of BHA limits directly the working life of RSS. Researchers have studied many new approaches to modify the sealing performance and achieved some progress. However, in order to improve the sealing performance, the mechanical structure and material of BHA both need to be further enhanced.

Mathematical model establishment

A rigid and exact mathematical model of RSS is the key factor to achieve excellent control effects. The most mathematical models adopted in current the RSS control systems cannot reflect the real working model because their establishments and state observer designs are usually based on some assumptions and simplifications. With the development of neural network, automatic techniques, deep learning and other intelligent modeling techniques based on learning mechanism, these new techniques will be combined with auto regression, the least square method, augmented state space method and other traditional system identification techniques to comprehensively use model analysis, data-driven and others to make the mathematical model approximate real working process of RSS.

Downhole Real-time Condition Measurement and Data Processing

Model construction techniques based on data-driven and learning need stable and reliable real-time measurement to obtain large amounts of multidimensional working data. In the actual working condition, the measured data will be disturbed by lots of noise and perturbation. Therefore, development of the data filtering and data mining technologies suitable for RSS will become more important for downhole real-time data processing.

Accurate Experimental Platform Establishment of the Downhole

For the lack of the experimental platform on the ground which is consistent with actual downhole environment, most of the control methods are verified by simulations at present. And the risks exist of equipment damaging if the new control methods are directly applied to actual downhole debugging. Therefore, establishment of the experimental platform which can simulate the downhole environments accurately is a key procedure to promote the advanced control methods from digital simulation to field application.

Control methods

It is indicated that the control methods research of RSS is generally developed. Several advanced control techniques including sliding mode control, adaptive control, fuzzy control and others have been achieving applications on downhole position control, attitude control, disturbance control and borehole trajectory tracking to some extent. However, there are several problems need to be further solved. Firstly, most of the control methods of RSS are in the simulation stage and lack actual field applications. The realization of the control methods applied to RSS needs to be further verified on site. Secondly, how to apply random control, model-free data-driven control, disturbance compensation and other technologies to solve the inherent problems of RSS about a complex mathematical model or violent random disturbance is a new direction that needs to be studied deeply. Finally, when designing a control system both control effects and the realization of control algorithm must be considered simultaneously. Excessively complex control algorithm is not conducive to the field applications.

Other development trends

At present, there are various full-blown schemes to deal with different complex conditions. In the future, the point-the-bit RSS is developing into a leading steering mechanism rather than the push-the-bit RSS. The hybrid type RSS also will have gratifying progress and prospect. In terms of bidirectional communication, wireless communication has made considerable progress in real-time, reliability and anti-interference. LWD/MWD is taking the place of wireline logging because of its superior property. In terms of the control methods, several advanced control algorithms have been applied in the testing of directional drilling.