

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
Разработка методики выбора РУС для различных геолого-технических условий
УДК 622.24.05-13

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Ким Владимир Дмитриевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Глотова В.Н.	к.т.н.		

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.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Ковалев А.В.	к.т.н		

Томск – 2019 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем, соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики).
P2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные исследования с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в сложных и неопределённых условиях; использовать принципы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности.
P3	Проявлять профессиональную осведомленность о передовых знаниях и открытиях в области нефтегазовых технологий с учетом передового отечественного и зарубежного опыта; использовать инновационный подход при разработке новых идей и методов проектирования объектов нефтегазового комплекса для решения инженерных задач развития нефтегазовых технологий, модернизации и усовершенствования нефтегазового производства.
P4	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды.
P5	Быстро ориентироваться и выбирать оптимальные решения в многофакторных ситуациях, владеть методами и средствами математического моделирования технологических процессов и объектов.
P6	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при разработке и реализации проектов, проводить экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность.
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.

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 2018/2019 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:	06.06.2019
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01 марта 2019	1. Проведение литературного обзора по теме	20
08 марта 2019	2. Проведение сравнительного анализа РУС	5
22 апреля 2019	3. Утверждение методики разработки алгоритма выбора РУС	10
06 мая 2019	4. Анализ полученных аналитических результатов, промежуточная аттестация выполнения диссертации	5
23 мая 2019	5. Предварительная защита диссертации	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Глотова В.Н.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Ковалев Артем Владимирович	к.т.н.		

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
2БМ73	Ким Владимиру Дмитриевичу

Тема работы:

Разработка методики выбора РУС для различных геолого-технических условий	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	08.02.2019, 1021/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

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» 1.3 Гибридные роторно-управляемые системы 2. Анализ РУС российских производителей 3. Анализ Рус мировых производителей 4. Анализ механизмов искривления скважины

	<p>4.1 Механизм, основанный на асимметричном разрушении забоя, вследствие перекоса долота (Rotary Steerable System –point the bit)</p> <p>4.2 Механизм, основанный на фрезеровании стенки скважины (Rotary Steerable System – push the bit)</p> <p>4.3 Механизма искривления совмещающего перекоса долота и фрезерование стенки (гибридный механизм)</p> <p>5. Сравнительный анализ роторно-управляемых систем</p> <p>6. Разработка алгоритма выбора РУС</p>
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	Старший преподаватель отделения иностранных языков Лысунец Т.Б.

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

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Глотова В.Н.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Ким Владимир Дмитриевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ73	Ким Владимир Дмитриевич

Школа		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. Ф3-213 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):

Таблицы:

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

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.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Ким Владимир Дмитриевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ73	Ким Владимир Дмитриевич

Школа		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 «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования в нефтегазовой промышленности	Объект исследования: Роторно-управляемые системы. Разработка методики выбора роторно-управляемой системы.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения. 1.2. Анализ опасных факторов производственной среды.	Вредные факторы 1. Несовершенство технологического процесса, рабочего инструмента или средств безопасности. 3. Сильный шум и вибрации, 4. Избыточное тепло или сильный мороз. 5. Насекомые, животные. Опасные факторы 1. Несовершенство или конструктивные недостатки оборудования. 2. Аварии с открытыми фонтанами при строительстве и эксплуатации скважин.
2. Экологическая безопасность:	При бурении скважины воздействия оказывают как производственные процессы, так и объекты постоянного и временного назначения Бурении скважины сопровождается: 1. загрязнением атмосферного воздуха; 2. нарушением гидрогеологического режима; 3. загрязнением поверхностных водных источников и подземных вод; 4. повреждением почвенно-растительного покрова.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	1. Разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; 2. Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Федеральный закон РФ от 28.12.2013 № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда»; Раздел VI, глава 21, статья 147 ТК РФ «Повышенная оплата труда работника (работников)».

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Ким Владимир Дмитриевич		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация включает 114 страниц текстового материала, 43 рисунка, 24 таблицы, 29 источников, 1 приложение.

Ключевые слова. Наклонно-направленное бурение, роторно-управляемая система, механизмы искривления, сравнительный анализ, методика, алгоритм.

Объект исследования. Роторно-управляемые системы.

Цель работы. разработка методики выбора роторно-управляемой системы для конкретно заданных геолого-технических условий.

Результаты исследования. Основным результатом исследовательской работы является разработка методики выбора роторно-управляемой системы для различных геолого-технических условий.

Методы проведения исследования. Был проведен сбор данных по рынку роторно-управляемых систем и вследствие сравнительный анализ полученных данных в табличном виде.

Область применения. Технологии наклонно-направленного бурения.

ABSTRACT

The master's thesis includes. 114 pages of text material, 43 figures, 24 tables, 29 sources, 1 application.

Keywords. Directional drilling, rotary-steerable system, curvature mechanisms, comparative analysis, methods, algorithm.

Object of research. Rotary-steerable systems.

Results of research. The main result of the research work is the development of a methodology for selecting a rotary-steerable system for various geological and technical conditions.

Methods of conducting the research. Data was collected on the market of rotary-steerable systems and as a result of a comparative analysis of the data obtained in a table.

Application area. Directional drilling technologies

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ, УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ,
ЕДИНИЦ И ТЕРМИНОВ

ИИС - искусственное искривление скважины;

ЗТС - забойные телеметрические системы (ЗТС);

ВЗД - винтовые забойные двигатели;

РУС - роторные управляемые системы;

КНБК – компоновка низа бурильной колонны;

ГК – гамма-каротаж;

ГП – горная порода;

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.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
Глава 1 – Технологии наклонно-направленного бурения.....	7
1.1 История возникновения наклонно-направленного бурения.....	7
1.2 Роторно-управляемые системы, принципы работы.....	10
Глава 2 – Роторно-управляемые системы российских производителей	14
2.1. «РУК 8.75 БС» (RSS Push the bit).....	14
2.2. «РУС – ГМ195» (RSS Point the bit).....	16
Глава 3 – Роторно-управляемые системы мировых производителей.....	19
3.1. Роторно-управляемые системы компании «Schlumberger»	19
3.1.1. Power Drive X6.....	19
3.1.2. PowerDrive Xceed	22
3.1.3. PowerDrive Orbit	24
3.1.4. PowerDrive vorteX	25
3.1.5. PowerDrive Archer	27
3.2. Роторно-управляемые системы компании «Baker Hughes».....	28
3.2.1. «AutoTrack Curve» RSS.....	28
3.2.2. «AutoTrack X-tream» RSS	30
3.2.3. «AutoTrack eXpress».....	31
3.3. Роторно-управляемые системы компании «Weatherford».....	33
3.3.1. «Magnus» RSS.....	33
3.3.2. «Revolution» RSS	35
3.4. Роторно-управляемые системы компании «Halliburton»	36
3.4.1. «Geo-Pilot Dirigo» RSS.....	36
3.4.2. «Geo-Pilot Duro» RSS	37
3.4.3. «Geo-Pilot GXT» RSS	38
3.4.4. «Geo-Pilot» RSS	40
3.4.5. «iCruise Intelligent» RSS.....	42
3.5. Downhole Adjustable Rotary Toolкомпанияи «Андергейдж»	43
3.6. «Suresteer» RSS компании «APS technology»	45

3.7. «Wellguide» RSS компании «Gyrodatta».....	47
Глава 4 – Аналитическая часть.....	50
4.1. Анализ механизмов искривления скважины, основанного на асимметричном разрушении забоя, вследствие перекоса долота (Rotary Steerable System –point the bit)	50
4.2. Анализ механизма искривления, основанного на фрезеровании стенки скважины (Rotary Steerable System – push the bit)	52
4.3. Анализ механизма искривления совмещающего перекоса долота и фрезерование стенки (гибридный механизм)	54
4.4. Сравнительный анализ роторно-управляемых систем	57
4.5. Разработка методики выбора роторно-управляемой системы.	64
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	70
6. Социальная ответственность	81
Заключение	96
Список использованных источников	97
Приложение А	100

ВВЕДЕНИЕ

Потребности человечества в углеводородном сырье, отсутствие надежной альтернативы нефти и газу как топливу требуют совершенствования технологий по извлечению разведанных запасов. Наклонно-направленное бурение применяется как при бурении скважин на нефть и газ, так и при разведке твёрдых п. и. Наиболее эффективная область использования наклонно-направленного бурения - при разработке месторождений в акваториях, в болотистых или сильно пересечённых местностях и в случаях, когда строительство буровых может нарушить условия охраны окружающей среды.

В современном мире стали широко применяться роторные управляемые системы, внедрение которых началось в середине 1990-х годов. А в совокупности с системами телеметрии и каротажа превратились в беспилотные машины, позволяющие филигранно управлять траектории скважины и полностью контролировать процесс.

Предметом исследования является роторно-управляемая система

Целью работы является разработка методики выбора роторно-управляемой системы для конкретно заданных геолого-технических условий.

ГЛАВА 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, инженер-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 уточнить

компоновку низа бурильной колонны и выбор типа породоразрушающего инструмента.

С 50-х годов прошлого века в США при колонковом бурении применяли стационарный съемный клин, отклоняющий клин, а также различные конструкции 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 небольшой период времени были спроектированы, прошли производственные испытания и появились на рынке новые телеметрические системы, долота, забойные двигатели и другое оборудование, которое позволило достичь высоких технических и экономических 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

В настоящее время для проходки вертикальных, наклонных и горизонтальных стволов активно применяются Rotary Steerable System (RSS) – роторные управляемые системы (РУС), в которых разрушение горной

породы осуществляется вращением долота с бурильной колонной верхним приводом буровой установки или ротором, а также отклоняющие системы, сочетающие применение винтовых забойных гидродвигателей [3].

Данные системы являются наиболее совершенными, а в сочетании с системами телеметрии и геонавигации превратились в совершенные беспилотные средства дистанционного управления направлением буримых скважин. Возможности этих систем впечатляют: при высочайших точности ($\pm 0,1^\circ$) и оперативности данные системы способны осуществлять бурение скважин любой ориентации в пространстве протяженностью до 13 км непрерывными рейсами, протяженность которых может составлять более 1000 м. Современная отклоняющая система представляет собой беспилотный электронно-механический агрегат, управляемый дистанционно [1].

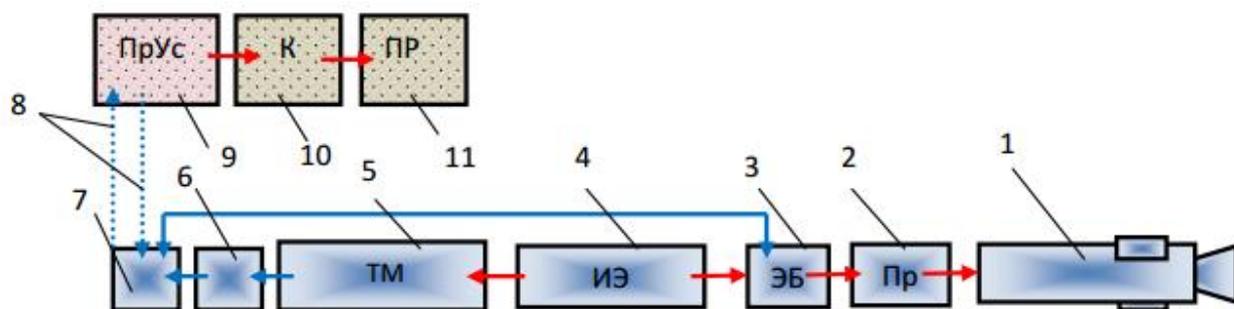


Рисунок 1 – Принципиальная схема РУС: 1 – механизм искривления; 2 – привод механизма искривления; 3 – электронный блок управления приводом механизма искривления; 4 – источник электроэнергии (гидротурбина или аккумуляторные батареи); 5 – телеметрия; 6 – электронный блок телеметрии; 7 – блок передачи и 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 автономные источники электрической энергии (4) роторно-управляемые системы похожего типа контролируются с поверхности оператором через компьютер (10), который преобразует сигнал, передаваемый посредством бурового раствора или посредством электромагнитного излучения (8) до забойной компоновки, в которой посредством электронного блока (3) и системы привода (2) отклоняющего механизма (1), производится

ориентированное в заданном направлении изменение направления скважины. В то же время встроенная система телеметрии (5) ведет постоянный мониторинг угловых параметров бурящейся скважины и посредством электронного блока (6), и системы преобразования сигнала (7) передает информацию на поверхность в блок приемки и усиления сигнала (9), далее в компьютер (10) и на прибор для визуального контроля процесса бурения на буровой (11) к оператору. В результате такого взаимодействия формируется новое задание для корректировки направления скважины, которое и реализуется с высокой точностью.

Эффективность РУС определяется следующими обстоятельствами:

- улучшается вынос шлама, так как РУС не создает зауженных интервалов ствола скважины;

- повышается скорость проходки, поскольку эффективный вынос шлама препятствует его осаждению, что положительно влияет на процесс разрушения породы;

- повышается скорость бурения и длина горизонтального ствола за счет снижения силы трения между колонной и стенкой скважины вследствие вращения всей колонны;

- сокращается риск механического и дифференциального прихватов, поскольку нет неподвижных элементов РУС, контактирующих с обсадной колонной, отклонителем или стенкой ствола скважины [9].

Системы РУС позволяют бурить пологие и горизонтальные скважины с плавным профилем из-за отсутствия перегибов ствола (обычных при использовании забойных двигателей) с большей протяженностью за счет снижения сил трения и лучшей очисткой ствола от шлама. Более высокая проходка с постоянным вращением бурильной колонны предотвращает вероятность прихватов бурильного инструмента, сокращает время на очистку ствола от выбуренной породы и дает ряд дополнительных преимуществ по качеству вскрытия продуктивного горизонта. Применение РУС позволяет бурить протяженные – более 10 км горизонтальные стволы, так как бурение с

вращением бурильной колонны снижает вероятность зашламования колонны и обеспечивает более высокую способность к проталкиванию колонны по горизонтальному стволу [7].

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

ГЛАВА 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 выдвигаемыми 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].

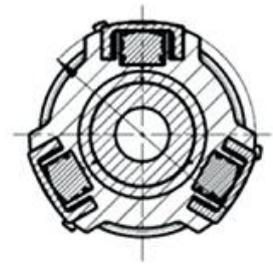


Рисунок 2 - РУК-8.75 БС

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.

Испытания прибора проведены 6–7 сентября 2015 г. на Вынгапуровском месторождении. Интервал бурения — 1742–1958 м (216 м), время в скважине — 46 ч. Средняя механическая скорость проходки составила 29 м/ч, максимальная — 60 м/ч. Средняя интенсивность набора кривизны — 0,9 °/10 м, максимальная — 2 °/10 м.

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 управления 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.

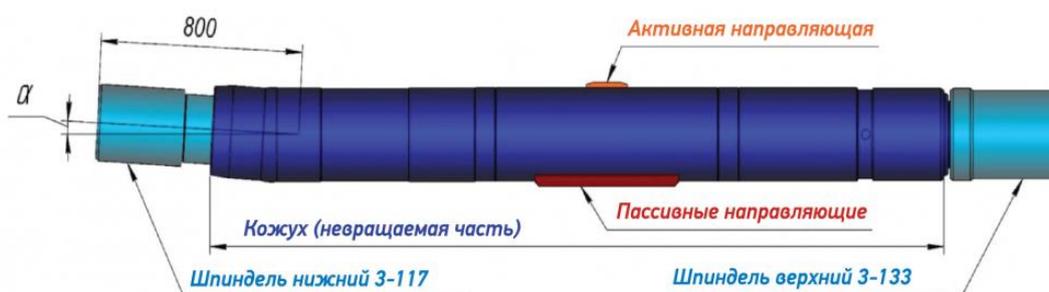


Рисунок 4 - схема прибора РУС-ГМ195

Задачи, поставленные при испытаниях РУС-ГМ-195, были аналогичны при испытаниях РУК-8.75 БС. Даты проведения испытаний: 26–29 января 2016 г. на Южно-Приобском месторождении. Интервал бурения — 1410–1545 м (135 м), время в скважине — 46 ч. Средняя механическая скорость проходки — 18 м/ч, максимальная — 60 м/ч. Максимальная интенсивность набора кривизны — 1,5 °/10 м.

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 невращающейся части прибора в открытом стволе, что привело к невозможности управления траекторией;
- 2) набор кривизны осуществляется спорадически: со стабильным положением отклонителя пробурено 6 из 135 м проходки в режиме направленного бурения с интенсивностью $0,16^\circ/1$ м;
- 3) индикация режимов работы РУС слабая или отсутствует даже при наличии связи с телеметрией;
- 4) 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.

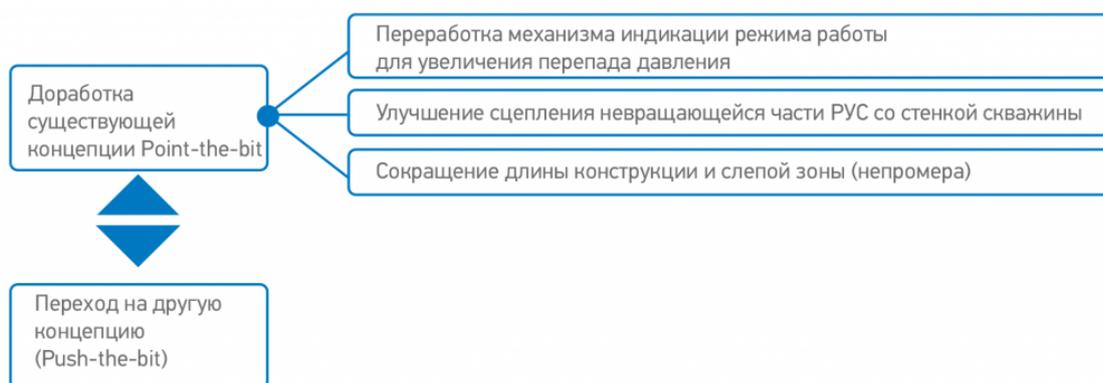


Рисунок 5 - Направления совершенствования прибора РУС-ГМ-195

ГЛАВА 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

Технологии:

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-каротаж (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.

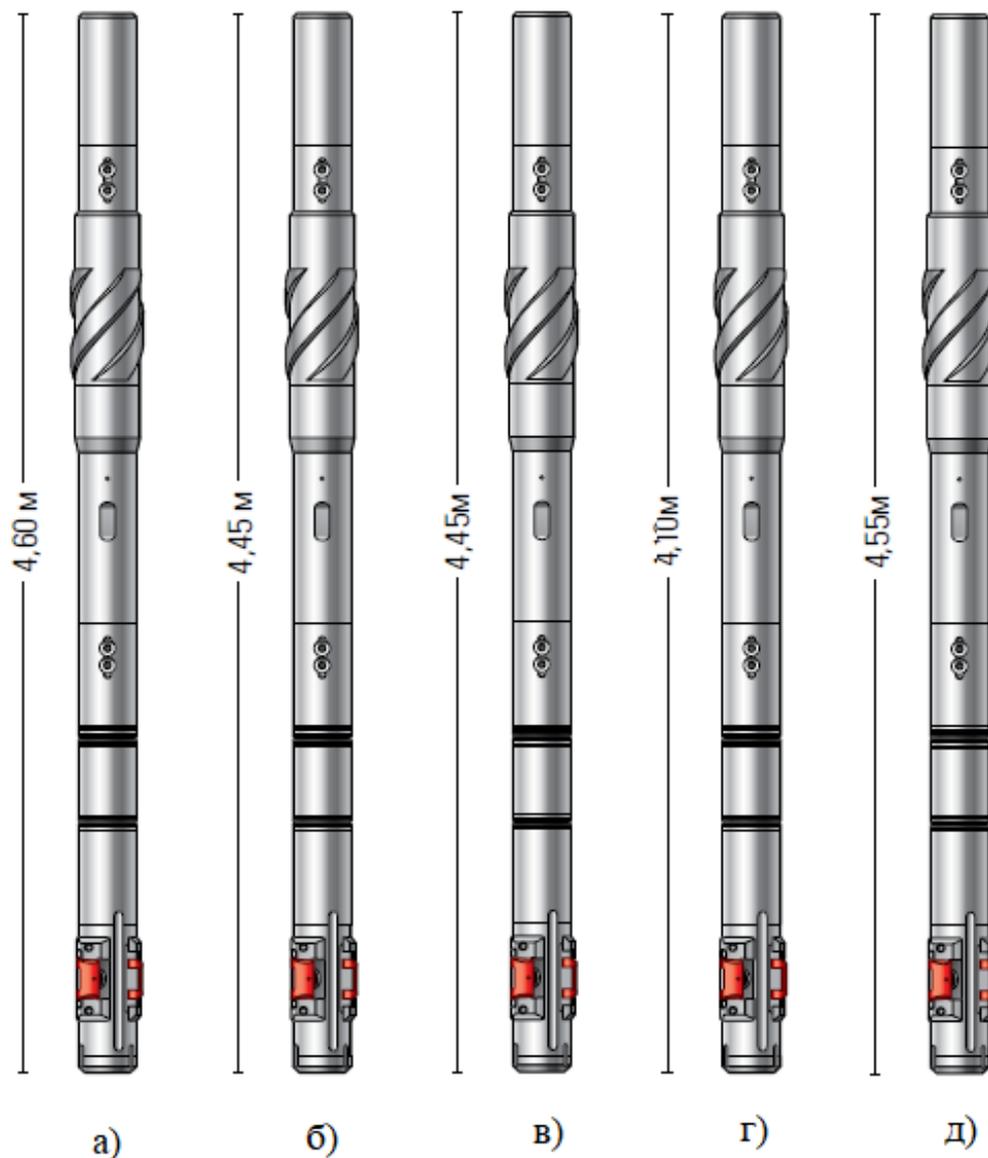


Рисунок 6 – а) PowerDrive X6 1100; б) PowerDrive X6 900; в) PowerDrive X6 825; г) PowerDrive X6 675; д) PowerDrive X6 475.

Таблица 1 – Эксплуатационные характеристика PowerDrive X6

Эксплуатационные характеристики	PowerDrive X6 1100	PowerDrive X6 900	PowerDrive X6 825	PowerDrive X6 675	PowerDrive X6 475
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

Окончание таблицы 1

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				
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 675 предназначена для направленного бурения и может использоваться для забуривания новых направлений ствола скважины, бурения скважин увеличенного диаметра [10].

РУС Power Drive Xceed 675 дает возможность получения данных в режиме реального времени при использовании с телеметрическими системами Power Pulse и Power Score. Система позволяет автоматически поддерживать зенитный и азимутальный угол скважины, производить измерение зенитного и азимутального углов в непосредственной близости от долота, измерение скорости вращения долота. Диаметр долота 212,7–250,8 мм. Максимальная интенсивность искривления 8 град/30 м. Расход промывочного раствора 1098

– 3098 л/мин. Максимальная частота вращения 350 мин-1. Длина компоновки 7,62 м. Расстояние до второго стабилизатора 3,38 м, до первого 0,34 м. Power Drive Xceed 900. Диаметр долота 311,2 – 444,5 мм.

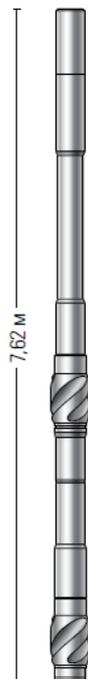


Рисунок 7 – PowerDrive Xceed

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	137/206	137/206	137/206
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.

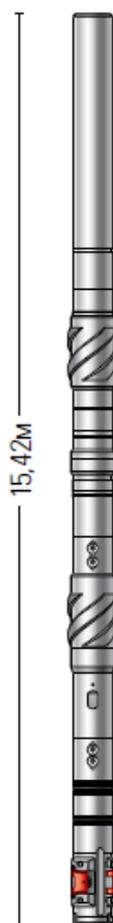


Рисунок 9 – PowerDrive vortex

Таблица 4 – Эксплуатационные характеристика 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 (РУС) позволяющая бурить нестандартные профили, которые ранее были под силу только (ВЗД). 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.

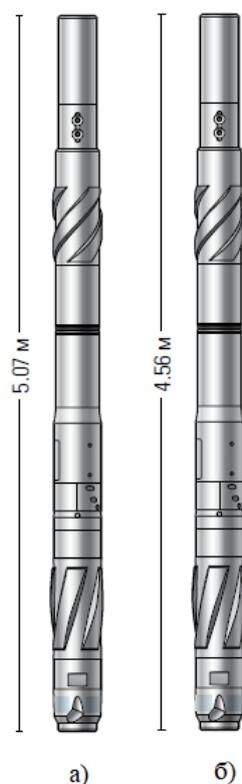


Рисунок 10 – а) PowerDrive Archer 675; б) PowerDrive Archer 475.

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.

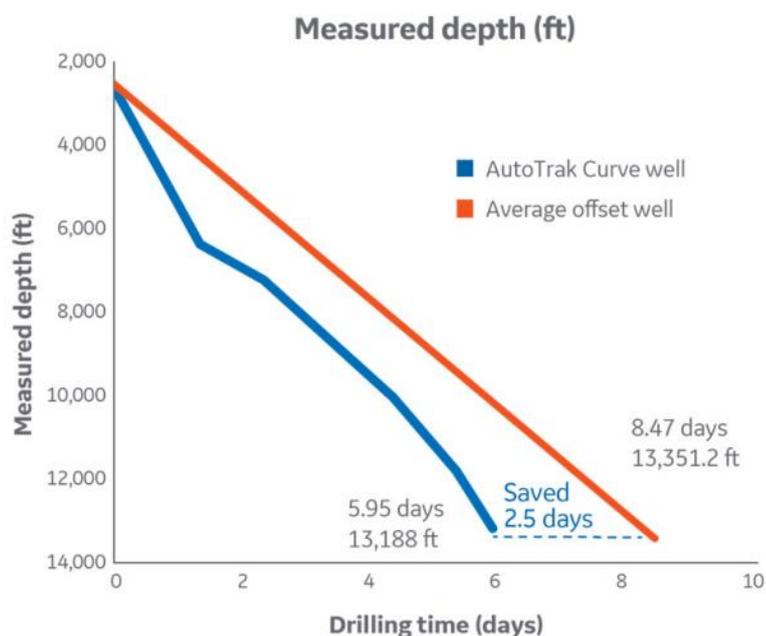


Рисунок 11 – График отношения глубины и затраченных дней на бурение.

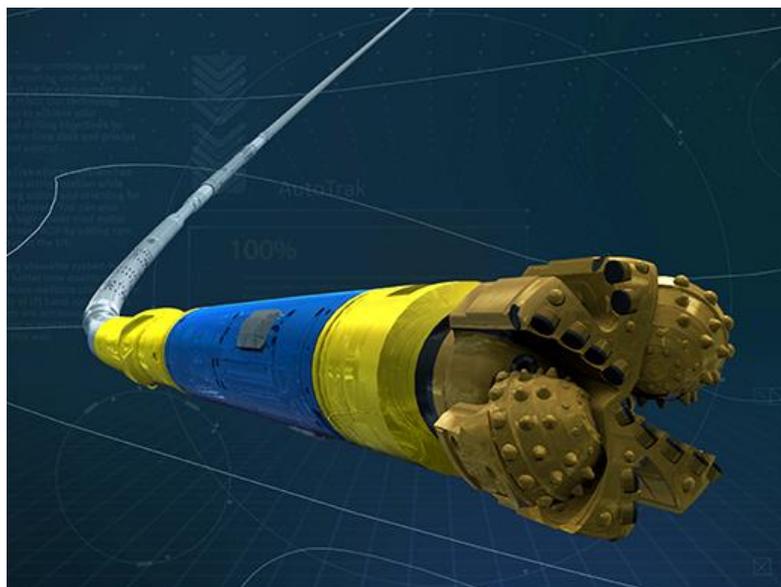


Рисунок 12 – Модель «AutoTrack Curve» RSS

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 операциях

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.

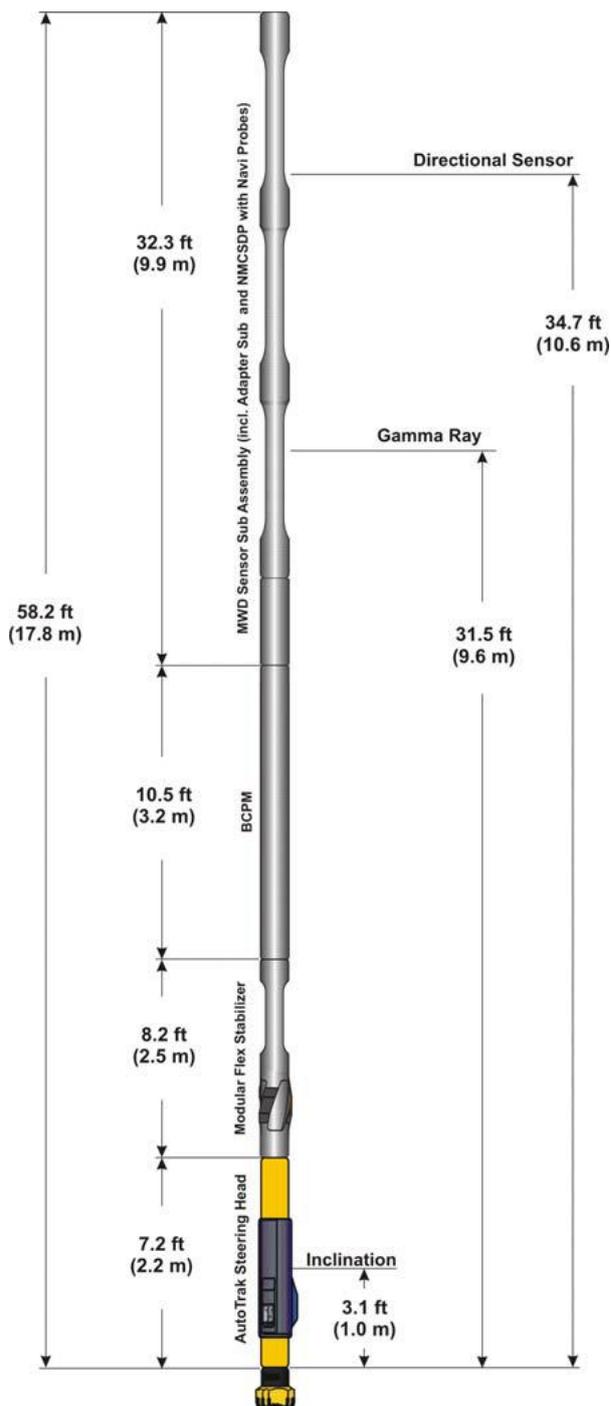


Рисунок 13 - AutoTrak eXpress

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
Максимальная скорость вращения, об/мин.	400

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 характеристика 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 долоту.

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 буровой колонны в соответствии с запрограммированным планом скважины.



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 бурения 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 $10^\circ/30,48\text{м}$
- 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

Система роторного управления Geo-Pilot® Duro (RSS) разработана для повышения долговечности и производительности в суровых условиях, где необходимы оптимальная эффективность бурения, время в пути и контроль потери 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 используется управляемый отклонитель, состоящий из цельного вала, расположенного между долотом и верхней частью инструмента.

Выполненный из нержавеющей высокопрочной стали вал имеет внутренний канал для прохода бурового раствора. Компактный и прочный отклоняющий узел, размещённый внутри не вращающейся верхней части корпуса, передаёт контролируемое отклонение на вал через два вращающихся эксцентриковых кольца. Связь с эксцентриковыми кольцами сверху и снизу осуществляется с помощью двух систем привода [13].

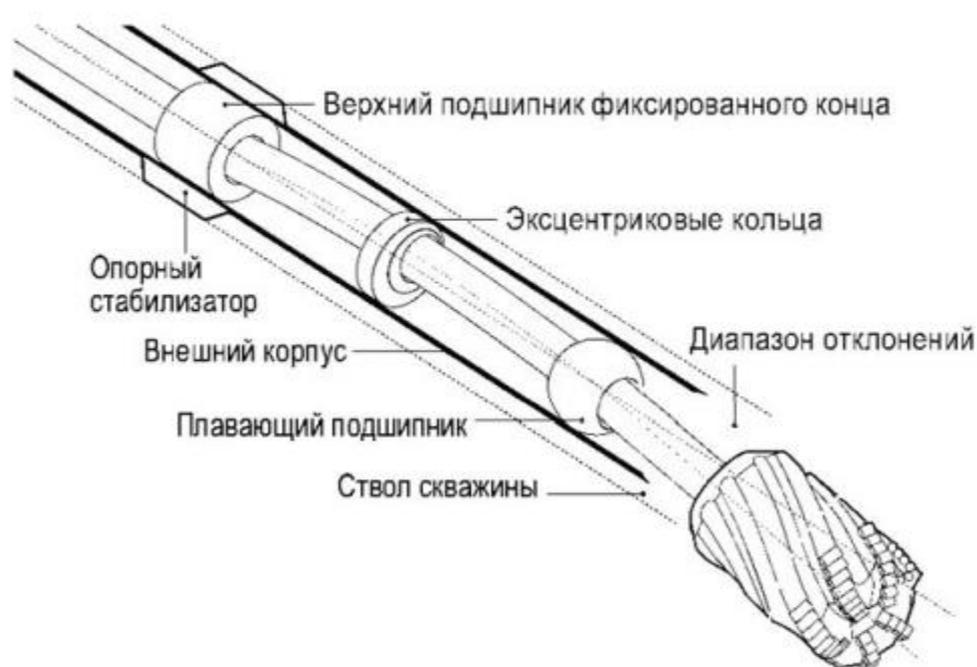


Рисунок 18 – РУС Geo-Pilot

В результате действия одного или обеих систем привода кольца поворачиваются вместе или по отдельности и отводят вал в сторону по осевой линии корпуса, заставляя вал искривляться и ориентировать долото в направлении заданного угла установки отклонителя. Специально сконструированные вращающиеся уплотнения внутри корпуса не позволяют буровому раствору попадать внутрь системы, а смазочной жидкости вытекать наружу.

Секция вала, проходящая через корпус, опирается на верхний подшипник фиксированного конца, подшипник радиальной опоры и нижний плавающий подшипник. Когда эксцентрики кольца изгибают вал, то вал изгибается между верхним подшипником фиксированного конца, который не даёт валу изгибаться выше себя и нижним плавающим подшипником, который позволяет долоту отклоняться в любом заданном направлении и свободно вращаться. Так как основная нагрузка на долото передаётся через корпус, то благодаря этому вал можно сделать более тонким и управляемым [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. В процессе бурения направление долота поддерживается невращающимся масс-эксцентриком, который за счёт силы тяжести постоянно находится в подвешенном состоянии. Прекос долота производится при отрыве долота от забоя при выключенных насосах и, в среднем, занимает не более 3 минут.

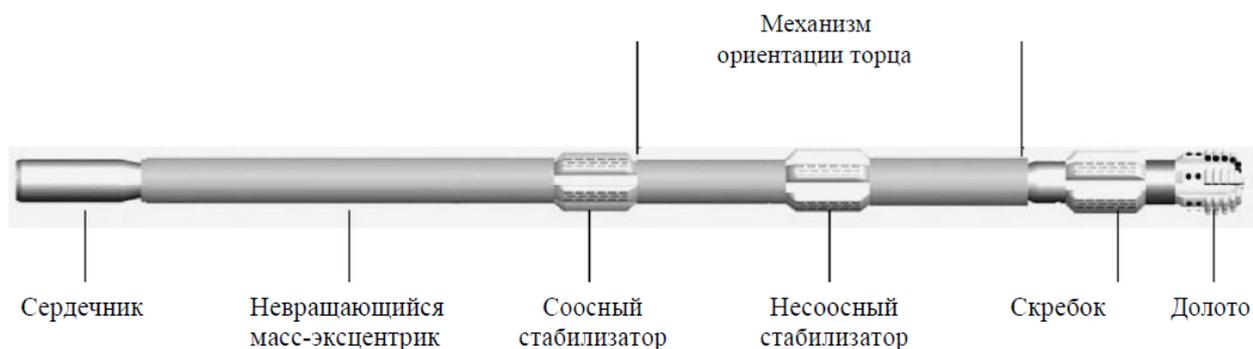


Рисунок 21 – Роторно-управляемая система DART

Система DART включает следующие элементы и устройства:

1) сердечник, проходящий сквозь инструмент для передачи крутящего момента и вращения долота; используется как часть механизма изменения ориентации долота.

2) скребок, который является частью сердечника и вращается вместе с ним. Диаметр скребка меньше диаметра долота, и обычно скребок не касается стенок ствола. Он предназначен для удаления всех уступов, образующихся в процессе бурения и способных затруднить продвижение невращающихся стабилизаторов (соосного и несоосного).

3) несоосный (управляющий) стабилизатор – не вращающийся, полноразмерный, немного смещённый по отношению к оси сердечника. Это смещение создаёт боковое усилие на долото, позволяющее управлять траекторией ствола в трёх измерениях.

4) соосный стабилизатор – концентрический, так же не вращающийся, создает третью точку опоры для реализации трехточечной стабилизации, которая необходимая для точного и предсказуемого управления компоновкой с помощью системы DART. Также этот стабилизатор принимает на себя вес масс эксцентрика.

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

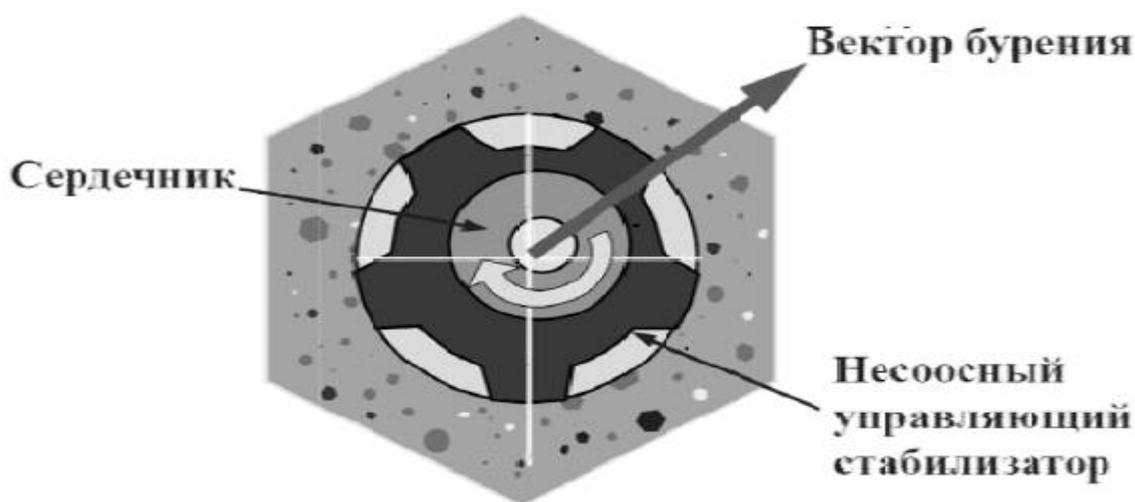


Рисунок 22 – Принцип действия системы

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.

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	13,6
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].

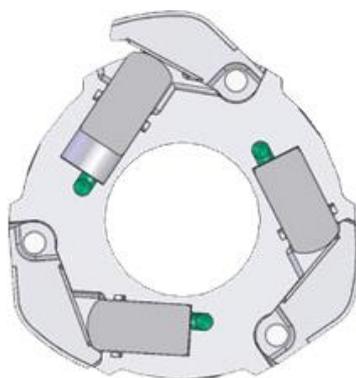


Рисунок 23 – Отклоняющее устройство

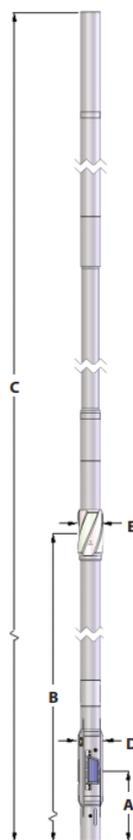


Рисунок 24 - «Suresteer» RSS компании «APS technology»

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	68.137412 - 272.549648

3.7. «Wellguide» RSS компании «Gyrodota»

«WellGuide» RSS от «Gyrodota» — 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 таргета 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 °, 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



Рисунок 25 - «Wellguide» RSS компании «Gyrodatta»

Таблица 11 – Общие параметры

Параметры	4 WELLGUIDE RSS	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

ГЛАВА 4 – АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.1. Анализ механизмов искривления скважины, основанного на асимметричном разрушении забоя, вследствие перекоса долота (Rotary Steerable System –point the bit)

Система RSS Point the bit основана на механизме искривления за счет асимметричного разрушения забоя, вследствие «перекоса» породоразрушающего инструмента. Проанализируем данный механизм искривления.

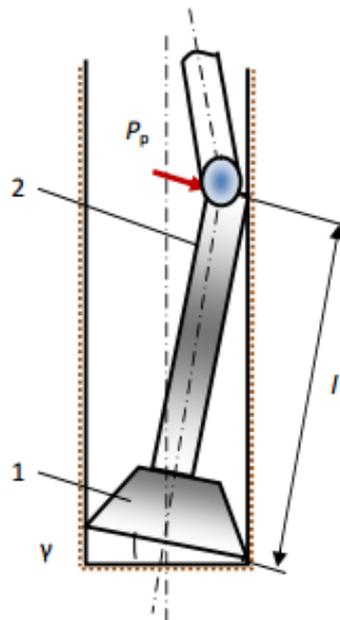


Рисунок 26 – Схема набора кривизны РУС асимметричного разрушения забоя (Point the bit) 1 – Породоразрушающий инструмент, 2 – Корпус РУС

Интенсивность набора кривизны асимметричного разрушения забоя определяется по формуле

$$i_a = \frac{57,3(D_c - d_k)}{l^2} \quad (4.1)$$

где D_c, d_k – диаметры скважины и корпуса РУС в месте контакта со стенкой скважины при перекосе, м; l – расстояние от забоя до точки контакта корпуса ОНД со стенкой скважины при перекосе нижней части отклонителя, м; P_p – распорное усилие, Н; γ – угол перекоса породоразрушающего инструмента, град.

Из формулы и схемы следует, что интенсивность искривления скважины обуславливается геометрией РУС и диаметром скважины, а отклоняющая сила на долоте отсутствует.

Благодаря своей конструкции роторно-управляющие системы, осуществляющие механизм асимметричного разрушения забоя, менее нагружены и деформированы, вследствие чего довольно просты в конструкции и достаточно надежны, а также отличаются возможностью прогнозировать интенсивность искривления и получать данные в процессе искривления с большой точностью. Данный механизм имеет следующие плюсы: 1. Улучшение условий работы опор и вооружения долот, повышение их стойкости и снижение темпа износа калибрующего вооружения долота в результате отсутствия действия поперечной отклоняющей силы. 2. Лучшее использование энергетических параметров забойных двигателей за счет максимальной передачи развиваемых ими мощности и вращающего момента для разрушения горных пород на забое. 3. Допустимо бурение при повышенных осевых нагрузках на долото, что позволяет повысить скорость бурения. 4. В результате совокупного влияния факторов 2 и 3 имеется возможность искривления скважины с высокой скоростью бурения, так как интенсивность искривления в данном случае не зависит от скорости фрезерования и механической скорости бурения, а значит и от параметров режима бурения. Но все-таки механизм искривления, осуществляемый только за счет неравномерного разрушения забоя, имеет такой недостаток как ограниченная интенсивность искривления ствола, что увеличивает интервал бурения и объем работ с отклоняющей КНБК. Радиус искривления ствола за

счет неравномерного разрушения забоя R_a без фрезерования стенки скважины при отсутствии отклоняющей силы на долоте определяется по формуле:

$$R_a = \frac{L_m^2}{mD - m^{-8}f} \quad (4.2)$$

где L_T – длина забойного двигателя с долотом, м; m – коэффициент уширения ствола ($m = D_c / D$, D_c – диаметр скважины, м); D , d_T – диаметры соответственно долота и забойного двигателя, м; f – прогиб забойного двигателя, м.

Из формул следует, что искривление, возникающее вследствие неравномерного разрушения забоя, может произойти с постоянной интенсивностью по дуге окружности радиусом R_a , если параметры, включенные в эти формулы, остаются без изменений.

4.2. Анализ механизма искривления, основанного на фрезеровании стенки скважины (Rotary Steerable System – push the bit)

На механизме искривления реализуемого за счет фрезерования стенки скважины основана роторные управляемая системы типа «Push the bit». Проведем анализ данного механизма.

Интенсивность искривления, реализуемая отклонителем фрезерующего типа, может определяться следующей аналитической зависимостью:

$$i_\Phi = \frac{57,3V_\Phi}{V_6L_{ж}} \quad (4.3)$$

где v_Φ , v_6 – скорость фрезерования стенки скважины, м/ч; $L_{ж}$ – длина жесткой базы отклонителя, м.

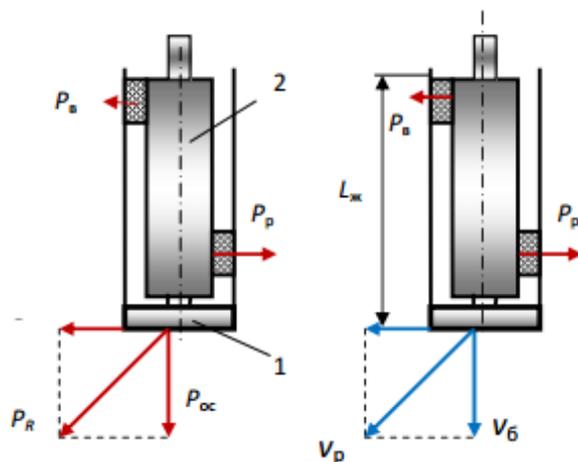


Рисунок 27 – Процесс набора кривизны фрезерованием стенки скважины под действием отклоняющего усилия $P_{отк}$

При этом условии идеальной реализации данного вида искривления будет равенство нулю угла перекоса оси породоразрушающего инструмента по отношению к оси скважины.

Достоинства искривления скважины посредством фрезерования стенки ствола скважины заключаются в большом росте интенсивности искривления скважин, позволяющее сократить интервал бурения и объем работ с отклоняющими КНБК. В то же время, как следует из зависимости процесс набора кривизны фрезерованием существенно ограничивается величиной скорости бурения. Так, например, высокая скорость бурения приведет к ограничению или даже полному устранению процесса искривления ствола скважины. Оптимальной скоростью бурения, при которой в полной мере реализуется эффективное искривление за счет фрезерования стенки скважины, является скорость 0,8–1,0 м/ч. Соотношения скоростей v_f и v_b в процессе набора кривизны фрезерованием с интенсивностью 0,5; 1,0; 1,5 и 2° на 10 м проходки могут составить соответственно 0,0044; 0,0087; 0,0131 и 0,0174. Эти соотношения скоростей фрезерования и углубления забоя независимо от величин отклоняющей силы и осевой нагрузки на долото и др. факторов являются предельными. Из этих соотношений, располагая значением скорости

бурения в процессе искривления скважины можно рассчитать предельное значение скорости фрезерования стенки скважины.

Необходимо подчеркнуть, что некоторые операции при бурении скважин, например, забуривание нового ствола, исправление уже искривленного ствола и в др. случаях невозможно обойтись без фрезерования стенки скважины.

4.3. Анализ механизма искривления совмещающего перекося долота и фрезерование стенки (гибридный механизм)

Гибридный механизм искривления послужил основой для роторной управляемой системы гибридного типа. Проведем анализ данного механизма искривления.

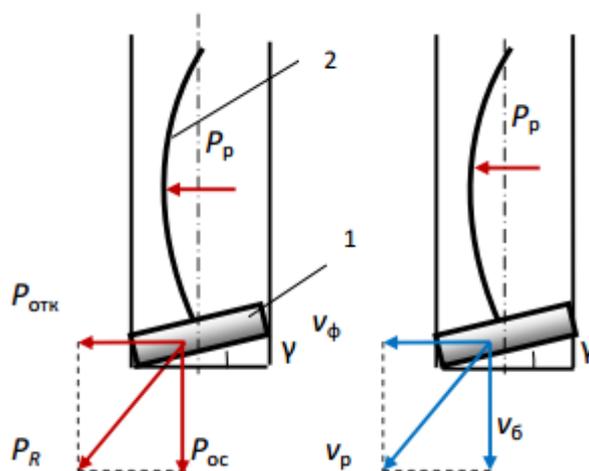


Рисунок 28 – Процесс искривления скважины при несовпадении по направлению фрезерования стенки скважины под действием отклоняющего усилия и перекося породоразрушающего инструмента.

1 – породоразрушающий инструмент; 2 – вал ОНД

Для отклонителей, реализующих совместное фрезерование и асимметричное разрушение забоя при несовпадающих по направлению действия процессов, интенсивность искривления может определяться по зависимости:

$$i_{\phi-a} = 57,39 \left(\frac{v_{\phi}}{v_{\phi} L_{\text{ж}}} - \frac{D_c - d_k}{l^2} \right) \quad (4.4)$$

Согласно схеме, отклоняющая сила является результатом прогиба вала-ротора отклонителя, что приводит к перекосу долота на забое в сторону, противоположную направлению фрезерования стенки скважины. Представлена схема, поясняющая процесс искривления под действием отклоняющей силы $P_{\text{отк}}$ и перекоса породоразрушающего инструмента. Для полного использования способности отклоняющей компоновки искривлять ствол скважины с максимально возможной интенсивностью необходимо соблюдать следующие условия: - наличие достаточной отклоняющей силы, чтобы фрезерование стенки ствола было эффективным; - долото должно обладать достаточной боковой фрезерующей способностью и не ограничивать процесс искусственного искривления скважины. Для любой отклоняющей компоновки, реализующей совместное фрезерование и асимметричное разрушение забоя искривление ствола под действием фрезерования, проявляется в 4,84 раза более активно в сравнении с неравномерным разрушением забоя скважины. Другими словами, для любой отклоняющей компоновки 83% от возможного приращения искривления ствола может быть достигнуто вследствие фрезерования стенки скважины и лишь 17% – вследствие неравномерного асимметричного разрушения забоя. Если в процессе бурения отклонитель будет упруго деформирован, то доля искривления ствола скважины в результате неравномерного разрушения забоя уменьшится и при определенном значении станет равной нулю, а доля искривления за счет фрезерования стенки ствола, наоборот, увеличится и достигнет 100 %. При дальнейшем повышении прогиба отклонителя будет иметь место перекося долота в обратную, от направления действия отклоняющего усилия, сторону, что приведет к снижению интенсивности набора кривизны.

Отклоняющая сила $P_{\text{отк}}$, за счет деформации бурильных труб, расположенных над кривым переводником, может быть определена по формуле:

$$P_{\text{отк}} = \frac{2EJ_T}{3al} \sin^2(\Delta_{\text{п}} - \gamma_T), \quad (4.5)$$

где EJ_T - жесткость бурильных труб, размещенных над турбобуром, да $\text{Н} \cdot \text{м}^2$; a – смещение бурильных труб при их деформации в стволе скважины, м; $\Delta_{\text{п}}$ и γ_T – углы перекоса соответственно осей резьбовых соединений кривого переводника и турбобура в скважине, град; l – длина турбобура с долотом, м

$$a = D_{\text{д}} - \frac{d_T + d_{\text{б}}}{2}, \quad (4.6)$$

где $D_{\text{д}}$, d_T , $d_{\text{б}}$ – диаметры соответственно долота, турбобура и бурильных труб, м;

Угол γ определяется размерами турбобура:

$$\gamma_T = \frac{D_{\text{д}} - d_T}{l_T} \quad (4.7)$$

Как следует из формулы определения отклоняющей силы, для увеличения таковой следует увеличивать жесткость бурильных труб, устанавливаемых над кривым переходником и забойным гидродвигателем, использовать кривые переводники с большими углами перекоса осей резьбовых соединений. Определенное влияние на величину отклоняющей силы оказывает длина и диаметр забойного двигателя. Для повышения отклоняющей силы или её определенного регулирования, в практике буровых работ над турбобуром с кривым переводником обычно устанавливают УБТ.

Под действием $P_{отк}$ происходит фрезерование стенки скважины, а долото, находящееся в состоянии перекоса, обеспечивает набор кривизны и за счет асимметричного разрушения забоя.

4.4. Сравнительный анализ роторно-управляемых систем

В данном разделе выделены основные критерии сравнения систем с управляемым двигателем и роторных управляемых систем.

Исходя из практики бурения наклонно-направленных скважин, можно выделить следующие 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.

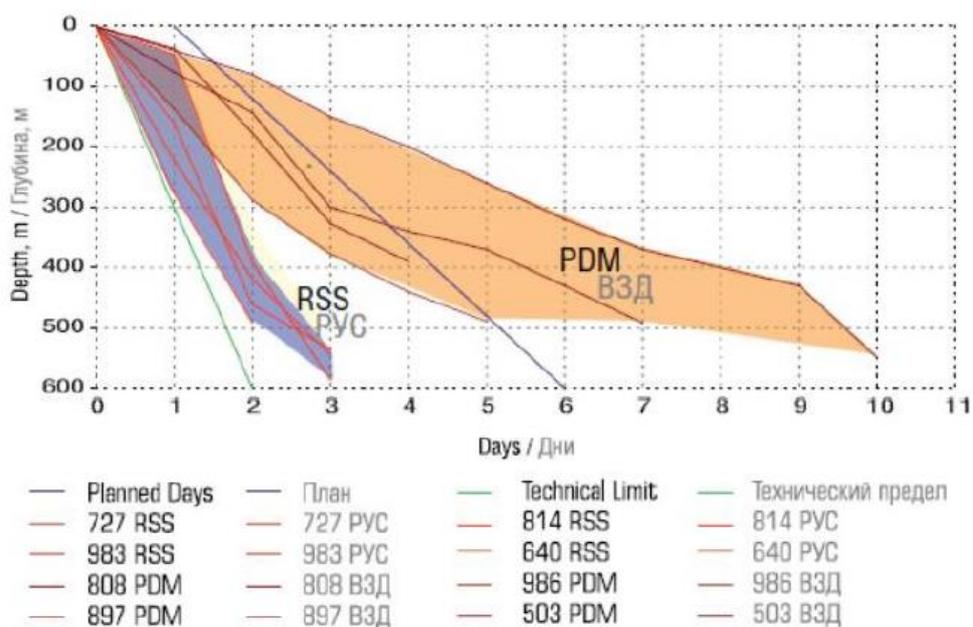


Рис.29 - График «глубина-день» для секции диаметром 152,4 мм (без времени на спускоподъемные операции), по данным ОАО «Верхнечонскнефтегаз» для Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения

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. Причиной этого является «скользящий» режим бурения. В этом режиме вращается только долото, а бурильная колонна просто следует за направляющей компоновкой. 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 18 представлены изображения, полученные с помощью каверномера. Они показывают, при бурении с использованием объемного двигателя получается ствол скважины со спиралевидной канавкой (вверху на рис. 18), 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].



Рис.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 30 представлена трехмерная траектория скважины, пробуренной на месторождении сланцевого газа Марселлус. В этой скважине оператор использовал РУС PowerDrive Archer для отхода забоя от вертикали, бурения трехмерной дуги с изменением азимута более чем на 100° и последующего бурения наклонного участка. Неопределенность геологической модели заставила оператора изменить место вскрытия пласта более чем на 21 м. После определения местоположения геологического маркирующего горизонта система РУС быстро увеличила угол до $16^\circ/30$ м для достижения целевого объекта, после чего оператор переключился на интенсивность набора кривизны 2° для плавной проводки скважины в пласт-коллектор.

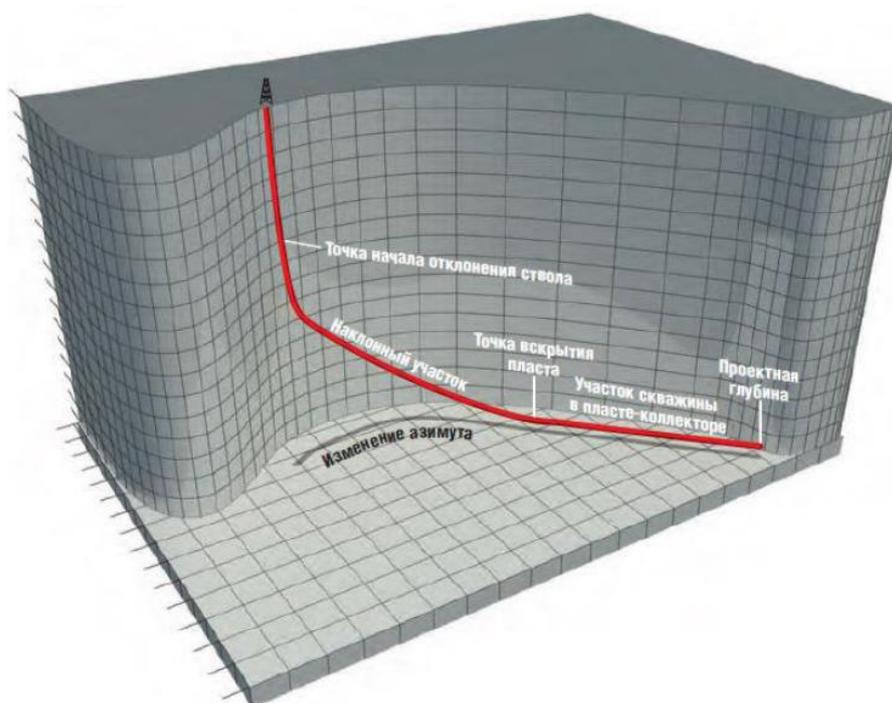


Рис. 31 – 3D модель траектории скважины

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.

Далее я выделил основные характеристики Роторно-управляемых систем и провел сравнительный анализ. Результаты представлены в таблице 13.

Таблица 13 - Сравнительный анализ РУС

Эксплуатационные характеристики	«PowerDrive» компании «Schlumberger»	«AutoTrak» компании «Baker Hughes»	«Revolution» компании «Weatherford»	«Suresteer» компании «APS technology»	«Wellguide» RSS компании «Gyrodatta»	«DART» компании «Андергейдж»
Диаметр ствола, мм	393-711	215,9-250	146-470	152,4/171	393-711	149,2-171,5
Тип бурового раствора	РВО/РУО	РВО/РУО	РВО/РУО	РВО/РУО	РВО/РУО	РВО/РУО
Максимальная рабочая температура, °С	150/190	150	149	150	150	150
Максимальное давление на забое, МПа	137/206	137,9	137,9	137,9	138	137
Максимальная пространственная интенсивность, °/30 м	3	3	5-10	6,5	3-12,5	3
Максимальная скорость вращения, об/мин	220	400	300	200	250	220
Максимальный крутящий момент на долоте, Н*м	24400	21000	27115-86770	15000	12202-57862	-
Максимальная нагрузка на долото, кг	22600	-	11340-40823	-	-	-
Диапазон расхода, л/с	19 - 126	19 - 126	22-113	68 – 272,5	68 – 272,5	18,9 - 25

4.5. Разработка методики выбора роторно-управляемой системы.

Первым шагом определим параметры, характеризующие выбор РУС, геолого-технологические и технические:

- 1) диаметр скважины;
- 2) твердость пород;
- 3) коэффициент кавернозности;
- 4) интенсивность искривления;
- 5) вес инструмента;
- 6) нагрузка на долото;
- 7) крутящий момент на долоте;
- 8) частота вращения инструмента;
- 9) рабочая температура;
- 10) давление на забое;
- 11) тип бурового раствора;
- 12) расход бурового насоса;
- 13) стоимость оборудования.

Наиболее важным геологическим параметром является крепость горной породы, он характеризует сопротивляемость к разрушению ГП. Крепость породы представляет собой сложную характеристику породы, определяемую рядом ее физико-механических свойств, которые влияют на процесс ее разрушения при бурении горной породы:

1. твердость характеризует способность горной породы противостоять проникновению или вдавливанию в нее другого, более твердого тела, в частности породоразрушающего инструмента;

2. абразивность — это особое свойство пород, выражающееся в способности изнашивать породоразрушающий инструмент в процессе бурения;

3. трещиноватость горных пород. Данное свойство определяет совокупность в породе трещин различного происхождения и разных размеров. Наличие трещиноватости уменьшает прочность породы, но увеличивает ее абразивность;

4. кавернозность есть наличие небольших пустот (каверн) в горных породах. Кавернозность горных пород может быть первичная и вторичная. Первичная наблюдается в некоторых излившихся магматических породах (обусловлена особенностями застывания лавы), а также в рифовых известняках. Вторичная возникает под влиянием растворяющего действия, особенно хорошо развита в карбонатных породах: известняках, доломитах. Именно кавернозность определяет твердость и крепость ГП в целом. Так же фигурирует коэффициент кавернозности (*cavernosity ratio*), который показывает отношение суммарного объема каверн к соответствующему видимому объему горной породы; различают коэффициенты полной и открытой кавернозности.

Кавернообразование зависит от бурового раствора. По мере возрастания показателя фильтрации раствора с 2 до 5,5 см³ интенсивность кавернообразования увеличивается примерно в 10 раз.

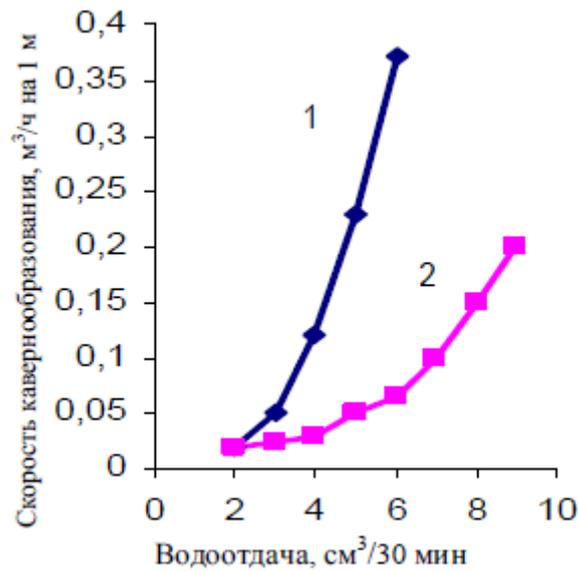


Рисунок 32 - График влияние фильтрационных свойств раствора на динамику Кавернообразования. 1-интервал 2642-2982 м, 2-интервал 1336-2057 м.

Так же зависит от плотности бурового раствора. Увеличение плотности раствора с 1100 до 1200 кг/м³ снижает интенсивность кавернообразования почти в 2 раза.

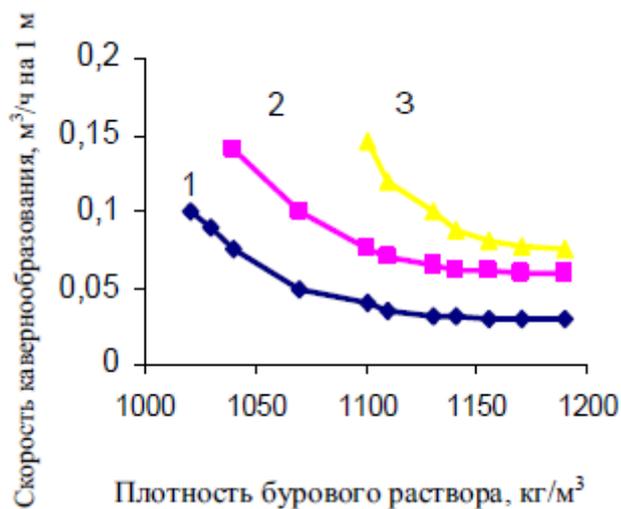


Рисунок 32 – График влияние плотности бурового раствора на динамику кавернообразования: 1-интервал 1300-1800 м; 2 - интервал 1800-2700 м; 3 - интервал 2700-3000 м

Для РУСа более важна крепость пород и коэффициент кавернозности, что бы он вообще смог управлять траекторией. Ибо чрезмерная твердость породы может затруднить искривление, тем самым понижая эффективность использования РУС.

Касаемо технических параметров.

Интенсивность искривления важнейший параметр при выборе РУС. Этот параметр определяет на сколько фактически система способна отклонять траекторию скважины. Измеряется интенсивность в градусах на метр.

Вес инструмента определяет нагрузку на долото и вследствие на пород. При наличии мягких пород через чур большая нагрузка или в случае недостаточной нагрузки на твердые породы. Искривление будет проходить проблематично и безрезультатно.

Как не парадоксально такие параметры как максимальная рабочая температура, максимальное давление на забое, тип бурового раствора являются второстепенными. Так как все рассмотренные РУСы спроектированы для критических значений давлений и температур в диапазоне от -4 до 150 °С. И конечно же промывка осуществляется всеми видами промывочной жидкости.

Такой технологический параметр как расход бурового раствора является основополагающим для систем принципа Push the bit. Если на буровой расход не регулируемый, то и с русом там нечего делать.

Имеют место быть и эксплуатационные свойства РУС, рассмотренные в таблице 13. Но они не сильно и не существенно влияют на выбор РУС, их подбор осуществляется непосредственно в процессе бурения.

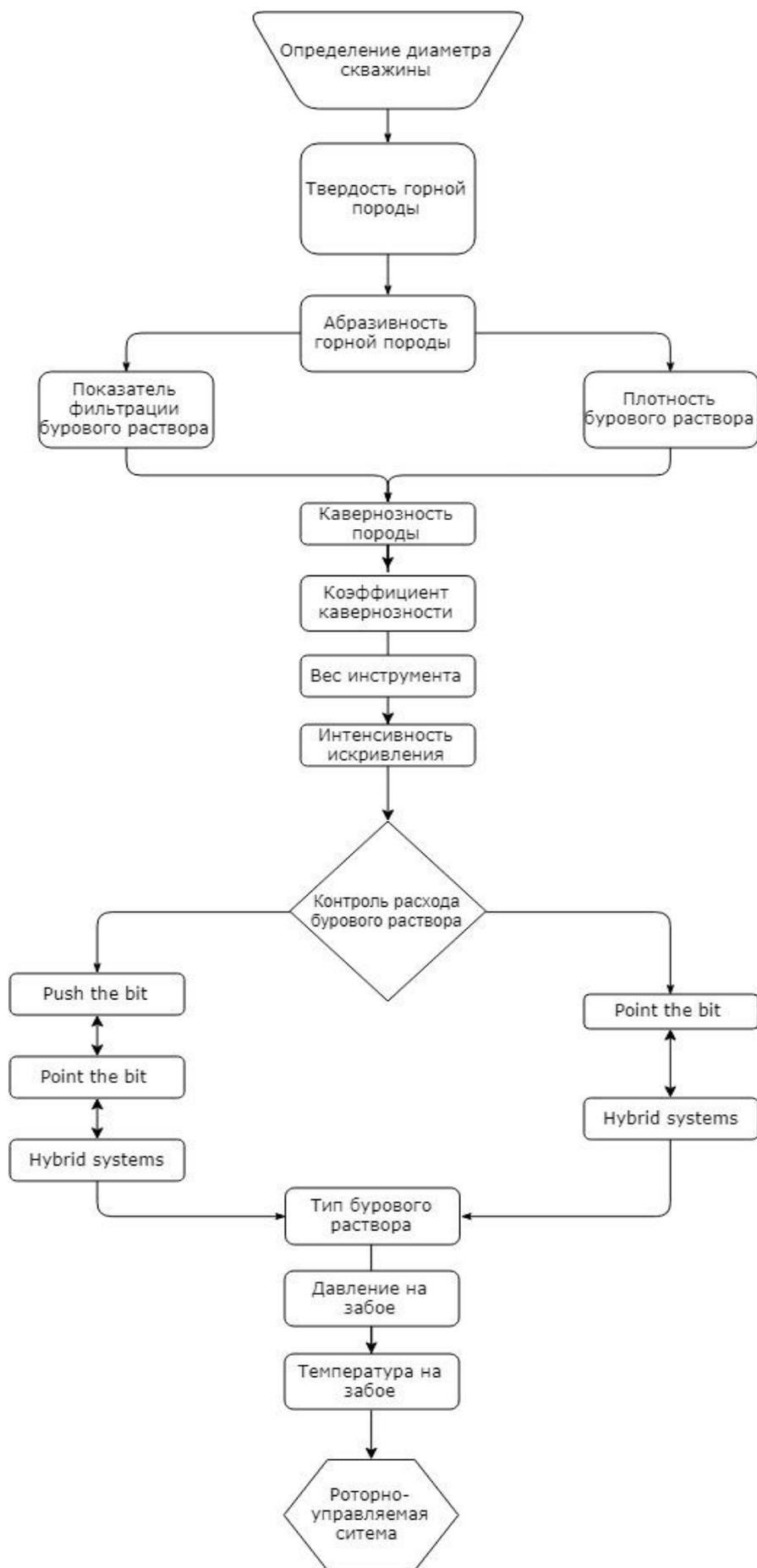
Крутящий момент на долото передается с поверхности от ротора (вращателя) или верхнего силового привода через колонну бурильных труб или от забойного двигателя (турбобура, электробура, винтового двигателя), установленного непосредственно над долотом. В процессе бурения в зависимости от типа долота и свойств пород при диаметре скважины 216 мм составляет 1000-3000 Нм.

Осевая нагрузка создается в основном частью веса находящихся над долотом утяжеленных (толстостенных) бурильных труб и забойного двигателя. Например, на долото диаметром 215,9 мм создается нагрузка 150-250 кН.

Частота вращения долота при роторном бурении 20-200 об. /мин, при бурении ВЗД - 150-250, при турбинном и электробурении - 250-800.

Методику выбора РУС было решено разработать в форме блок-схемы алгоритма.

Методика выбора РУС будет иметь вид алгоритма, а конкретно блок-схемы. Определив приоритет параметров выбора РУС и последовательность-взаимосвязь между собой, приступим к построению алгоритма в виде блок-схемы.



Блок-схема 1 – Алгоритм выбора роторно-управляемой системы

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.

5.1. 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 14 – 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. Простои оборудования из-за применения более дешевых аналогов.

5.2. 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 15 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _{рус}	Б _{взд}	К _{рус}	К _{взд}
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.

5.3. 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 33). 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.).

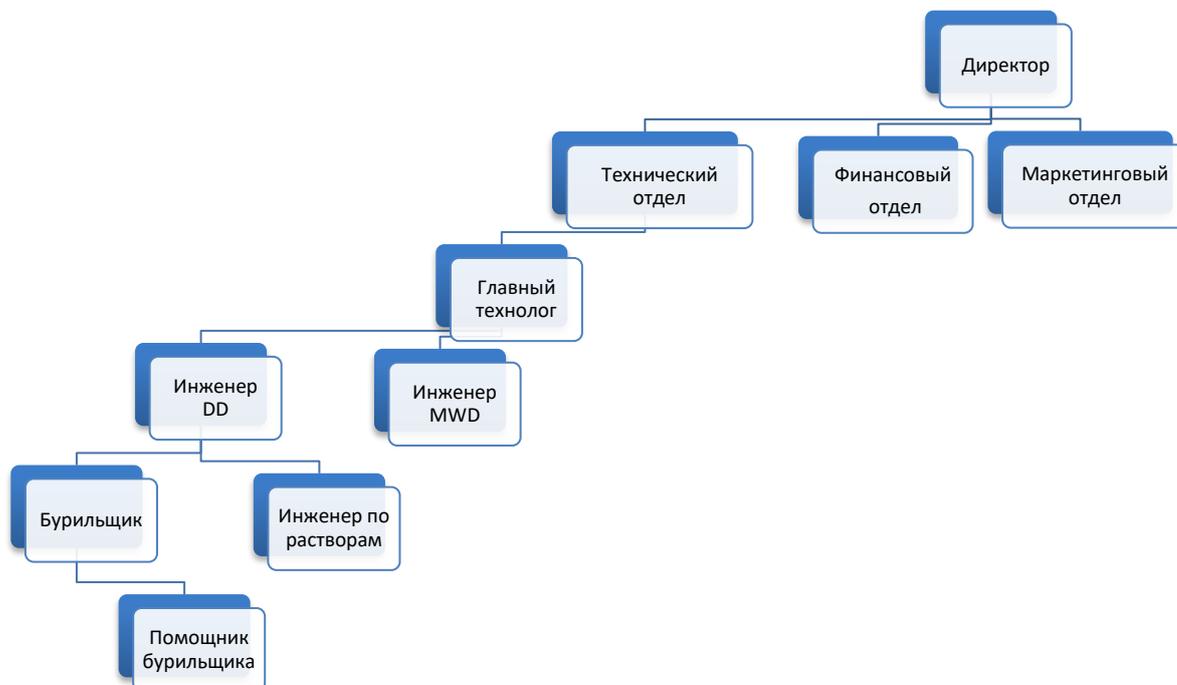


Рисунок 34 – Линейно-функциональная структура управления

5.4. 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 16 – 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 17 – 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

5.5. 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 18 – 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:

$$t_{\text{СПО}}^0 = 0,35 * t_{\text{общ}}^0 = 0,35 * 35 = 12,25 \text{ дней} \quad (6.1)$$

значит время на СПО с РУС составит:

$$t_{\text{СПО}} = 0,3 * t_{\text{общ}}^0 = 10,5 \text{ дней} \quad (6.2)$$

Также из экспериментальных данных:

$$V = 1,1 * V_0 \quad (6.3)$$

следовательно:

$$t_{\text{бур}} = \frac{t_{\text{бур}}^0}{1,1} = \frac{t_{\text{СПО}}^0 - t_{\text{общ}}^0}{1,1} = \frac{35 - 12,25}{1,1} = 20,68 \text{ дней} \quad (6.4)$$

Таким образом, общее время бурения с РУС составит:

$$t_{\text{общ}} = t_{\text{СПО}} + t_{\text{бур}} = 10,5 + 20,68 = 31,18 \approx 31 \text{ день} \quad (6.5)$$

Экономия времени составляет:

$$\Delta t = t_{\text{общ}} - t_{\text{общ}}^0 = 35 - 31 = 4 \text{ дня} \quad (6.6)$$

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

$$C_{1\text{д}} = \frac{20000000}{35} = 571400 \text{ руб.} \quad (6.7)$$

Общая экономия при сокращении буровых работ на 4 дня составит:

$$\Delta C = 4 * 571400 = 2285600 \text{ руб.} \quad (6.8)$$

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.

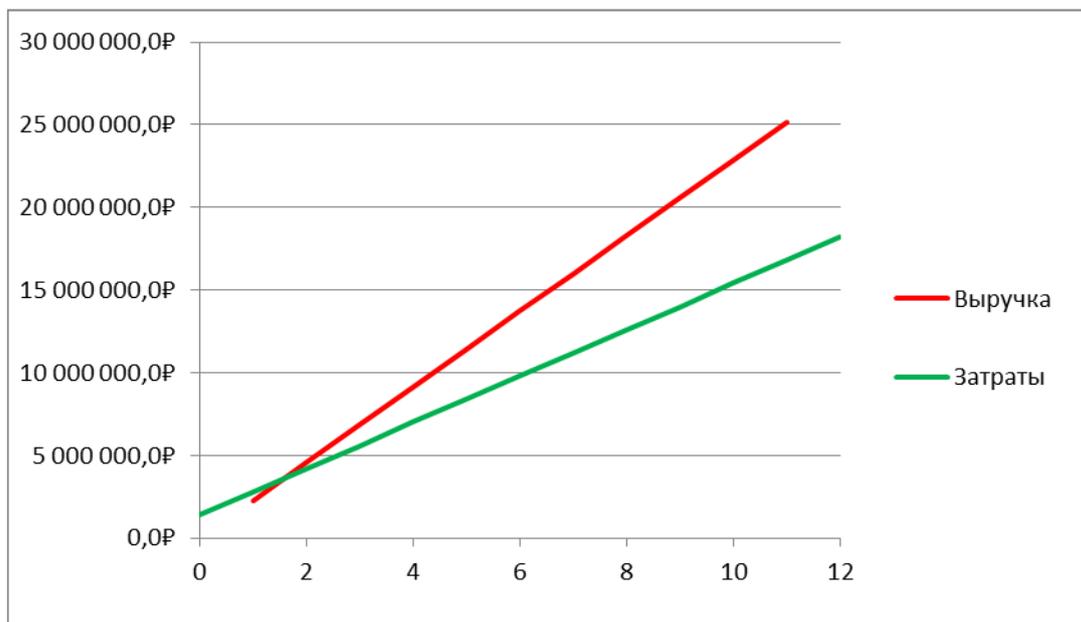


Рисунок 35 – График срока окупаемости

Из графика следует, что срок окупаемости составляет два месяца.

5.6. 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:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (R_t - S_t) \frac{1}{(1+n)^t} \quad (6.9)$$

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

Π_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:

$$K = \sum_{t=0}^T K_t (1+n)^{-t} \quad (6.10)$$

где t – год вложения средств.

Тогда:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T \frac{\Pi_{pt} + A_t}{(1+n)^t} - \sum_{t=0}^T K_t (1+n)^{-t} \quad (6.11)$$

Если $\text{ЧДД} > 0$, 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:

$$K_t = 8400000$$

$$\text{ЧДД} = \frac{2285600}{(1+0,1)^1} - \frac{840000}{(1+0,1)^1} = 2077818 - 763636 = 1314182 \text{ руб.} \quad (6.12)$$

$\text{ЧДД} > 0$, следовательно, проект является эффективным.

5.7. 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 19 – 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 этот период формирования общества приобрело 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. А именно, рассмотрение пунктов связанных с исключением несчастных случаев на производстве; защитой здоровья работников; снижением вредных факторов на окружающую среду; экономным расходованием не возобновляемых природных ресурсов.

6.1. 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 20 показаны опасные и вредные факторы, которые могут возникнуть на производстве [16].

Таблица 20 – Основные опасные и вредные производственные факторы

Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
Вредные	Опасные	
1. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;	1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;	1. СанПиН 2.2.4.548-96.
2. Повышенный уровень шума на рабочем месте;	2. Повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов;	2. ГОСТ 12.1.003-83;
3. Повышенный уровень вибрации;	3. Повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов;	3. ГОСТ 12.1.012-2004;
4. Отсутствие или недостаток естественного света; недостаточная освещенность рабочей зоны.	4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.	4. СП 52.13330.2011.

6.1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения

Возможно воздействие вредных факторов, таких как:

1) метеоусловия на рабочем месте

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

2) Освещение

Недостаточное освещение вредно влияет на организм человека. На буровой установке используется искусственное и естественное освещение.

3) Шум и вибрация

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

4) Концентрации вредных веществ

Возникают при приготовлении буровых растворов и работе с химическими реагентами, при испарении нефти и газа, от выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания.

6.1.2. Анализ опасных факторов производственной среды

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. Механические травмы. Опасность механических травм при производстве буровых работ возникает при неисправности перил, лестниц, при производстве спуско-подъемных работ, при производстве работ на высоте, от движущихся и вращающихся частей машин и механизмов, не оборудованных кожухами и ограждениями (ротор, буровые насосы, лебедка, ключи АКБ, ПКБ), при проведении погрузочно-разгрузочных работ, при монтаже и демонтаже буровой установки, при захламленности пола и т.д.

2. Поражение электрическим током. Данный вид опасности возникает при контакте с голыми токоведущими частями, которые находятся под напряжением или при контакте с металлическими частями, которые могут оказаться под напряжением, например, при нарушении изоляции.

3. Взрыв. Опасность взрыва на буровой установке может возникнуть при неправильном хранении горюче-смазочных материалов, высокой концентрации взрывоопасных веществ, от систем, находящихся под давлением, из-за неосторожного обращения с огнем вблизи взрывоопасных объектов.

4. Пожар. Опасность пожара возникает в следующих случаях: при неправильной эксплуатации электроустановок, неосторожном обращении с

открытым огнем (при курении в неразрешенном месте, сварке), при неправильном хранении и использовании горюче-смазочных материалов, самовозгорании (химическая реакция, удар молнии).

6.1.3. Мероприятия по обеспечению безопасных условий труда

Мероприятия по устранению вредных факторов

1) Микроклимат

Должен соответствовать ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». 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 (спецодежда). Следует запрещать работу при неблагоприятных метеоусловиях. Осуществлять чередование труда и отдыха [17]. В связи с вредными условиями труда должны выплачиваться компенсации («Трудовой кодекс», «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности»).

2) Освещение

Освещение рабочих мест должно отвечать требованиям, изложенным в СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение".

Освещение должно быть постоянным во времени, без пульсации, иметь спектр, близкий к естественному. Нужно обеспечить равномерное распределение яркости освещения и отсутствие резких теней. Общее освещение должно составлять 10 %, а местное 90 % от всего освещения буровой. Оптимальное направление светового потока – под углом 60 градусов к рабочей поверхности [18]. Нормы освещенности на буровой установке приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Нормы освещенности

Рабочие места, подлежащие освещению	Места установки светильников	Норма освещенности, люкс
Роторный стол	На ногах вышки на высоте 4 м, под углом 45-50°. Над лебедкой на высоте 4 м под углом 25-30°.	40
Щит контрольно-измерительных приборов	Перед приборами	50
Полати верхового рабочего	На ногах вышки, на высоте не менее 2,5 м. от пола полатей под углом не менее 50°	25
Путь талевого блока	На лестничных площадках, по высоте вышки, под углом не менее 64-70°	13
Кронблок	Над кронблоком.	25
Приемный мост	На передних ногах вышки на высоте не менее 6 м	13
Редукторное помещение	На высоте не менее 6 м	30
Насосное помещение:	На высоте не менее 3 м	50
- пусковые ящики		25
- буровые насосы		
Глиномешалки	На высоте не менее 3 м	26
Превентор	Под полом буровой	26
Площадка ГСМ и инструмента	На высоте не менее 3 м	10
Желобная система	На высоте не менее 3 м	10

1) На буровой используется рабочее и дежурное освещение, а также предусматривается и аварийное.

Шум

Шум на рабочем месте не должен превышать 85 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, смазки, кожухи, установка экранов, кабин, звукоизоляции, звукопоглощения, глушителей);

2. применение средств индивидуальной защиты (наушники, вкладыши, противошумный шлем).[19]

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, виброручкавицы, виброгасящие коврики) [20].

Допустимые нормы по вибрации приведены в таблице 22

Таблица 22 – 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

2) Состояние воздушной среды

Количество вредных примесей в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно-допустимых концентраций. Микроклимат рабочих мест должен отвечать требованиям ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Для исключения нежелательных последствий от запыленности и загазованности используются: индивидуальные средства защиты (респираторы, противогазы) и коллективные средства защиты (вентиляция).[21] Вентиляция должна соответствовать требованиям, изложенным в СНиП 2.04.05-91 "Отопление, вентиляция, кондиционирование"[22]. При приготовлении бурового раствора необходимо использовать респираторы, очки и рукавицы. Работа с вредными веществами должна выполняться в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ "Вредные

вещества, классификация и общие требования безопасности". Склад химических реагентов необходимо располагать по розе ветров [23].

6.1.4. Мероприятия по устранению опасных факторов

1) Механические травмы

Для исключения получения механических травм необходимо использовать индивидуальные и коллективные средства защиты.

В таблице 23 представлен перечень средств индивидуальной защиты, необходимых для буровой бригады.

Таблица 23 - Средства индивидуальной защиты

Наименование	ГОСТ, ТУ	Потребность, шт
Каска защитная «Труд»	ОСТ 39-124-82	На каждого члена бригады
Рукавицы антивибрационные	ГОСТ 12.4.010	На каждого члена бригады
Респиратор фильтрующий «Лепесток»	ГОСТ 12.4.028-76	На каждого члена бригады
Предохранительный пояс верхового рабочего	ВТУ 40-70 исполнение ВМ	2
Противошумы (НИАТ, МИОТ, ХН)	ТУ 1-01-0201-79	На каждого члена бригады
Виброгасящие коврики под ноги у пульта бурильщика и ключа АКБ-ЗМ		2
Щиток-маска электросварщика		1
Очки защитные для газосварщика		6
Подставка диэлектрическая (с ковриком)		2
Респираторы противопылевые	ГОСТ 1274.028-76	6

Так же буровое оборудование должно обеспечивать требования безопасности устройства и эксплуатации механизмов по ГОСТ 12.2.003-91.

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 технике безопасности, 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 технике безопасности;
6. при работе на высоте рабочий должен быть обеспечен страховым поясом;
7. при наличии грузоподъемного механизма использовать блокировки;
8. лестницы на буровой должны быть с уклоном не более 60°, с высотой перил 1 метр;
9. использование средств индивидуальной защиты (каска, предохранительные пояса, резиновые перчатки, кирзовые сапоги, резиновые сапоги, рукавицы брезентовые, защитные очки и т.д.) [24].

2) Мероприятия по устранению поражений электрическим током

Предупреждение электротравматизма на объектах достигается выполнением следующих мероприятий:

1. проектирование, монтаж, наладка, испытание и эксплуатация электрооборудования буровых установок должны проводиться в соответствии с требованиями "Правил устройства электроустановок" (ПУЭ), "Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок" 2001 г.;
2. обеспечение недоступности прикосновения к оголенным токоведущим частям, находящимся под напряжением;
3. применение блокировочных устройств;
4. применение защитного заземления буровой установки;

5. применение изолирующих, защитных средств (диэлектрические перчатки, боты, инструмент с изолированными ручками) при обслуживании электроустановок;

6. допускать к работе специально обученных лиц, имеющих группу по электробезопасности не ниже IV [25].

3) Мероприятия по предупреждению взрывов

1. взрывоопасные работы должны проводиться согласно требованиям «Правил безопасности в нефтяной и газовой промышленности»;

2. сосуды, работающие под давлением, должны соответствовать требованиям «Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» от 2003 г.;

3. буровое оборудование должно изготавливаться во взрывобезопасном исполнении по ГОСТ 12.2.041 – 79.

6.2. 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 экзогенных геологических процессов (термоэрозия, пучение, наледообразование, заболачивание и др.);

3. нарушение естественной изоляции между пластовыми флюидами в земных недрах, химическое загрязнение горизонтов подземных вод.

6.2.1. 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.

Работы по охране окружающей среды при строительстве кустового основания и строительстве куста скважин предусматривают:

1. детальное обследование источников загрязняющих выбросов и отходов, определение массы выбрасываемых загрязняющих веществ;
2. разработку организационно-технических мероприятий по предупреждению или максимальному снижению загрязняющих выбросов и отходов производства;
3. разработку плана контроля за состоянием и охраной окружающей среды и согласование плана с соответствующими природоохранными органами;
4. контроль выполнения проектов и действующих проектных решений;

5. организация и ведение мониторинга.

6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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

6.3.1. Разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС

Основные признаки ГНВП:

- 1) увеличение объема бурового раствора в емкостях;
- 2) повышение газосодержания в буровом растворе;
- 3) изменение свойств бурового раствора;
- 4) возрастание мехскорости проходки.

ГНВП может также возникнуть при понижении уровня промывочной жидкости в скважине вследствие потери циркуляции или при подъеме бурильных труб с недостаточным доливом скважины [27].

Меры по предупреждению ГНВП:

- 1) увеличение плотности бурового раствора;
- 2) обязательные промежуточные промывки скважины и промывка перед подъемом колонны бурильных труб;
- 3) предотвращение резких колебаний давления в скважине при СПО;
- 4) обязательный непрерывный долив скважины при подъеме труб;
- 5) установка обратного клапана в ведущей трубе;
- 6) установка противовыбросового оборудования – превенторов.

6.3.2. Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий

- 1) Первоочередные действия производственного персонала при возникновении ГНВП
- 2) первый работник, заметивший ГНВП, немедленно предупреждает всех членов бригады;

- 3) во всех случаях при возникновении ГНВП бурильщик обязан принять неотложные меры по герметизации устья скважины, сообщить о случившемся в ЦИТС и установить дежурство у телефона;
- 4) обесточить все производственные объекты (трансформаторные будки, станки-качалки, газораспределительные пункты и т.п.), которые могут оказаться в газоопасной зоне;
- 5) оповестить руководство предприятия, противofонтанной службы и пожарной охраны о возникновении открытого фонтана;
- 6) прекратить все работы в опасной зоне и немедленно удалиться за ее пределы.

Ликвидация ГНВП

Способ «непрерывного глушения скважины» При данном способе скважину начинают глушить сразу после ее закрытия при постоянном утяжелении раствора глушения, используемого для циркуляции, т.е. совмещают процесс вымыва пластового флюида с повышением плотности жидкости глушения до значения, необходимого для равновесия в скважине. В этом способе обеспечивается минимальное время нахождения устьевого оборудования под давлением, а при достаточно интенсивном утяжелении раствора — и наиболее низкие давления в колонне при глушении. Вследствие вышесказанного способ «непрерывного глушения» считается наиболее безопасным, но в то же время и наиболее сложным для обучения из-за необходимости построения графиков давления в бурительных трубах [29].

6.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.4.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) 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, а так же лица прошедшие [28]:

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 лаборатории 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 согласно, работодатели за свой счет обеспечивают работникам: дополнительный отпуск, доплаты, молоко и лечебно-профилактическое питание, медосмотры, средства индивидуальной защиты.

Работники пользуются правом на досрочное назначение трудовой пенсии по старости в возрасте: мужчины в 55 лет, женщины в 50 лет.

6.4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Площадка для производства работ по бурению скважин должна быть тщательно спланирована, очищена от посторонних предметов и ограждена. Рабочие места и буровая вышка должны быть достаточно освещены. 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 ограждены 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.

Распределительные щиты, рубильники, электромоторы и генераторы должны быть заземлены и укрыты от возможного проникновения внутрь снега, дождя. Эксплуатация действующего оборудования, инструмента, контрольно-измерительных приборов осуществляется в соответствии с руководством по эксплуатации, составленным на основе действующих нормативных документов по безопасности. У распределительных щитков и пусковой аппаратуры должны находиться исправные испытанные защитные диэлектрические подмостья, коврики, перчатки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РАЗДЕЛУ

В данном разделе выпускной квалификационной работы магистра были:

- 1) изучены и проанализированы основные факторы, определяющие опасность и вредность при строительстве скважины;
- 2) разработаны мероприятия по устранению факторов, влияющих на атмосферы, гидросферы и литосферы;
- 3) изучены виды воздействия на природную среду;
- 4) проведен анализ возможных чрезвычайных ситуаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В аналитической выпускной квалификационной работе магистра была поставлена цель – разработать методику выбора роторно-управляемой системы. Все поставленные задачи были решены и цель достигнута.

В результате анализа рынка производителей роторно-управляемых систем как зарубежных представителей, так и отечественных. Были выявлены лидеры, а также проведен сравнительный анализ, приведенный в таблице 13.

Осуществлен анализ механизмов искривления РУС. Выявлены преимущества и недостатки систем.

Итогом стал разработанный алгоритм выбора роторно-управляемых систем, описывающий взаимосвязь геологических, технологических и эксплуатационных параметров и последовательность рассмотрения при подборке РУС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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. – 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. Официальный ресурс компании «Schlumberger» [Электронный ресурс]. – режим доступа к стр.: <https://www.slb.com> (дата обращения 7.04.19).
11. Официальный ресурс компании «Baker Hughes» [Электронный ресурс]. – режим доступа к стр.: <https://www.bhge.com> (дата обращения 24.04.19).
12. Официальный ресурс компании «Weatherford» [Электронный ресурс]. – режим доступа к стр.: <https://www.weatherford.com/en/> (дата обращения 29.03.19).

13. Официальный ресурс компании «Halliburton» [Электронный ресурс]. – режим доступа к стр.: <https://www.halliburton.com/en-US/default.html> (дата обращения 22.04.19).
14. Официальный ресурс компании «APS technology» [Электронный ресурс]. – режим доступа к стр.: <https://www.aps-tech.com> (дата обращения 23.04.19).
15. Официальный ресурс компании «Gyrodatta» [Электронный ресурс]. – режим доступа к стр.: <https://www.gyrodatta.com> (дата обращения 23.04.19).
16. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
17. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1).
18. СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение (с Изменением N 1).
19. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1).
20. ГОСТ 12.1.012-90 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования.
21. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1).
22. СНиП 2.04.05-91* от 01.01.1992. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
23. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2).
24. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
25. «Правила устройства электроустановок» (ПУЭ), «Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок» 2001 г.
26. Закон РФ "О недрах" от 21.02.1992 N 2395-1 (последняя редакция).

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

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

29. 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, principles of operation.

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Ким Владимир Дмитриевич		

Руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Глотова В.Н.	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Лысунец Татьяна Борисовна			

1.2. Rotary-steerable systems, principles of operation.

With the development of oil drilling to the new directions of extended reach well, three-dimensional multi-target directional well, horizontal well with 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 more complex stratum and harsher operating conditions in a long time. However, 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 directional drilling, vertical drilling, ultrasonic drilling, laser drilling and so on, which can shorten the drilling period, improve the drilling accuracy and increase the rate of penetration (ROP).

Rotary steerable system (RSS) is a new automatic technique of 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, major oilfield technology service companies in domestic and abroad have successively developed techniques of RSSs.

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 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 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 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 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 bias effect. Drilling fluid control unit can regulate the lateral force that comes from hydraulic cylinder by controlling the flux of drilling fluid and rotation angle of upper disc valve on control unit. Stable platform is of great importance for keeping stability of 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 control unit. The two turbine generators are used to provide the power with 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 tri-axial accelerometer, gyroscope, control circuits, 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.

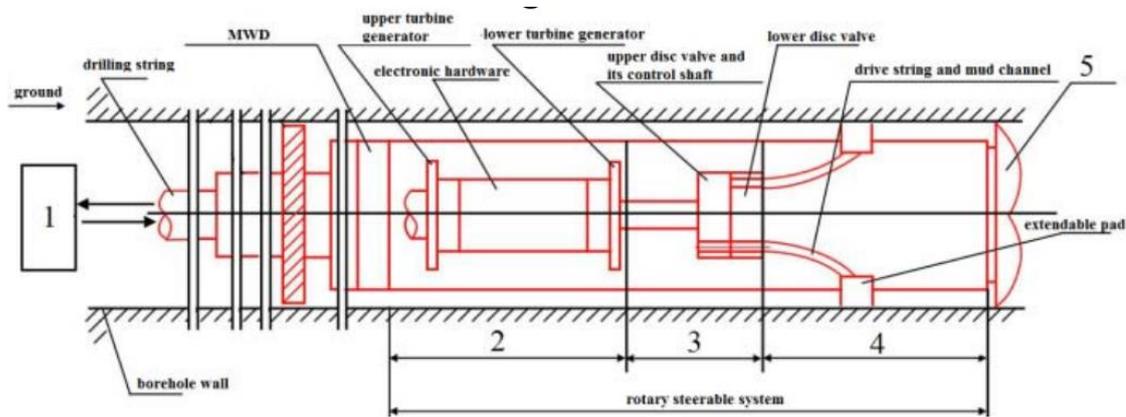


Figure A1 - The fundamental structure of RSS [18].

1. Ground monitor system. 2. Stable platform. 3. Drilling fluid control unit 4. Bias unit.
5. PDC bit.

RSS can be divided into static bias and dynamic bias according to different bias units, and can also be divided into push-the-bit and point-the-bit according to different directional principles. So, RSS can be divided into four categories comprehensively: static bias push-the-bit, static bias point-the-bit, dynamic bias push-the-bit and dynamic bias point-the-bit. Static bias refers that the bias unit in the drill rig does not rotate with drill bit, and it only provides lateral force in a certain constant position, while dynamic bias refers that the bias unit in the drill rig rotates with drill bit, and it can provide periodic lateral force in the position to realize directional drilling effect. The bias unit of push-the-bit RSS is fixed near the drill bit and directly provides lateral force for drill bit. The bias unit of point-the-bit RSS provides lateral force to the eccentric shaft directly or indirectly in the drill string (just as shown in Fig. A1). Under the action of the lateral force, the eccentric shaft is bent and makes drill bit point to the given direction.

Development process

Some typical RSSs in oil drilling engineering are summarized in Table A1. It is indicated from this table that most of the drilling steering tools of RSSs in early stage belong to the type of push-the-bit, such as the PowerDrive SRD from Schlumberger, the Auto-Trak RCLS from Baker Hughes and so on. Push-the-bit RSSs can accomplish the task of directional drilling efficiently in most instances, while several problems need to be solved. For example, the extendable pads connected to the hydraulic cylinders can lead to the stable platform's violent torsional vibration, even may render

borehole spiraling and bring difficulties for next well cementation and completion. In order to overcome these drawbacks of push-the-bit, 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 offset mechanisms to deflect the eccentric shaft and consequently regulate the drilling trajectory. In the section of driving power, due to the fact that point-the-bit steering tool uses servo motors rather than hydraulic cylinders, 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 push-the-bit and point-the-bit has been studying by some researchers in the past few years. A prominent example is the PowerDrive Archer from Schlumberger , which changes the direction of the drill bit by inclining the steering sleeve, and uses extendable pad installed on the inner sleeve to push the outer sleeve to regulate the drilling trajectory.

Table A1 - 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 - 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

Directional principle

Rotary steerable system regulates the parameters in 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 driving drill string to change direction comes from pressure difference between inside and outside of 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 hydraulic pistons is 3 because of its simple structure and superior performance. The operating principle of 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 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 pointthe- bit is similar to push-the-bit. The difference is only that point-

the-bit uses eccentric shaft to control drilling trajectory, whose schematic diagram is roughly shown as in figure. A2(b).

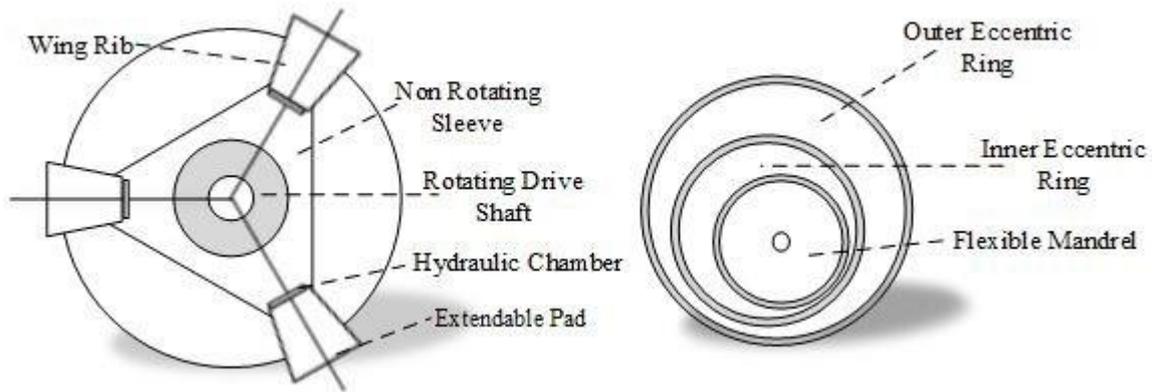


Figure A2 - The directional principle of RSS.
 (a) Steering tool of push-the-bit. (b) Eccentric shaft of point-the-bit.

Rotary steerable systems «Push the bit»

The rotary-controlled system Push The Bit, which literally translates 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 lateral force to the bit, pushing it against the borehole wall. To achieve the desired trajectory.

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

To increase the angle, each scapula, being in the lower part of the trunk, presses the lower part of the trunk, and to reduce the angle, being in the upper part of the trunk, it presses the upper part.

The commands sent by the driller to the well with the help of telemetry via a hydro-pulse communication channel determine the time and power of the blade action. The control unit, located above the deviation unit, actuates a rotary valve that opens or closes the supply of drilling fluid to the retractable vanes in accordance with the rotation of the drill string. The system synchronously changes the length and contact pressure of the blades when each of them passes a certain orienting point.

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

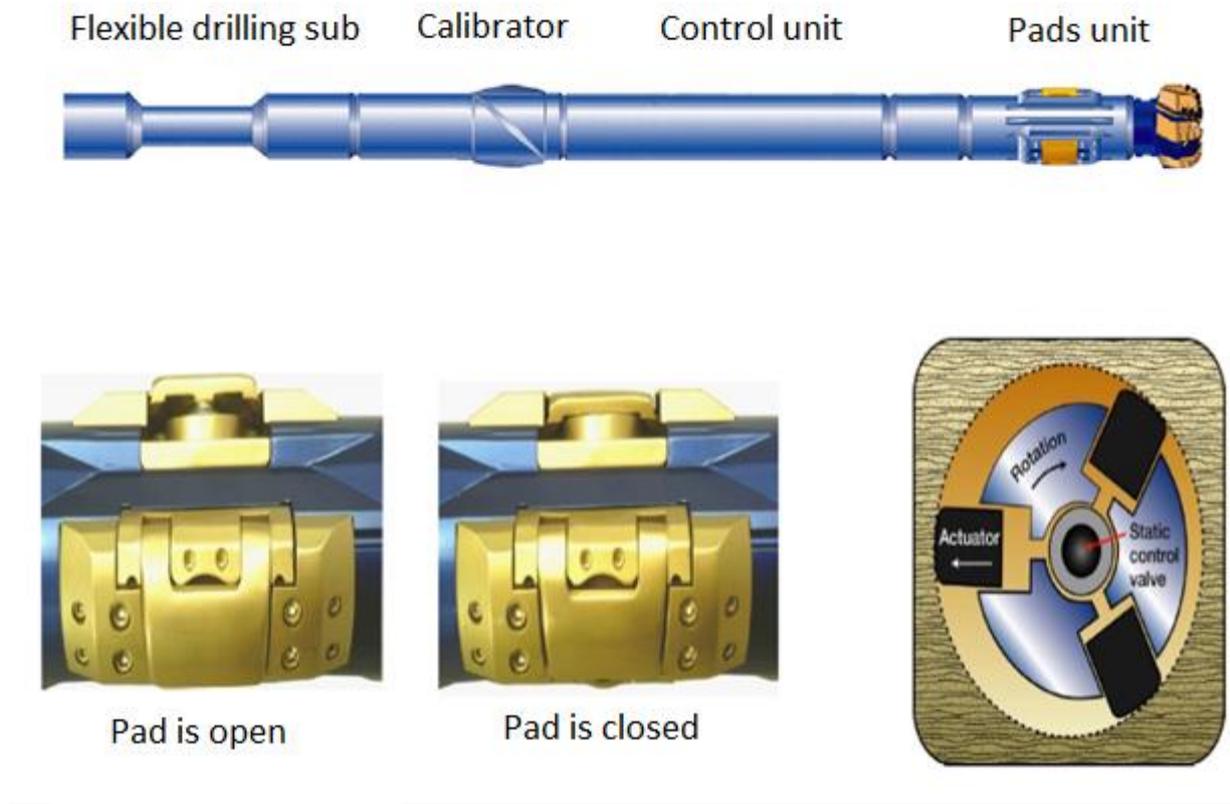


Figure A3 – Basic design RSS Push the bit

The drive of the blades is hydraulic, carried out due to the sequential supply of drilling mud to the corresponding hydraulic chambers. To increase the angle of deviation, each blade, turned to be in the lower part of the barrel, presses the lower side of the barrel. In order to decrease the angle, each blade presses the upper part of the barrel. Teams sent by telemetry via hydro-pulse and electromagnetic communication channels determine the time and force of the shoe triggering. The control unit, located above the deviation unit, actuates the butterfly valve 6, which closes or opens the channel for supplying the drilling fluid to the chambers with blades in accordance with the rotation of the drill string. The system synchronously changes the exposure interval and the force with which the blade acts on the borehole wall, thereby directing the bit in the desired direction. A chisel ensures that the bore is deflected by milling the borehole wall with side arms. Thus, a significant role in

the process of curvature of this type of RSS is assigned to the bit, which must meet certain requirements.

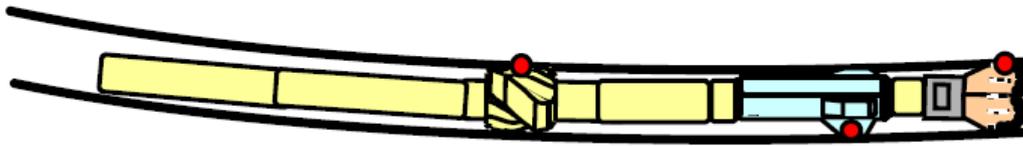


Figure A4– Points of stress touching the wellbore.

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 the direction of the bit. Curvature occurs by 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. Systems with the direction of the bit change the 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.



Figure A5 – Typical layout RSS Point the bit

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 RUS by the size of the gap Δ and the bit gets skewed in one direction or another, depending on the position of the sleeve inside the housing

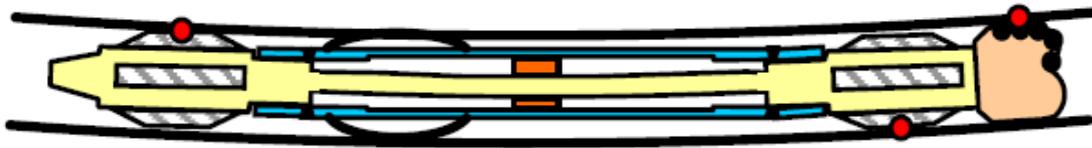


Figure A6 - The points of stress, touch with the wellbore.

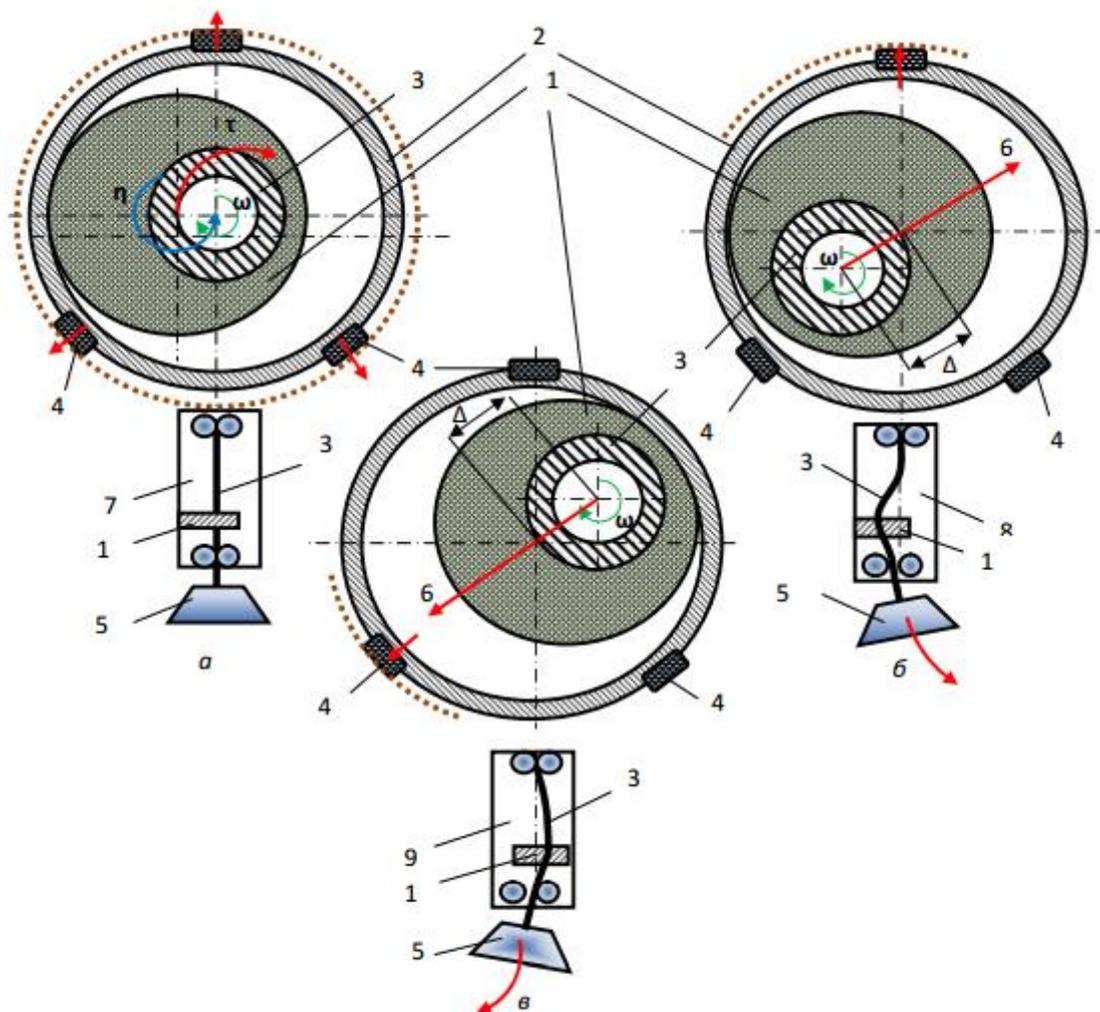
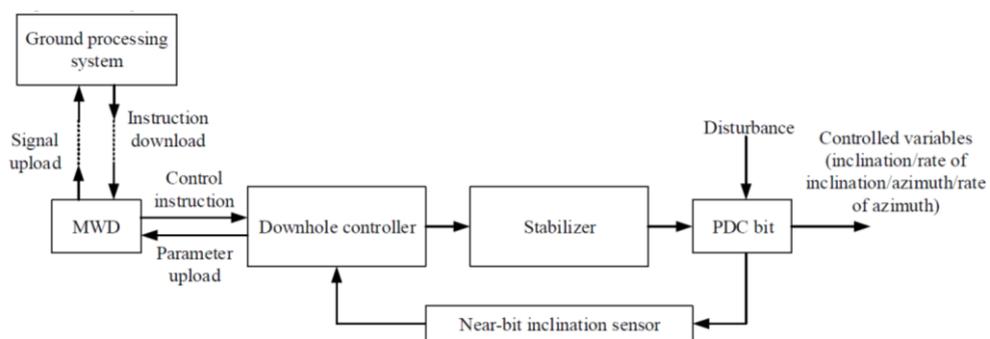


Figure A7 - Diagrams of operation of the RSS with bit positioning: a - the position of the system determining the straight direction of drilling; b, c - the position of the system, determining the change in the direction of drilling; 1 - eccentric bushing; 2 - housing-stator; 3 - shaft-rotor; 4 - retractable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

The control methods of rotary steerable system

A double closed-loops architecture is typically adopted in 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 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 the 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 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

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. Most mathematical models adopted in current 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, 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 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 experimental platform on the ground which is consistent with actual downhole environment, most of control methods are verified by simulations at present. And it exists risks of equipment damaging if new control methods are directly applied to actual downhole debugging. Therefore, establishment of experimental platform which can simulate 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 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 control methods of RSS are in the simulation stage and lack actual field applications. The realization of 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 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 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 control methods, several advanced control algorithms have been applied in the testing of directional drilling.