

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КубГУ»)  
Экономический факультет  
Кафедра экономики и управления инновационными системами

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В  
НАКЛОННО - НАПРАВЛЕННОМ БУРЕНИИ МЕТОДОМ РОТОРНО -  
УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ**

Работу выполнил \_\_\_\_\_ К.В. Стаценко  
(подпись)

Направление подготовки 27.03.05 Инноватика

Направленность (профиль) Управление инновационными проектами и  
трансфер технологий

Научный руководитель  
канд. экон. наук, доц. \_\_\_\_\_ Н.Н. Аведисян  
(подпись)

Нормоконтролер  
канд. экон. наук, доц. \_\_\_\_\_ Н.Н. Аведисян  
(подпись)

Краснодар  
2024

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Теоретические аспекты роторно – управляемых систем (РУС).....	4
1.1 История возникновения наклонно – направленного бурения и используемых систем в этой сфере .....	5
1.2 Роторно-управляемые системы, устройство и принципы работы. ....	7
1.3 Сравнение роторно – управляемых систем и винтовых забойных двигателей.....	10
1.4 Роторно – управляемые системы отечественного производства.....	14
1.5 Роторно - управляемые системы иностранных производителей.....	16
2 Анализ и оценка РУС.....	18
2.1 Сравнение эффективности роторно – управляемых систем в сравнении с аналогами .....	18
2.2 Финансовое сравнение выгоды использования РУС и ВЗД в эксплуатации.....	21
3 Разработка рекомендаций по улучшению инновационных методов РУС при бурении наклонно – направленных скважин в России .....	29
Заключение .....	33
Список использованных источников .....	34
Приложение А Буровые скважины при бурении при помощи РУС и ВЗД ....	37
Приложение Б Роторно – управляемые системы и их особенности.....	38

## ВВЕДЕНИЕ

Бурение скважин для добычи полезных флюидов, таких как нефть и газ, имеет очень важное значение. Существует несколько методов бурения направленно - наклонных скважин, самым инновационным считается РУС.

Роторно - управляемые системы в процессе бурения представляют собой инновационные технологии, которые революционизируют процессы строения скважин. Эти системы предлагают эффективные методы управления направлением и углом скважин, обеспечивая точность выполнения работ. С постоянным развитием нефтегазовой промышленности и повышением требований к качеству и скорости бурения, РУС становятся все более востребованными.

Роторно - управляемые системы используются для изменения направления и угла скважины в процессе бурения. Они оснащены специальными системами, которые поворачивают и изменяют угол скважины по требованию бурильщика.

Эти системы позволяют улучшить эффективность бурения и точность, снизить издержки и время выполнения работ, а также уменьшить риски возникновения аварий при бурении.

РУС могут быть применены с другими технологиями, такими как системы навигации, что повышает уровень автоматизации и контроля процесса.

Эти системы широко используются в сложных условиях, при бурении горизонтальных и наклонно-направленных скважин, а также при разработке сланцевых нефтегазовых месторождений.

Исследование и анализ данных аспектов помогут лучше понять роль, значимость РУС в современной нефтегазовой промышленности, а также их потенциал для оптимизации процессов.

Актуальность темы исследования. Бурение скважин главный процесс в добычи полезных ископаемых, который нуждается в адаптации новых инно-

вадий, облегчающих и улучшающих современные методы введения нефтегазовой промышленности.

Целью курсовой работы является разработка рекомендаций по улучшению инновационных методов РУС при бурении наклонно – направленных скважин в российском нефтегазовом деле

Для достижения цели необходимо выполнить следующие задачи:

- 1) изучить историю возникновения наклонно – направленного бурения и используемых систем в этой сфере;
- 2) изучить роторно-управляемые системы, их устройство и принципы работы;
- 3) сравнить роторно - управляемые системы и винтовые забойные двигатели;
- 4) познакомиться с роторно - управляемыми системами отечественного производства;
- 5) познакомиться с роторно - управляемыми системами иностранных производителей;
- 6) сравнить эффективность роторно - управляемых систем в сравнении с аналогами;
- 7) сравнить финансовые выгоды использования: РУС и ВЗД в эксплуатации.

Объект исследования – система РУС (предназначенная для наклонно – направленного бурения скважин).

Предмет исследования – использование инновационных технологий в наклонно – направленном бурении методом роторно – управляемых систем.

При написании работы использовались сравнительные и аналитические методы, а также индукции и дедукции.

Научная работа включает 3 раздела, введение, заключение и приложение. Работа представлена на 38 страницах, содержит 2 приложения.

# **1 Теоретические аспекты роторно – управляемых систем (РУС)**

## **1.1 История возникновения наклонно – направленного бурения и используемых систем в этой сфере**

Искусственное искривление скважин началось в 1912 году, когда на юге Африканского континента возникла потребность в изменении направления бурения алмазных скважин. Именно тогда появилось устройство, которое было названо "буровым клином", положившее начало развитию этой технологии.

"Буровой клин" представлял собой перевернутый клин с вогнутой внутренней поверхностью и заостренной нижней частью. Принцип работы заключался в создании бокового усилия на буровую колонну, заставляя ее отклоняться от вертикальной оси.

С появлением роторного бурения в 30-х годах 20 века вопрос строения наклонно-направленных скважин стал более решаемым. Первые скважины с искусственным искривлением ствола были пробурены на Грозненском промысле. Это было обусловлено проблемами с естественным искривлением скважин, которое приводило к обвалам и ограничивало доступ к нефтяным пластам.

В 1936 году была пробурена наклонная скважина глубиной 1810 метров и зенитным углом 33 градуса, со смещением более 507 метров. Эта скважина стала прорывом в эксплуатации наклонно – направленных скважин. В последующие годы было пробурено много наклонных скважин с помощью клина - отклонителя, но для достижения требуемых параметров приходилось часто спускать и поднимать устройство, что замедляло процесс.

В 1940 году была пробурена первая в мире направленно-искривленная скважина с применением турбобура и кривой трубы, что значительно улучшило скорость и точность бурения.

Этот скачок открыл путь к современному наклонно-направленному бурению, которое сейчас является частью нефтегазовой промышленности.

В 1942 году советский ученый Гейман М.А. предложил использовать турбобуры для искривления ствола скважины. Интенсивность искривления достигала 1,5-3,5° при каждом спуске. Однако несовершенство турбобуров приводило к проблемам таким, как неустойчивые породы вызывали обвалы ствола скважины.

После улучшения турбинного редуктора в 1942 году, турбинный метод бурения получил широкое распространение на морских площадках.

Самым эффективным оказался турбобур с эксцентричным ниппелем, который позволил достичь интенсивности искривления 1,5°/11 метров и увеличить зенитный угол скважины до 50°. Это открыло новые границы для контроля угловых параметров, подбора КНБК и выбора типа долота.

В середине 1950-х годов, в СССР начали буриться скважины с горизонтальным окончанием, а в 70-е годы - за рубежом. За недолгое время были созданы новые телеметрические системы, долота, забойные двигатели и другое оборудование, которое открыло новые горизонты для достижения высоких экономических и технических показателей.

В этот период велись работы по созданию винтовых забойных двигателей (ВЗД). ВЗД предназначались для наклонно-направленного бурения, заменяя турбобуры. В начале, ВЗД применяли для узконаправленных работ: бурения в интервалах набора кривизны и корректировки направления ствола скважины.

В 80-90-х годах ВЗД получили широкое распространение в наклонно-направленном бурении, специальных и ремонтно-восстановительных работах. Многие фирмы специализировались на выпуске ВЗД различного назначения, что свидетельствовало о высоком ро-

сте их использования при бурении скважин с искусственным искривлением.

Наклонно - направленное бурение прошло долгий путь от турбобуров до современных роторных управляемых систем. Эта технология играет главную роль в современной нефтегазовой промышленности, позволяя добывать нефть и газ из геологически сложных месторождений и открывая новые горизонты для развития отрасли.

Роторно - управляемые системы позволили решить множество задач бурения, но их высокая стоимость долгое время была препятствием. Традиционные компоновки с забойными двигателями не могли обеспечить ту же точность управления траекторией, которую предлагали РУС.

Однако, преимущества РУС, такие как непрерывное вращение всей буровой колонны и мгновенная реакция на изменения в траектории, сделали их незаменимыми для сложных проектов.

Ярким примером этого стала скважина, пробуренная НК "Роснефть" на острове Сахалин. Ее глубина составила 13500 метров, а смещение забоя - 12042 метра. Такой рекорд стал возможен благодаря высокой точности управления, которую обеспечивают РУС.

Сегодня, благодаря постоянному совершенствованию, РУС получили широкое распространение в нефтегазовой промышленности. Они позволяют бурить скважины в сложных геологических условиях. И хотя стоимость оборудования все еще является препятствующим фактором, преимущества РУС делают их незаменимыми для современного бурения.

## **1.2 Роторно-управляемые системы, устройство и принципы работы**

На сегодняшний день активное применение получили роторные управляемые системы для проходки вертикальных, наклонных и горизонтальных стволов. С их помощью разрушение горной породы реализуется вращением долота с буровой колонной верхним приводом буровой установки или ро-

тором, а также отклоняющие системы, сочетающие применение винтовых забойных гидродвигателей. Указанные системы представляют собой наиболее эффективное оборудование, а в комбинации с телеметрическими системами, системами геонавигации, они преобразились в высокосоввершенные беспилотные инструменты дистанционного координирования направлением буримых скважин. Потенциал данных систем поражает: при высочайшей точности ( $\pm 0,1^\circ$ ) и скорости действия они способны реализовывать бурение скважин любой ориентации в пространстве протяженностью до 15 км непрерывными рейсами, которые могут составлять более 1500 м. Современная отклоняющая система представляет собой беспилотный электронно-механический агрегат, управляемый дистанционно.

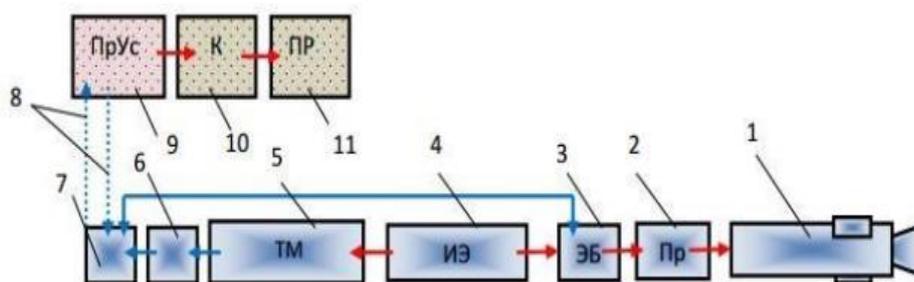


Рисунок 1 – Принципиальная схема РУС

Пояснение к рисунку 1:

- 1 – механизм искривления.
- 2 – привод механизма искривления.
- 3 – электронный блок управления приводом механизма искривления.
- 4 – источник электроэнергии (гидротурбина или аккумуляторные батареи).
- 5 – телеметрия.
- 6 – электронный блок телеметрии.
- 7 – блок передачи и приема информации, передаваемой с поверхности и к забойной системе.

8 – канал связи (гидроимпульсный, электромагнитный).

9 – приемное устройство и усилитель сигнала.

10 – компьютер.

11 – прибор для визуального контроля.

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

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

Роторно - управляемые системы приносят революционные изменения в процесс бурения, обеспечивают ряд преимуществ, которые увеличивают эффективность и открывают новые возможности.

Рассмотрим ключевые факторы, делающие РУС приоритетным выбором:

1. Оптимизированный вынос шлама: РУС не формируют зауженных участков в стволе скважины, что способствует беспрепятственному выносу шлама- это увеличивает скорость бурения и снижает риск осаждения шлама.

2. Увеличение скорости проходки: непрерывное вращение всей буровой колонны снижает силу трения между колонной и стенкой скважины- это приводит к увеличению скорости бурения.

3. Снижение риска прихватов: отсутствие неподвижных элементов в компоновке, взаимодействующих со стенкой скважины, обсадной колонной или отклонителем, значительно снижает вероятность дифференциальных прихватов.

4. Плавные траектории: РУС позволяют бурить горизонтальные скважины с плавным профилем без перегибов, часто возникающие при использовании забойных двигателей - это позволяет бурить более длинные горизонтальные стволы.

В результате бурения при помощи РУС мы видим улучшения в следующем:

1. Качество вскрытия продуктивного пласта: Непрерывное вращение бурильной колонны позволяет более эффективно вскрыть продуктивный пласт.

2. Снижение износа бурильного инструмента: оптимизированный вынос шлама снижает износ бурильного инструмента.

3. Увеличение протяженности горизонтальных стволов: бурение горизонтальных стволов длиной более 11 км, что открывает новые возможности для эксплуатации сложных месторождений.

РУС превратились в незаменимый инструмент для современного бурения, позволяющий решать сложные задачи и достигать высоких показателей. Он уникален в своем роде, технически – сложное устройство, способное на выполнение абсолютно разных задач в современном бурении.

### **1.3 Сравнение роторно – управляемых систем и винтовых забойных двигателей**

Рядом с РУС стоит метод бурения наклонно-направленных скважин при помощи ВЗД. Винтовые забойные двигатели – это гидравлические забойные двигатели объёмного типа, приводящиеся в действие за счёт энергии промывочной жидкости.

На сегодняшний день наиболее востребованным видом наклонно - направленного бурения являются протяженные горизонтальные скважины и скважины с большим отходом от устья. Сложность бурения скважин компенсируется повышенной эффективностью извлечения флюидов из них за счет увеличения площади контакта с продуктивным пластом. Строительство таких скважин связано с рядом технологических и технических проблем, решение которых является одним из приоритетных направлений развития бурения. С 50-х годов 20-го века подавляющее большинство наклонно-направленных скважин бурят с применением винтовых забойных двигателей. Использование данной технологии обусловлено простотой и надежностью конструкции, сравнительно невысокой стоимостью эксплуатации и обслуживания. Однако, при явных достоинствах использования ВЗД имеется ряд существенных недостатков, обусловленных конструктивными особенностями и режимами использования ВЗД.

Бурение с использованием винтового забойного двигателя не позволяет достичь равномерного искривления ствола скважины: траектория состоит из чередующихся участков условно прямолинейных отрезков роторного бурения с вращением всех элементов бурильной колонны и участков направленного бурения в режиме скольжения КНБК с созданием участков высокой локальной интенсивности искривления представлено в приложении А, на рисунке А.1.

Это вызывает рост крутящего момента при вращении компоновки, повышенный износ замковых соединений бурильных труб, затруднения в процессе спускоподъемных операций.

При вращательном бурении с использованием ВЗД изгиб отклоняющей секции заставляет вращаться долото с отклонением от своей оси, что становится причиной большего диаметра ствола. Стенки ствола скважины получают более шершавыми, что повышает скручивание и осевые нагрузки на бурильную колонну. В процессе углубления забоя скважины, при росте зенитного угла и увеличения отхода от устья, возникает проблема равномер-

ной подачи нагрузки на элементы КНБК и как следствие низкой эффективности направленного бурения. Наиболее пагубно это сказывается при бурении горизонтальных участков, зачастую являясь главной причиной несоблюдения плановой траектории ствола скважины, выход за границы продуктивной зоны, и недохождения до расчетного забоя секции.

Технологической особенностью использования объемного винтового забойного двигателя является увеличение дифференциального перепада давления при росте нагрузки на долото в процессе бурения. Исходя из опыта эксплуатации, в большинстве случаев, максимальный рабочий перепад ВЗД достигается при неполной допустимой нагрузке на породу - разрушающий инструмент. Кроме того, несоблюдение условий плавного касания забоя и последующего равномерного увеличения нагрузки на долото в процессе бурения, вызывает скачкообразный рост дифференциального перепада, что в свою очередь снижает ресурс ВЗД, компонентов телеметрических систем, а также наземного оборудования и буровых насосов.

Самопроизвольное искривление ствола скважины под действием геологических условий и параметров бурения.

Эти и прочие факторы могут привести к возникновению осложнений при бурении и заканчивании скважин, что значительно увеличивает временные, и как следствие, финансовые затраты нефтегазодобывающих компаний. Решением указанных проблем явилось создание автоматизированных систем управляемого роторного бурения. Их использование обеспечивает непрерывный контроль траектории скважины с постоянным вращением элементов компоновки низа бурильной колонны (КНБК), что значительно упрощает проводку скважин сложной траектории, в том числе с протяженным горизонтальным участком. Можно выделить факторы, которые указывают на преимущество РУС:

1. Сокращение времени бурения секции за счет отсутствия таких технологических операций как ожидание сигнала забойной телеметрической системы для определения направления отклонителя и ориентирование ВЗД.

2. Увеличение механической скорости проходки в режиме 100% роторного бурения по сравнению с направленным бурением при использовании ВЗД.

3. Увеличение скорости проходки и длины горизонтального участка за счет снижения сил трения между колонной и стенками скважины, равномерное доведение нагрузки на долото и отсутствие дифференциального перепада давления.

4. Улучшение очистки забоя. При использовании роторных управляемых систем не создается зауженных интервалов ствола скважины, что сказывается на качестве очистки ствола от выбуренной породы представлено в приложении А, на рисунке А.2.

Снижение риска возникновения дифференциального прихвата, поскольку нет неподвижных элементов КНБК, контактирующих со стенкой скважины или колонной.

Обеспечивается возможность применения при бурении скважин с высокими пластовыми температурами и давлениями. На практике, при строительстве скважины с горизонтальным окончанием для бурения вертикального участка используют традиционную роторную забойную компоновку. После достижения точки отклонения скважины от вертикали производится смена КНБК, в которую включают управляемый забойный двигатель. После достижения долотом целевого пласта, производится подъем и замена элементов с включением расширенного комплекса геофизического исследования скважины. Использование роторной управляемой системы, позволяет бурить вертикальные, искривленные и боковые участки скважины при помощи одной забойной компоновки, тем самым повышая эффективность бурения. Датчики, входящие в базовый состав системы, предоставляют обширный диапазон данных ГИС транслируемых в режиме реального времени, что позволяет использовать геонавигацию в бурении.

Резюмируя, можно утверждать, что технология бурения скважин с применением РУС имеет ряд преимуществ перед остальными существую-

щими технологиями направленного бурения. Так, при бурении с применением РУС, механическая скорость бурения возрастает в среднем в 2 раза, по сравнению с бурением винтовым забойным двигателем, что обеспечивает существенную экономию времени бурения, и как следствие снижение затрат компании.

Ценовой критерий является наиболее существенным препятствием широкому внедрению роторных управляемых систем. Если согласно геологическим данным основные осложнения связаны с неустойчивостью ствола скважины, что может привести к потере компоновки низа бурильной колонны, то более обоснованным станет выбор именно забойного двигателя.

Для преодоления этого препятствия необходимо провести анализ затрат и выгод от использования забойных двигателей. Важно учесть, что при правильном выборе и эксплуатации эти системы могут существенно повысить производительность бурения и снизить временные и финансовые затраты.

#### **1.4 Роторно – управляемые системы отечественного производства**

В настоящее время реализуется масштабная программа импортозамещения. Отечественная промышленность всеми силами стремится выйти на новый уровень. В 2015 году только два производителя - концерн «электроприбор» и АЭС "Буринтех" - преодолели этапы концептуальной разработки и проектирования и смогли приступить к внутренним испытаниям первого отечественного РУС. Такие компании, как Тюменская буровая компания, группа "Интегра" и некоторые другие, объявили о планах по разработке РУС, но работа все еще находится на стадии концептуальной разработки и проектирования.

Разработка концерна "Электроприбор" называется РУК-8.86. Эта система контролирует направление движения, нажимая на стенку пружины выдвижными башмаками, что приводит ее к типу систем, известных как

"нажимные патроны". В сентябре 2016 года на Венгауровском месторождении Газпром были проведены испытания GAR 8.86. Работоспособность системы была проверена в условиях бурения, с подробным исследованием производительности и возможности управления с поверхности.

Приведены следующие результаты из испытаний прибора:

- испытание перед спуском в скважину пройдено успешно;
- возможен доступ к запланированному режиму бурения;
- подтверждена способность установки изменять траекторию ствола скважины при непрерывном вращении всей буровой колонны;

Наряду с этим отмечается, что система также имеет ряд недостатков, таких как:

- не имеет телеметрического соединения;
- не передает данные на поверхность и не обеспечивает точного контроля траектории инструмента.

В то же время элемент внутреннего ручного управления был разрушен на глубине 216 метров.

Давайте подробнее рассмотрим развитие ООО "БУРИНТЕХ АЭС".

Примером которого является система управления поворотом РУС-ГМ-195.

Согласно новостной заметке об испытаниях поворотно-управляемой системы РУС-ГМ-195 в разделе новостей официального сайта компании, отечественная разработка прошла испытания к югу от Приобского месторождения «Газпром» в ХМАО-Югре. В период с сентября по ноябрь 2020 года эта система была протестирована на вышеупомянутом месторождении путем бурения наклонно-направленного участка бурения с горизонтальным концом, цели которого были полностью достигнуты, и система подтвердила свою надежность. Интервал бурения начинался с 1565 м и достигал 3482 м. Зенитный угол в конце интервала обстрела составлял 85,75 градуса. Результаты заключительных испытаний позволяют нам охарактеризовать РУС-ГМ-195, как первый отечественный РУС, пробуривший полностью заданный ин-

тервал между скважинами. Благодаря тому, что данная разработка более чем на 92% состоит из российских комплектующих.

На сайте компании размещено подробное описание РУС-ГМ-195, в котором сообщается о внедрении гидромеханической системы управления, которая позволила избежать использования сложных электроприборов и электроники. Другим важным условием, которое было учтено при создании этой системы, является то, что она может использоваться с широким спектром телеметрических систем и что она может вращать наклонные и горизонтальные скважины с диаметром долота от 220,7 до 222,3 мм.

### **1.5 Роторно - управляемые системы иностранных производителей**

Компания Entq Technologies разработала инновационную роторно-управляемую систему под названием The SABR Tool. Эта система управляет направлением ствола скважины путем регулирования внутреннего давления по принципу Бернулли. Такой подход обеспечивает более высокое качество ствола и предотвращает возможные проблемы, связанные с использованием стандартных плашечных систем типа "Push-the-bit" в мягких породах. Это технологическое решение можно отнести к новому методу управления РУС. Система оснащена датчиками для навигации в трехмерном пространстве, долотом и генератором.

В линейке продуктов американской компании Schlumberger имеются роторно-управляемые системы семейства PowerDriv, которые позволяют снизить вероятность возникновения затяжек, минимизировать риски прихвата. Например, модели PowerDriv Exceed, PowerDriv Xcel, PowerDriv ICE предлагают инновационные решения для повышения эффективности бурения в различных условиях.

Системы Exceed и Xcel отличаются принципом управления направлением ствола – "Point-the-bit", что повышает надежность за счет исключения

элементов, контактирующих со стенками скважины. Они автоматически корректируют азимутальный и зенитный углы для сохранения заданного направления ствола. РУС Xcel, например, оснащена датчиком для инерционного регулирования направления бурения даже при наличии магнитных помех.

Китай также активно развивает технологии наклонно - направленного бурения. Например, роторно - управляемая система Welleader RSS, разработанная компанией China Oilfield Services Limited, уже успешно применялась в 2021 году, где было достигнуто общее расстояние в 500 км. Среди преимуществ Welleader RSS стоит выделить наличие датчика зенитного отклонения, быструю передачу данных, увеличение производительности на 25% и возможность геонавигации в реальном времени для оптимизации траектории бурения.

## **2 Анализ и оценка РУС**

### **2.1 Сравнение эффективности роторно – управляемых систем в сравнении с аналогами**

С целью упрощения представления об имеющихся в мировом производстве роторно – управляемых систем в приложении Б приведена их краткая характеристика, которая включает все описанные выше и некоторые дополнительные РУС.

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

- механическая скорость проходки;
- реализация искривления в соответствии с проектом;
- качество ствола скважины;
- эффективная длина горизонтальной секции;
- безаварийность проходки;
- 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 58 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  $90^\circ$  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.

Другим немаловажным показателем является качество ствола скважины. Бурение управляемым двигателем характеризуется низким качеством

ствола, волнообразными неровностями и резкими изгибами, при этом они являются практически неустраняемыми недостатками метода. Это возникает во время так называемого "слайдирования". В данном режиме колонна бурильных труб не вращается, а вращается только долото. Основные сложности в этом случае вызваны недостатком вращения колонны труб. В процессе проходки бурильная колонна скользит по лежащей стенке скважины, промывочная жидкость движется вокруг нее неравномерно, что уменьшает выносящую способность раствора и способствует повышению риска прихвата колонны. Кроме того, повышается риск желобообразования и прихвата колонны. 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.

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

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. Стоимостный критерий является наиболее существенным препятствием широкому внедрению роторных управляемых систем. Так, если 62 РУС будет потеряна в скважине во время бурения, стоимость замены данного оборудования может превысить \$1 млн. А замена ВЗД обойдется примерно в \$200 тыс. Исходя из того, что роторно-управляемые системы преимущественно выбираются для бурения с продолжительными горизонтальными участками, наилучшим вариантом для рассмотрения являются роторно-управляемые системы для бурения под хвостовик. Роторно-управляемые системы таких компаний, как Baker Hughes и Halliburton не рассматриваются в данном анализе, так как у представленных моделей отсутствует разработка для бурения "под хвостовик", либо недостаточно данных для проведения анализа.

РУС превратились в незаменимый инструмент для современного бурения, позволяющий решать сложные задачи и достигать высоких показателей. Он уникален в своем роде, технически – сложное устройство, способное на выполнение абсолютно разных задач в современном бурении.

## **2.2 Финансовое сравнение выгоды использования РУС и ВЗД в эксплуатации**

Роторно – управляемые системы (РУС) являются перспективным инструментом для бурения наклонно-направленных и горизонтальных скважин большой длины. В то время как винтовые забойные двигатели (ВЗД) и поворотные контуры оптимально подходят для вертикальных участков, РУС позволяет повысить эффективность бурения горизонтальных стволов.

Давайте рассмотрим конкретный пример: скважина имеет глубину 5000 метров с горизонтальным концом 2000 метров. Использование ВЗД на горизонтальных участках снижает механическую скорость проходки и увеличивает износ бурового инструмента. Использование РУС в данном случае является более рациональным решением.

Преимущества РУС в этом контексте очевидны:

1. Повышенная скорость бурения: непрерывное вращение бурильной колонны приводит к снижению осевой нагрузки на долото, что увеличивает механическую скорость проходки в 1,5-2 раза.

2. Сокращение времени спуска и подъема: использование ДЭУ сокращает количество работ по спуску и подъему, которые занимают около 35% от общего времени строительства скважины. Это позволяет значительно сократить сроки строительства наклонно-горизонтальных скважин.

Можно выделить экономичную часть метода РУС:

При стоимости одного горизонтального бурения 150 млн. руб. Использование РУС сокращает затраты времени на 20 миллионов рублей. Это свидетельствует о значительном экономическом эффекте от использования РУС в проекте.

В целом, использование РУС при бурении горизонтальных скважин может дать следующие результаты:

1. Увеличить скорость потока и сократить время строительства скважины.
2. Уменьшить износ бурового инструмента.
3. Снизить затраты на бурение.

Для финансового расчета нам будут необходимы следующие значения:

- 1) продолжительность бурения с ВЗД (дни) –  $t_{\text{общ}}^0$ ;
- 2) продолжительность бурения с РУС (дни) –  $t_{\text{общ}}$ ;
- 3) время на спускоподъемные операции с ВЗД (дни) –  $t_{\text{спо}}^0$ ;
- 4) время на спускоподъемные операции с РУС (дни) –  $t_{\text{спо}}$ ;

- 5) время на бурение операции с ВЗД (дни) –  $t_{\text{бур}}^0$ ;
- 6) время на бурение операции с РУС (дни) –  $t_{\text{бур}}$ ;
- 7) скорость бурения с ВЗД (м/день) –  $V_0$ ;
- 8) скорость бурения с РУС (м/день) –  $V$ ;
- 9) Стоимость бурения скважины (млн. руб) –  $C=150=\text{const}$ .

Время на спускоподъемные операции с методом ВЗД вычисляется по формуле:

$$t_{\text{СПО}}^0 = \% * t_{\text{общ}}^0 \quad (1)$$

Найдем время на СПО с ВЗД, учитывая, что % затраченного времени с методом ВЗД = 35%, подставим данные в формулу (1):

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

Время на СПО с РУС высчитывается по формуле:

$$t_{\text{СПО}} = \% * t_{\text{общ}}^0 \quad (2)$$

Значит время на СПО с РУС, учитывая % меньше, чем у ВЗД, будет рассчитываться по формуле (2):

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

Время бурения при помощи РУС можно рассчитать по формуле:

$$t_{\text{бур}} = \frac{t_{\text{бур}}^0}{1,1} = \frac{t_{\text{СПО}}^0 - t_{\text{общ}}^0}{1,1} \quad (3)$$

Следовательно подставив данные в формулу (3):

$$t_{\text{бур}} = \frac{t_{\text{бур}}^0}{1,1} = \frac{t_{\text{спо}}^0 - t_{\text{общ}}^0}{1,1} = \frac{35 - 12,25}{1,1} = 20,68 \text{ дней}$$

Общее время двух методов вычисляется по формуле суммы:

$$t_{\text{общ}} = t_{\text{спо}} + t_{\text{бур}} \quad (4)$$

Таким образом, общее время бурения с РУС составит:

$$t_{\text{общ}} = t_{\text{спо}} + t_{\text{бур}} = 10,5 + 20,68 = 31,18 \approx 31 \text{ день}$$

Экономия времени можно посчитать как изменение (дельта) по формуле:

$$\Delta t = t_{\text{общ}} - t_{\text{общ}}^0 \quad (5)$$

Экономия времени составляет, по формуле (5):

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

Экономия в сумме денег можно рассчитать по формуле:

$$C_{1д} = \frac{N}{t_{\text{общ}}^0} \quad (6)$$

Зная, что N сокращение затрат при использовании метода РУС, воспользуемся формулой (6):

$$C_{1д} = \frac{20000000}{35} = 571400 \text{ руб.}$$

Общая экономия при сокращении буровых работ на 4 рассчитывается по формуле:

$$\Delta C = 4 * C_{1д} \quad (7)$$

Вычислим формулу (7):

$$\Delta C = 4 * 571400 = 2285600 \text{ руб.}$$

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

Стоит отметить, что расчет выполняется для одной буровой установки. Персонал такой буровой установки пробуривает в среднем 10 скважин в год. Срок службы вращающегося насоса составляет примерно 12 000 м, поэтому при бурении скважин на глубину до 5000 м необходимо заменить долото и соответствующие материалы, в то время как насос UNBT 1080L имеет гораздо более длительный срок службы и постоянную стоимость.

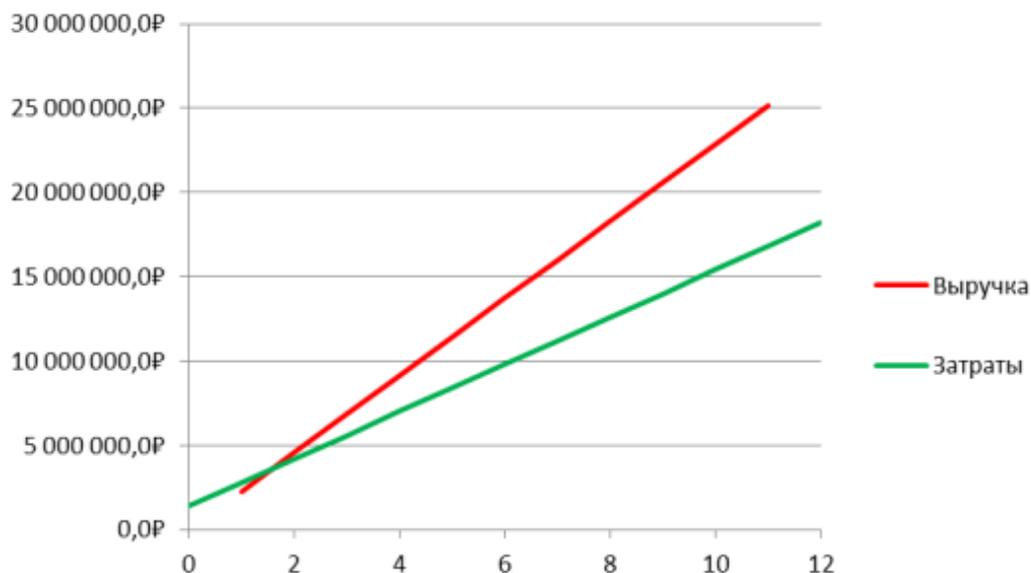


Рисунок 2 – График окупаемости РУС

Из графика следует, что срок окупаемости составляет два месяца. Оценка эффективности инженерных решений Анализ экономических резуль-

татов проекта основан на 77 годовых показателях, рассчитанных по годам жизненного цикла проекта. ЧДД - в международной терминологии NPV - или интегральный эффект.

ЧДД рассчитывается по формуле:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (R_t - St) \frac{1}{(1+n)^t} \quad (8)$$

где

$R_t$  – результаты, достигнутые на  $t$ -шаге расчета;

$Pr$  – чистая прибыль;

$A$  – амортизационные отчисления;

$St$  – 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  $St$  исключают капиталовложения и обозначают  $K_t$  – капиталовложения в год  $t$ .

Сумма дисконтированных капиталовложений вычисляется как:

$$K = \sum_{t=0}^T K_t (1 + n)^{-t} \quad (9)$$

Где  $t$  – год вложения средств.

Тогда используя разницу формул (8) и (9) получим формулу имеющую все данные необходимые для расчета ЧДД:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T \frac{Pr_t + A_t}{(1+n)^t} - \sum_{t=0}^T K_t (1 + n)^{-t} \quad (10)$$

Если ЧДД > 0, то проект является эффективным (при данной норме дисконта). Чем больше ЧДД, тем проект эффективнее. Капиталовложения в первый год были определены при калькуляции себестоимости и составляют:

Подставим данные в формулу (10) и вычислим:

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

ЧДД > 0, следовательно, проект является эффективным.

Успех любого проекта, особенно в области бурения, зависит от четкого понимания и грамотного управления рисками. В этом разделе мы рассмотрим потенциальные риски проекта с ротационными системами (РУС) и разработаем стратегии для их минимизации.

Проектный риск – это комплексная величина, объединяющая все индивидуальные риски, связанные с реализацией инвестиционного проекта. Для оценки риска используются как количественные, так и качественные методы.

Количественная оценка включает анализ числовых показателей проекта, таких как чистая удешевленная стоимость (ЧДД), внутренняя норма прибыли (ВНД) и срок окупаемости. Изменения в этих показателях отражают риск.

Качественная оценка основана на описании неопределенностей, присущих проекту, факторов, их вызывающих, и, как следствие, на выявлении рисков проекта. Результатом является список рисков, с которыми сталкивается проект. Кроме того, риски ранжируются в соответствии с важностью и масштабом вероятных потерь.

Управление рисками осуществляется двумя способами:

1. Избегать возможных рисков: в этом случае принимаются меры, чтобы избежать рискованных ситуаций.

2. Снижение риска: этот подход направлен на уменьшение негативного воздействия рискованных событий.

Невозможно полностью устранить риски, но руководитель проекта может уменьшить их влияние, уменьшив влияние негативных условий.

В этом разделе мы составим список основных рисков для проекта RUS и разработаем меры по их минимизации.

Завершение раздела:

Результаты этого раздела подтверждают целесообразность использования вращающихся управляемых систем в области бурения. SWOT - анализ показал, что РУС имеют ряд преимуществ перед двигателями с винтовым блоком (ВЗД). Эффективность проекта подтверждается положительным результатом ЧДД, а двухмесячный срок окупаемости свидетельствует о высокой степени эффективности при значительных затратах.

Анализ технических решений конкурентов показал, что метод бурения с использованием РУС мало полезен из-за специфики применения. Однако в настоящее время активно ведутся поиски альтернативных буровых решений, и использование РУС является перспективным направлением. Благодаря хорошему прогрессу компании могут конкурировать с используемыми в настоящее время технологиями бурения.

### **3 Разработка рекомендаций по улучшению инновационных методов РУС при бурении наклонно – направленных скважин в России**

В целом, отечественный РУС плохо развит, уступает иностранным аналогам, из – за невозможности производить комплектующее для сборки РУС на территории России, поэтому российские разработки почти полностью состоят из импортных запчастей и комплектующих, что делает РУС очень дорогим и сложным для популяризации в быту нефтегазовой промышленности.

На основе анализа всей теоретической части и анализа различных систем наклонно – направленного разных стран и видов, можно вывести рекомендации по улучшению использования роторно – управляемых систем отечественного производства:

#### **1. Нехватка специалистов для использования РУС.**

Это одна из главных проблем роторно – управляемых систем. Инновационная технология РУС – молода, поэтому и обучение по работе с ней не разработано правильно, либо его вообще нету. Подготовка кадров поможет популяризовать использование РУС при бурении в различных компаниях. Для этого необходимо, повышение квалификации уже существующих специалистов путем, внедрения их в работу метода РУС. Подготовка кадров в ВУЗах основа, которая должна быть стойкой для дальнейшего развития нефтегазовой промышленности. Необходимо внедрение современных материалов в образование, где студенты будут знакомиться с роторно – управляемыми системами не в дополнении, а в основе и будут готовы к работе с ними.

#### **2. Внедрении искусственного интеллекта в работу РУС.**

Зарубежные компании активно внедряют передовые технологические решения, направленные на совершенствование процесса наклонного бурения. Они сосредоточены на разработке интеллектуальных систем, которые могут автоматизировать рабочие процессы и управлять ими. Машинное обучение и искусственный интеллект играют ключевую роль в этих усовершенствованиях, но для эффективной работы требуется большой объем надежных данных.

Интеллектуальная вращающаяся система управления iCruise от Halliburton (iCruise Intelligent RSS) - это интеллектуальная вращающаяся система управления, использующая сложные электронные компоненты, высокоточные датчики и передовые технологии для сбора и обработки информации в режиме реального времени.

Интеллектуальная RSS-система iCruise работает по принципу "Push-the-bit" и использует передовые датчики, которые взаимодействуют с высокоскоростными вычислительными модулями для постоянного контроля параметров бурения и состояния системы. Это позволяет нам учитывать большой объем данных для дальнейшей интерпретации в модулях прогнозирования поведения системы и состояния скважины. Это взаимодействие обеспечивает высококачественную поддержку процесса бурения за счет интеллектуальной автоматизации.

Введение искусственного интеллекта в работу отечественного РУС сложный процесс, т.к. он до конца не освоен даже зарубежными аналогами. Но разработка ИИ в работу даст решение серьезной проблемы отечественного РУС: полное или хотя бы частичная автоматизация процесса бурения методом РУС, поскольку метод роторно – управляемых систем предполагает активную и сложную подготовку кадров. Только отличительные и специализированные специалисты способны работать с РУС, но на данный момент возможности готовить специалистов нету, т.к. РУС менее популярен чем другие методы наклонно – направленного бурения. Следовательно, внедрение и разработка ИИ в работу РУС поможет заменить значительную часть работы инженеров, что частично уберет проблему с нехваткой специалистов, и повлияет на экономическую часть, сокращение персонала – сокращение суммы денежных затрат на бурение методом РУС.

Проблемы:

- дорогая стоимость использования метода роторно – управляемых систем;
- нехватка специалистов для введения работы РУС.

Решение:

– внедрение ИИ в работу РУС.

Итог:

– снижение стоимости работы и полного процесса бурения за счет сокращения количества персонала;

– замена специалистов ИИ.

### 3. Совместная работа РУС и ВЗД.

В настоящее время исследования по повышению эффективности использования роторных - управляемых систем позволяют выделить перспективные направления разработок в области РУС: оптимизация и удешевление конструкции управляемых систем, использование комбинированных компонентов, которые позволяют максимально использовать преимущества роторных управляемых систем и модульных винтовых забойных двигателей, работающих совместно. Благодаря совместной работе РУС и ВЗД можно выделить несколько преимуществ:

– увеличение производительности: комбинированное применение РУС и ВЗД позволяет увеличить скорость бурения за счет эффективного сочетания вращательного и ударного воздействия на дно скважины;

– улучшенное пробуривание твердых пород: комбинация этих двух методов позволяет более эффективно пробуривать твердые горные породы, так как удары помогают разрушать породу, а вращение помогает эффективно удалить обломки;

– снижение износа оборудования: использование РУС и ВЗД в комбинации может снизить износ оборудования, так как они распределяют нагрузку на различные части буровой системы;

– увеличение стабильности процесса бурения: сочетание РУС и ВЗД обеспечивает более стабильное и предсказуемое бурение, что способствует повышению эффективности работы и снижению вероятности аварийных ситуаций;

– расширение диапазона применения: комбинированное использование РУС и ВЗД позволяет работать с различными типами горных пород, что делает этот метод универсальным для различных условий бурения.

Проблемы:

- стоимость использования РУС;
- вопрос о улучшении эффективности РУС и ВЗД.

Решение:

– совместная работа двух методов одновременно (РУС и ВЗД) при бурении.

Итог:

– повышение эффективности за счет взаимной компоновки преимуществ двух методов;

– удешевление процесса бурения. Ведь, помимо РУС участвует и ВЗД, что способствует меньшему износу оборудования, более эффективная работа повышает КПД, что сокращает затраты и повышает качество результата.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной курсовой работы было проведено исследование роторно-управляемых систем при наклонно-направленном бурении, что позволило получить глубокое понимание принципов и особенностей функционирования данного типа оборудования.

Были рассмотрены основные компоненты и принципы работы роторно-ударных систем, а также основные преимущества и ограничения их применения при наклонно-направленном бурении.

В результате исследования были выявлены ключевые факторы, влияющие на эффективность работы роторно-ударных систем в условиях наклонно-направленного бурения. Были рассмотрены возможные пути улучшения данного типа систем, включая технические усовершенствования, оптимизацию процесса бурения и обучение персонала.

Также был проведен анализ экономической эффективности использования роторно-ударных систем при наклонно-направленном бурении, что позволило выявить потенциальные выгоды и затраты, связанные с их применением.

В целом, данная курсовая работа представляет собой комплексное исследование, охватывающее технические, экономические и инновационные аспекты функционирования роторно-ударных систем при наклонно-направленном бурении.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Брусакова, И. А. Теоретическая инноватика: учебник и практикум для вузов / И. А. Брусакова [и др.]. – Москва: Юрайт, 2024. – 333 с. – (Высшее образование). – URL: <https://urait.ru/bcode/539707> (дата обращения: 05.06.2024). – ISBN 978-5-534-04909-1.
2. Мальцева, С. В. Инновационный менеджмент: учебник для вузов / С. В. Мальцева. – Москва: Юрайт, 2024. – 517 с. – (Высшее образование). – URL: <https://urait.ru/bcode/535842> (дата обращения: 25.05.2024). – ISBN 978-5-534-17988-0.
3. Литвиненко В.С. Основы бурения нефтяных и газовых скважин. Учебное пособие / В.С. Литвиненко, А.Г. Калинин. М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2009. 541с. Российская государственная библиотека – URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01004364778> (Дата обращения 05.05.2024). – ISBN 5-230-19596-7
4. Справочник по креплению нефтяных и газовых скважин. Ч.1. / Юртаев С. Л., - Турицына М. В., Леушева Е. Л. и др. Нижневартовск: Изд-во НВГУ, 2014, 243с. Геологическая библиотека GEOKNIGA – URL: [https://www.geokniga.org/books?field\\_title](https://www.geokniga.org/books?field_title) (Дата обращения 04.05.2024). – ISBN: 978-5-91559-071-6
5. Ю. В. Осипов, Д. С. Ахметов, Р.В. Еникеев, Д. Ф. Бадретдинов., Применение роторных управляемых систем для бурения / научная статья CYBERLINIKA, 3с. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-rotornyh-upravlyaemyh-sistem-dlya-bureniya/viewer> (Дата обращения: 09.04.2024). ISBN: 434-2-456-75634
6. Закиров А. Я., Первые результаты испытаний роторно-управляемых систем российского производства. Научная статья / библиотека eLibrary. – URL: [https://www.elibrary.ru/ip\\_restricted.asp?rpage](https://www.elibrary.ru/ip_restricted.asp?rpage) (Дата обращения: 18.04.2024). ISBN: 323-562-36677-3
7. 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. Геологическая библиотека GEOKNIGA – URL: <https://www.geokniga.org/books/28020> (Дата обращения: 24.04.2024). ISBN: 978-5-902665-50-2

8. Калинин, Б. А. Никитин, К. М. Солодкий, А .С. Повалихин. Профили направленных скважин и компоновки низа бурительных колонн – М.: Недра, 1995-305с. Геологическая библиотека GEOKNIGA – URL: <https://www.geokniga.org/books/33452> (Дата обращения: 04.05.2024). ISBN: 5-247-03692-1

9. Акбулатов Т. О.. Роторные управляемые системы: учебное пособие / Т. О. Акбулатов, Р. А. , Хасанов, Л. М. Левинсон – Уфа: УГНТУ, 2006., 88с. Геологическая библиотека GEOKNIGA – URL: <https://www.geokniga.org/authors/32522> (Дата обращения: 25.04.2024). ISBN: 5-7831-0318-7

10. Кейн С. А., Современные технические средства управления траекторией наклонно направленных скважин: учебное пособие / С.А. Кейн – Ухта : УГТУ, 2014., 82с. Геологическая библиотека GROKNIGA – URL: <https://www.geokniga.org/authors/43574> (Дата обращения: 01.05.2024). ISBN: 5-88179-382-X

11. Нескоромных, В. В. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин: рукопись / В. В. Нескоромных. – Красноярск., 647с. Геологическая библиотека GEOKNIGA – URL: <https://www.geokniga.org/books/28020> (Дата обращения: 06.05.2024). ISBN: 978-5-902665-50-2

12. Попов А.Н., Спивак А.И., Акбулатов Т.О. Технология бурения нефтяных и газовых скважин. – М.: ООО «Недра – Бизнесцентр», 2003. – 509 с. Геологическая библиотека GEOKNIGA – URL: <https://www.geokniga.org/books/9337> (Дата обращения: 06.05.2024). ISBN: 5-8365-0128-9

13. Чекменёв Е., Ильин А. П. РУС (роторно-управляемая система) // Научные высказывания. Журнал 2023. №20 (44). С. 30-33. URL: [https://nvjournal.ru/article/RUS\\_rotorno-upravljajemaja\\_sistema](https://nvjournal.ru/article/RUS_rotorno-upravljajemaja_sistema)

14. Научно – производственное предприятие «Буринтех»: официальный сайт. – УФА. – URL: <https://burintekh.ru> (Дата обращения: 08.05.2024).

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Буровые скважины при бурении с помощью РУС и ВЗД

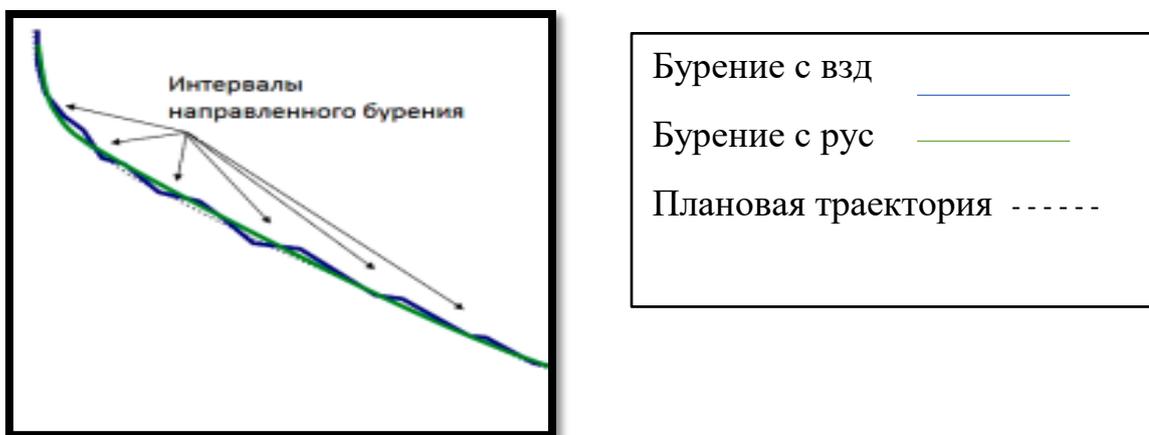


Рисунок А.1 – сравнительный график плановой и фактической траектории движения ствола скважины

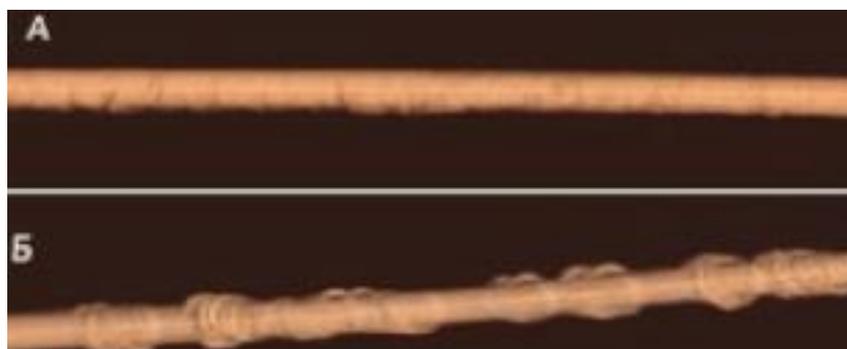


Рисунок А.2 – теплопортреты профилей стволов скважин после применения РУС (а) и ВЗД (б)

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Роторно – управляемые системы и их особенности

Наименование роторно-управляемой системы	Компания-разработчик	Тип управления	Наличие высокоточных датчика определения пространственного положения	Возможность автоматического регулирования направления бурения	Особенности
1	2	3	4	5	6
PVC-PM-195	ООО НПП «БУРИНТЕХ»	Push-the-bit	Нет	Нет	Гидромеханический принцип управления
iCruise Intelligent RSS	Halliburton	Push the bit	Да	Да	Использование интеллектуальных систем
iCruise XTM Intelligent RSS		Push-the-bit	Да	Да	Автоматизирована для бурения протяженных скважин в сложных условиях
Geo-pilot® RSS		Point-the-bit	Да	Да	Отличная управляемость
The SABER Tool	Enteq Technologies	Steer-at-bit	Да	Да	Использование принципа Барнупли для управления пространственным направлением
PowerDrive Exceed	Schlumberger	Point-the-bit	Да	Да	Высокая точность управления в труднобуримых условиях
PowerDrive Xcel		Point-the-bit	Да	Да	Инерционное управление пространственным направлениям
PowerDrive Orbit		Push-the-bit	Да	Да	Возможность работы на скорости в 350 об/мин
PowerDrive Orbit G2		Push-the-bit	Да	Да	Улучшенные показатели прочности, управляемости и надежности
PowerDrive Ice		Push-the-bit	Да	Да	Работоспособность при температурных условиях в 200 °С
PowerDrive vortex Max		Push-the-bit	Да	Да	Полностью вращающееся устройство
PowerDrive Archer		Hybrid	Да	Да	Высокая степень управляемости пространственным искривлением ствола
PowerDrive PowerV		Push-the-bit	Да	Да	Система для управляемого вертикального бурения
Revolution® RSS	Weatherford	Point-the-bit	Да	Да	Укомплектованность разными высокоточными датчиками
Magnus RSS		Push-the-bit	Да	Да	Прочная и высокоэффективная система
Welleader	China Oilfield Services Limited	Push-the-bit	Да	Да	Размер зоны неопределенности 1,1 – 1,3 м
Sure-Steer RSSTM	APS Technology	Push-the-bit	Да	Да	Легко программируется для использования под любые условия
VectorZIEL	NOV	Push-the-bit	Да	Да	Обеспечивает гладкий ствол скважины
AutoTrack Curve Pro	Baker Hughes	Push-the-bit	Да	Да	Возможность бурения скважин с кривизной до 15 °/30 м
WellGuide RSSTM	Gyrodatta	Point-the-bit	Да	Да	Максимальная кривизна скважины до 12,5 °/30 м
Zenith™	NewTech Services	Push-the-bit	Да	–	Совместимость с многочисленными вариациями КНБК, в том числе и с ВЗД

1). «Point the bit» - реализующая эффект позиционирования долота, что достигается за счет смещения приводного вала относительно компоновки.

2). «Push the bit» - реализующая эффект толкания долота, что вызывает давление на боковую поверхность долота в определенном направлении.