

О Т З Ы В

официального оппонента, кандидата технических наук Лягова Ильи Александровича на диссертацию Кутузова Павла Андреевича на тему: «Разработка технологии мониторинга напряженно-деформированного состояния бурильной колонны при углублении наклонно направленных скважин», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.2. Технология бурения и освоения скважин.

1. Актуальность темы диссертации

В процессе строительства наклонно-направленных скважин бурильная колонна (БК) воспринимает знакопеременные нагрузки из-за сложных проектных профилей скважины, высоких сил трения, горно-геологических условий, высоких динамических нагрузок из-за увеличения протяженности стволов и их интенсивности искривления, что приводит к потере устойчивости БК и, как следствие, преждевременному усталостному износу инструмента, снижению механической скорости бурения а, в ряде случаев, к авариям.

При взаимодействии бурильной колонны со стенками скважины возникает дополнительное действие сил и вибраций, приводящее к повышенному напряженно-деформированному состоянию (НДС) и, как следствие, потере устойчивости и усталостному износу колонны. Колебания и различные формы потери устойчивости сопровождаются дополнительными затратами энергии и оказывают негативное влияние на эффективность процесса углубления скважины, что обуславливает необходимость их контроля в процессе бурения. При этом существующие средства контроля параметров бурения основаны преимущественно на ограниченном наборе устьевых или локальных забойных измерений и не обеспечивают полной информации о текущем напряженно-деформированном состоянии бурильной колонны по всей длине скважины.

Таким образом, разработка технологии мониторинга напряженно-деформированного состояния бурильной колонны при углублении наклонно-направленных скважин является актуальной научно-технической задачей, направленной на повышение эффективности управления процессом бурения и снижение риска возникновения осложнений и аварий.

2. Научная новизна диссертации

Научная новизна диссертационной работы состоит в установлении закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния бурильной колонны при бурении наклонно-направленных скважин в динамических условиях и разработке решений, направленных на повышение информативности контроля её пространственной формы в процессе углубления скважины.

В диссертации уточнен принцип работы динамически активной части БК, позволяющий с поинтервальным контролем сил трения и учетом наличия замковых соединений определять критическое НДС и пространственную форму колонны.

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность выявления и локализации участков потери устойчивости бурильной колонны на основе

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-252 от 29.06.26
АУ УС

анализа скорости её деформации, что позволяет расширить возможности систем мониторинга НДС внутрискважинного инструмента.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Научные положения, выводы и рекомендации диссертационной работы характеризуются достаточной степенью обоснованности и достоверности. Достоверность достигнута за счёт сочетания апробированных методов теоретического анализа, математического и численного моделирования методом конечных элементов в программе Abaqus, физического эксперимента на лабораторной установке с соблюдением критериев подобия, а также применения современного измерительного оборудования.

Численные исследования влияния колебаний на устойчивость бурильной колонны выполнены в широком диапазоне частот и амплитуд переменного воздействия. Проведённые физические эксперименты на лабораторной установке дополняют результаты моделирования и подтверждают наличие выявленных закономерностей поведения бурильной колонны в закритическом состоянии. По результатам численных и экспериментальных исследований определены критерии для идентификации критического состояния бурильной колонны. Работоспособность предложенных критериев подтверждена анализом промысловых данных с использованием разработанной модели напряженно-деформированного состояния, включающей алгоритм обработки инклинометрии для имитации работы жесткого инструмента.

Результаты исследования прошли апробацию на международных и всероссийских конференциях, а также публикациями в рецензируемых изданиях (включая Scopus).

4. Научные результаты, их ценность

К числу наиболее значимых научных результатов, полученных соискателем, следует отнести:

1. Теоретическое и экспериментальное обоснование возможности использования оптоволоконной телесистемы в качестве распределенных датчиков для систем мониторинга НДС БК. Выполнены расчеты ограничений технологии бурения с точки зрения прочности оптоволоконного кабеля, гидравлических потерь, затухания сигнала и представлена потенциальная герметичность оптических коннекторов в среде циркулирующего бурового раствора, что позволило предложить схемы реализации для систем мониторинга напряженно-деформированного состояния бурильной колонны, основанных на прямых измерениях.

2. Установление механизмов влияния динамических нагрузок на потерю устойчивости бурильной колонны. На основе разработанных методик численных и лабораторных экспериментов выявлено, что колебания нивелируют силы трения о стенки скважины, увеличивая скорость осевой деформации в критических областях. Доказано, что колебания могут оказывать стабилизирующий и дестабилизирующие эффекты в зависимости от ориентации колебательного движения и его амплитудно-частотной характеристики. Обнаружен и описан эффект гашения высокоамплитудных поперечных

колебаний при переходе колонны из синусоидальной формы потери устойчивости в спиральную.

3. Разработка способа идентификации и локализации продольного изгиба бурильной колонны без применения забойных датчиков. Обоснована возможность контроля пространственной формы внутрискважинного инструмента путем отслеживания осевой деформации на основе косвенных устьевых измерений, таких как скорость движения талевого блока и вес на крюке.

4. Систематизация подходов к внутрискважинному мониторингу. Предложена классификация систем мониторинга по четырем типам в зависимости от полноты и достоверности получаемой информации, что позволяет дифференцированно подходить к выбору технико-технологических решений.

Ценность полученных результатов заключается в создании научно-методической базы для перехода от косвенных методов оценки напряженно-деформированного состояния бурильной колонны к технологиям прямого мониторинга ее пространственного положения в процессе бурения наклонно-направленных скважин в условиях геолого-технологической неопределенности.

Результаты диссертации в достаточной степени освещены в 5 печатных работах, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент на изобретение.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая значимость исследования состоит в усовершенствовании аналитической модели гибридной колонны, учитывающая псевдо-жесткое поведение инструмента и влияние колебаний разной частоты и амплитуды на потерю устойчивости БК.

Предложен и обоснован метод геометрической обработки инклинометрии для имитации поведения жесткой колонны на извилистых участках.

Практическая значимость работы заключается в разработке решений и рекомендаций, применимых в отрасли. Автором разработаны схемы реализации систем мониторинга в зависимости от расположения датчиков, полноты и достоверности данных о скважинных условиях и технологических параметрах бурения. Предложен алгоритм идентификации и локализации потери устойчивости бурильной колонны, который может быть использован в системах мониторинга, основанных на аналитических моделях. Кроме того, разработаны методические рекомендации по обеспечению сохранения устойчивого состояния деформированного инструмента, направленные на предупреждение повышенного механического и усталостного износа, а также на обеспечение энергоэффективности бурения.

Результаты диссертационной работы внедрены в производственную деятельность ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», что подтверждает их практическую ценность и готовность к применению в нефтегазовой отрасли.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы для внедрения в существующие системы наземного контроля технологических параметров и автоматизированные системы управления буровых установок для оперативной корректировки режимов бурения в научно-исследовательской и производственной деятельности отраслевых научно-исследовательских институтов, сервисных и буровых компаний, осуществляющих строительство наклонно-направленных скважин и скважин с горизонтальным окончанием.

Применение разработанных методик на этапах проектирования и строительства наклонно-направленных скважин обеспечит контроль пространственной формы бурильной колонны, что способствует повышению энергоэффективности бурения и предупреждению повышенного износа внутрискважинного инструмента. В частности, научно-методическая база исследования может быть внедрена в производственные процессы ООО «Пефробур» для диагностики состояния инструмента при радиальном бурении каналов малого диаметра, при проектировании режимов бурения и при работе с гидронагружателями и осцилляторами.

7. Замечания и вопросы по работе

Автору предлагается в будущем рассмотреть вопрос устойчивости системы «бурильная труба – кабель» при действии инерционной силы, возникающей на участках кривизны скважины от текущей внутри искривленных труб буровой жидкости. Инерционная сила действует как на трубы, так и на кабель, а ее интенсивность, т. е. сила, отнесенная к единице дуги, зависит от радиуса кривизны, геометрических размеров трубы и кабеля, расположенного в ней, скорости течения жидкости причем в квадрате и ее плотности. Так, например, специалисты УГНТУ, столкнулись с потерей устойчивости геофизического кабеля, размещенного внутри ГНКТ при разработке первого Российско-Белорусского бурового колтюбингового комплекса М 4001.

В главе 3.2 на стр. 110-111 даны рекомендации для конкретной комбинации «БТ 89 мм – ствол скважины 152,4 мм и коэффициент трения $\mu=0,3$ (средний коэффициент для пары контакта сталь-горная порода в среде бурового раствора)». В работе следовало бы более четко указать, что эти значения справедливы для данной геометрии и требуется «уточнение» при переносе полученных закономерностей на другие типоразмеры.

Приведенные замечания не умаляют достоинств диссертационной работы, ее теоретической и прикладной значимости.

8. Заключение по диссертации

Диссертация «Разработка технологии мониторинга напряженно-деформированного состояния бурильной колонны при углублении наклонно направленных скважин»,

представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.2. Технология бурения и освоения скважин, полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор **Кутузов Павел Андреевич** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.2. Технология бурения и освоения скважин.

Официальный оппонент
Генеральный директор,
кандидат технических наук



Лягов Илья Александрович

Подпись Лягова Ильи Александровича заверяю



Решетникова Ирина Анатольевна



Сведения об официальном оппоненте:

Общество с ограниченной ответственностью «Перфобур»

Почтовый адрес: 450522, Республика Башкортостан, Уфимский р-н, с. Zubovo, ул. Центральная, 184/2

Официальный сайт в сети Интернет: <https://perfobur.com/>

эл. почта: ilyagov@perfobur.com

телефон: +7 (499) 649-39-00

16 июня 2026 г.