

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БУРЕНИЯ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Нобатгелдиев Максат Мырадович

Преподаватель Балканабадского филиала Международного университета нефти
и газа имени Ягшыгелди Какаева
г. Балканабад Туркменистан

Давутгелдиева Гызларгуль Давутгелди гызы

Преподаватель Балканабадского филиала Международного университета нефти
и газа имени Ягшыгелди Какаева
г. Балканабад Туркменистан

Аннотация

В данной статье рассматриваются актуальные задачи оптимизации процесса бурения наклонно-направленных скважин, осложненного наличием неустойчивых горных пород и высокими требованиями к точности проводки ствола. Автор проводит анализ существующих методов управления траекторией скважины, выявляя недостатки традиционных подходов, базирующихся на эмпирических зависимостях. Работа посвящена исследованию эффективности применения роторных управляемых систем (РУС) последнего поколения в сочетании с алгоритмами автоматизированного управления процессом бурения. В статье аргументированно доказывается, что интеграция геомеханических моделей в реальном времени с данными телеметрии позволяет существенно снизить риск возникновения аварийных ситуаций, таких как прихваты бурового инструмента и обвалы ствола скважины. Автор предлагает оригинальный метод прогнозирования показателей механической скорости бурения на основе интеллектуального анализа накопленных данных, что способствует сокращению непроизводительного времени. Результаты исследования базируются на сопоставлении теоретических моделей с результатами промысловых испытаний на реальных месторождениях, демонстрируя возможность повышения темпов проходки на восемнадцать-двадцать процентов. Работа вносит существенный вклад в развитие теории бурения сложных скважин и предлагает комплексный подход к цифровизации нефтепромыслового сервиса, обеспечивающий повышение экономической эффективности добычи углеводородов.

Ключевые слова: бурение скважин, наклонно-направленное бурение, роторные управляемые системы, геомеханика, телеметрия, механическая скорость бурения, непроизводительное время, управление траекторией, цифровые двойники, нефтегазовая промышленность.

MODERN METHODS AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF OIL FIELD DRILLING

Nobatgeldiyev Maksat Myradovich

*Lecturer at the Balkanabat Branch of the International University of Oil and Gas
named after Yagshygeldi Kakayev
Balkanabat, Turkmenistan*

Davutgeldiyeva Gyzlargul Davutgeldi gyzy

*Lecturer at the Balkanabat Branch of the International University of Oil and Gas
named after Yagshygeldi Kakayev
Balkanabat, Turkmenistan*

Abstract

This article addresses the pressing tasks of optimizing the drilling process of directional wells, complicated by the presence of unstable rock formations and strict requirements for trajectory accuracy. The author analyzes existing well path control methods, identifying the drawbacks of traditional approaches based on empirical dependencies. The work focuses on studying the effectiveness of using the latest generation of rotary steerable systems (RSS) combined with automated drilling process control algorithms. The article substantiates that integrating real-time geomechanical models with telemetry data significantly reduces the risk of emergency situations, such as drill string sticking and wellbore collapse. The author proposes an original method for predicting the mechanical drilling rate based on intelligent analysis of accumulated data, which helps reduce non-productive time. The research results are based on comparing theoretical models with the results of field tests on real oil fields, demonstrating the possibility of increasing drilling progress rates by 18–20%. The work makes a significant contribution to the development of complex well drilling theory and proposes an integrated approach to the digitalization of oilfield services, ensuring increased economic efficiency of hydrocarbon production.

Keywords: well drilling, directional drilling, rotary steerable systems, geomechanics, telemetry, mechanical drilling rate, non-productive time, trajectory control, digital twins, oil and gas industry.

Введение

Современная нефтегазовая отрасль стремится к освоению труднодоступных запасов углеводородов, что требует реализации все более сложных проектов в области строительства скважин. Наклонно-направленное бурение стало стандартной практикой, однако работа в сложных геологических условиях — таких как перемежающиеся пропластки твердых и мягких пород, наличие зон с аномально высоким или низким пластовым давлением — по-прежнему представляет собой серьезный вызов. Традиционный подход, ориентированный на использование «интуитивного» опыта бурильщика и консервативных графиков, сегодня уже не отвечает требованиям эффективности и безопасности.

Актуальность нашего исследования продиктована необходимостью перехода к предиктивному управлению процессом бурения, где на смену реактивным методам (устранение последствий аварий) приходят проактивные решения. Мы ставим цель доказать, что внедрение систем интеллектуального управления траекторией скважины, опирающихся на глубокую геомеханическую аналитику, позволяет не только достичь проектных целевых показателей, но и значительно снизить капитальные затраты. Мы исследуем механизмы передачи данных через забойные системы телеметрии, вопросы вибрационной нагрузки на инструмент и методы стабилизации ствола скважины в различных литологических типах пород. Наше исследование направлено на формирование доказательной базы для внедрения цифровых систем поддержки принятия решений, которые делают процесс бурения более предсказуемым и безопасным, минимизируя человеческий фактор и максимизируя производительность.

Материалы и методы исследования

Методологическая база работы охватывает методы механики горных пород, теории автоматического управления, статистического анализа и численного моделирования. Автором был проведен глубокий анализ промысловых данных по бурению более чем сорока наклонно-направленных скважин в различных регионах нефтедобычи. Использовались современные методы конечно-элементного моделирования для оценки напряженного состояния системы «бурильная колонна — ствол скважины», что позволило определить причины возникновения вибраций и методы их гашения.

В качестве основного аналитического метода было выбрано имитационное моделирование процесса бурения с учетом изменения параметров механической скорости в зависимости от нагрузки на долото, частоты вращения и гидравлической мощности промывки. Для формирования интеллектуальных моделей прогнозирования аварийных ситуаций применялись методы машинного обучения, основанные на алгоритмах регрессионного анализа и случайного леса. Статистическая обработка данных позволила выявить корреляцию между параметрами бурового раствора (плотностью, вязкостью) и устойчивостью стенок скважины. Отдельно был проведен численный эксперимент по оптимизации траектории скважины с учетом геомеханических ограничений (минимизация риска желобообразования). Верификация полученных моделей осуществлялась путем сравнения прогнозируемых показателей скорости проходки с фактическими данными, полученными при бурении контрольных скважин, что обеспечило высокую достоверность и практическую значимость выводов.

Результаты исследования

Результаты проведенного нами исследования показывают, что внедрение роторных управляемых систем в сочетании с оптимизированными режимами бурения позволяет увеличить среднюю механическую скорость проходки на девятнадцать процентов. Мы выявили, что наиболее критическим фактором,

ограничивающим скорость, являются высокочастотные осевые и поперечные вибрации бурильной колонны, которые приводят к преждевременному износу долот и забойных двигателей.

Одним из ключевых результатов стала разработка программного алгоритма, который в режиме реального времени корректирует нагрузку на долото и частоту вращения при фиксации отклонений от проектной траектории. Мы доказали, что применение геомеханических моделей скважины, обновляемых «на лету» по данным каротажа во время бурения (LWD), позволяет снизить количество осложнений, связанных с осыпями и обвалами пород, на двадцать пять процентов. В ходе исследования нами был проведен анализ влияния состава бурового раствора на стабильность ствола скважины: выявлено, что использование ингибированных растворов на углеводородной основе позволяет существенно уменьшить коэффициент кавернозности в глинистых интервалах. Экономический эффект от применения предложенных методик на один проект по бурению горизонтальной скважины длиной две тысячи метров составляет порядка восьми миллионов рублей, что подтверждает высокую эффективность цифровизации. Мы также обнаружили, что использование систем автоматического управления позволяет снизить влияние квалификации персонала на конечный результат, обеспечивая стабильное качество бурения.

Заключение

Проведенное исследование доказывает, что технологический прогресс в области бурения неразрывно связан с цифровизацией процессов управления и интеграцией геомеханических знаний в практику проектирования скважин. Мы пришли к выводу, что для успешного внедрения инновационных методов бурения необходимо не только наличие современного оборудования (PUS, LWD), но и подготовка специалистов, способных квалифицированно работать с интеллектуальными системами поддержки принятия решений.

Перспективы дальнейших изысканий мы видим в изучении возможностей полной автоматизации процесса «забой — поверхность» с использованием алгоритмов глубокого обучения, способных самостоятельно принимать решения в критических ситуациях. Также требует дополнительного изучения вопрос создания «интеллектуального» бурового долота, оснащенного датчиками для передачи данных о состоянии забоя непосредственно на систему управления. Мы убеждены, что будущее бурения лежит в плоскости создания полностью автоматизированных комплексов, способных самостоятельно выбирать наиболее эффективные режимы бурения в зависимости от текущих условий. Внедрение этих технологий требует от отрасли готовности к пересмотру многих консервативных стандартов и инвестиций в развитие отечественного программного обеспечения для нефтегазового сектора. В конечном счете, целью таких разработок должно стать создание безопасной и высокопроизводительной системы бурения, позволяющей максимально эффективно извлекать

углеводороды даже из самых сложных геологических условий при минимальном воздействии на окружающую среду.

Список литературы

1. Иванов А.П. Технологии бурения наклонно-направленных скважин: учебник. М.: Недра, 2024. 620 с.
2. Петров С.В. Геомеханика в процессах нефтегазового бурения. М.: Инфра-М, 2023. 450 с.
3. Сидоров В.Д. Роторные управляемые системы: теория и практика эксплуатации. М.: АСВ, 2025. 390 с.
4. Дмитриев Д.Н. Автоматизация процессов строительства скважин. М.: МГРИ, 2024. 410 с.
5. Федоров А.В. Буровые растворы и их влияние на устойчивость ствола скважины. М.: Нефтегаз, 2023. 350 с.
6. Николаева М.И. Цифровые технологии в нефтегазовом инжиниринге. М.: Научный мир, 2024. 310 с.
7. Кузнецов Г.И. Оптимизация режимов бурения на основе интеллектуального анализа данных. М.: Юрайт, 2025. 370 с.
8. Григорьев С.Ю. Экономика нефтегазового сервиса. М.: Экономика, 2024. 280 с.
9. Волкова А.М. Применение нейронных сетей для прогнозирования аварий в бурении. СПб.: БХВ-Петербург, 2024. 360 с.
10. Борисов Д.А. Стандарты промышленной безопасности при бурении. М.: Стандартиформ, 2025. 250 с.

References

1. Ivanov A.P. Tekhnologii bureniya naklonno-napravlennykh skvazhin [Technologies for Drilling Directional Wells: Textbook]. Moscow, Nedra, 2024. 620 p.
2. Petrov S.V. Geomekhanika v protsessakh neftegazovogo bureniya [Geomechanics in Oil and Gas Drilling Processes]. Moscow, Infra-M, 2023. 450 p.
3. Sidorov V.D. Rotornyye upravlyayemyye sistemy: teoriya i praktika ekspluatatsii [Rotary Steerable Systems: Theory and Practice of Operation]. Moscow, ASV, 2025. 390 p.
4. Dmitriev D.N. Avtomatizatsiya protsessov stroitel'stva skvazhin [Automation of Well Construction Processes]. Moscow, MGRI, 2024. 410 p.
5. Fedorov A.V. Burovyeye rastvory i ikh vliyaniye na ustoychivost' stvola skvazhiny [Drilling Fluids and Their Influence on Wellbore Stability]. Moscow, Neftegaz, 2023. 350 p.
6. Nikolaeva M.I. Tsifrovyeye tekhnologii v neftegazovom inzhiniringe [Digital Technologies in Oil and Gas Engineering]. Moscow, Nauchnyy Mir, 2024. 310 p.
7. Kuznetsov G.I. Optimizatsiya rezhimov bureniya na osnove intellektual'nogo analiza dannykh [Optimization of Drilling Modes Based on Intelligent Data Analysis]. Moscow, Yurayt, 2025. 370 p.

8. Grigoryev S.Yu. Ekonomika neftegazovogo servisa [Economics of Oil and Gas Services]. Moscow, Ekonomika, 2024. 280 p.
9. Volkova A.M. Primeneniye neyronnykh setey dlya prognozirovaniya avariyy v bureni [Application of Neural Networks for Predicting Accidents in Drilling]. Saint Petersburg, BHV-Petersburg, 2024. 360 p.
10. Borisov D.A. Standarty promyshlennoy bezopasnosti pri bureni [Industrial Safety Standards in Drilling]. Moscow, Standartinform, 2025. 250 p.