

Ахмаджонов Хуршидбек Бахтиёр угли
магистрант, высшая школа энергетики нефти и газа,
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.
Ломоносова,
РФ, г. Архангельск

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ БУРЕНИЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН И ТИПЫ СКВАЖИН

В статье представлен обзор современных методов бурения нефтяных и газовых скважин. Рассмотрены основные технологические подходы: роторное, ударное, направленное (включая горизонтальное, наклонное и сверхдлинные скважины) бурение. Проанализированы их принципы работы, области применения, преимущества и технологические ограничения. Особое внимание уделено развитию горизонтального и направленного бурения как ключевых технологий для повышения продуктивности скважин и освоения трудноизвлекаемых запасов. Обсуждены современные тенденции, такие как автоматизация, цифровизация и интеллектуализация буровых процессов. Статья также содержит классификацию типов скважин по их траектории и назначению.

The article provides an overview of modern methods for drilling oil and gas wells. The main technological approaches are considered: rotary, percussion, and directional drilling (including horizontal, deviated, and extended-reach wells). Their operating principles, fields of application, advantages, and technological limitations are analyzed. Special attention is paid to the development of horizontal and directional drilling as key technologies for enhancing well productivity and developing hard-to-recover reserves. Modern trends, such as automation, digitalization, and intellectualization of drilling processes, are discussed. The article also includes a classification of well types based on their trajectory and purpose.

Ключевые слова: бурение скважин, роторное бурение, ударное бурение, направленное бурение, горизонтальная скважина, наклонно-направленное бурение, геологоразведка, буровые технологии.

Keywords: well drilling, rotary drilling, percussion drilling, directional drilling, horizontal well, directional drilling, geological exploration, drilling technologies.

ВВЕДЕНИЕ

Нефтегазовая отрасль является одной из наиболее технологически интенсивных и наукоёмких отраслей мировой экономики. Эффективность поиска, разведки и разработки месторождений углеводородов в значительной степени определяется прогрессом в области буровых технологий [1, 6]. Современные условия, характеризующиеся истощением традиционных запасов и необходимостью освоения сложных коллекторов (низкопроницаемых, карбонатных, сланцевых), предъявляют повышенные требования к методам и технологиям строительства скважин, а также к повышению точности геолого-геотехнических изысканий [9, 10].

Классическое вертикальное бурение зачастую не обеспечивает достаточный контакт с продуктивным пластом, особенно при разработке тонких или расчленённых коллекторов. Ответом на эти вызовы стало бурное развитие направленного и, в частности, горизонтального бурения, которое позволяет многократно увеличить длину ствола в пласте, тем самым повышая дренируемую площадь и дебит скважины [2, 7, 8].

Целью данной статьи является систематизация знаний о современных методах бурения нефтяных и газовых скважин на основе анализа специализированных литературных источников [1-11]. В работе рассматриваются механические способы разрушения горных пород, даётся подробная классификация и анализ технологий вертикального, наклонного и горизонтального бурения, обсуждаются их технико-экономические аспекты и перспективы развития.

1. МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ БУРЕНИЯ: КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИНЦИПЫ

Разрушение горных пород в процессе бурения может осуществляться различными способами: механическим, термическим, физико-химическим и др. Наибольшее распространение в промышленности получили механические методы, основанные на силовом воздействии на породу [1, 6, 8].

Механические методы подразделяются по характеру воздействия:

1. Роторное бурение: наиболее распространённый метод, при котором разрушение породы происходит за счёт вращения долота, на которое подаётся осевая нагрузка. Вращение передаётся через колонну бурильных труб от ротора на поверхности или от забойного двигателя (турбобура, винтового двигателя) [1, 6]. Промывка для удаления шлама осуществляется буровым раствором, нагнетаемым насосами.
2. Ударное бурение: Разрушение породы происходит за счёт периодических ударов породоразрушающего инструмента (долота). В чистом виде используется редко. На практике чаще применяется ударно-вращательное бурение, сочетающее ударное воздействие с вращением долота, что повышает эффективность в твёрдых и абразивных породах [8].
3. Ударно-канатное бурение: Частный случай ударного бурения, где тяжелое долото поднимается и сбрасывается с помощью канатного механизма. Применяется для бурения неглубоких скважин, геологоразведочных работ и в условиях, где промывка затруднена [8].

Выбор метода зависит от геологических условий (твёрдость породы, наличие трещиноватости), глубины скважины и экономической целесообразности. Для мягких и пород средней твёрдости эффективны двухлопастные долота, а для трещиноватых пород – (ленточные) долота особой конструкции [8]. Важнейшим условием успешного бурения является предупреждение осложнений, таких как нефтегазопроявления и прихваты бурильного инструмента [3, 4].

2. ВЕРТИКАЛЬНОЕ И НАПРАВЛЕННОЕ БУРЕНИЕ: ТЕХНОЛОГИИ И ЭВОЛЮЦИЯ

2.1. Вертикальное бурение

Традиционный метод, при котором ствол скважины стремится сохранить вертикальную траекторию. Остаётся основным для разведочного бурения, бурения на большие глубины (свыше 6000 м) и на участках с простым геологическим строением [8, 11].

Современные вертикальные скважины оснащаются системами вертикального бурения (Vertical Drilling Systems), которые автоматически компенсируют отклонения, обеспечивая высокую точность [8]. Технология вертикального бурения подробно рассмотрена в фундаментальных трудах [5, 6, 10].

2.2. Направленное (искривлённое) бурение

Технология, позволяющая целенаправленно изменять траекторию ствола скважины для попадания в заданную целевую точку под землёй [1, 7]. К этому типу относятся:

- **Наклонные скважины:** строятся с постоянным или увеличивающимся зенитным углом для обхода препятствий, кустового бурения или доступа к удалённым объектам. Определение оптимального угла наклона является критически важной геотехнической задачей [10].
- **Горизонтальные скважины (ГС):** частный и наиболее технологически сложный случай направленного бурения. После вертикального участка ствол искривляется (по участку "набора кривизны" с радиусом 40–300 м и более) и переходит в горизонтальный или близкий к нему (80–90°) участок, который проходит вдоль продуктивного пласта [8]. Длина горизонтального участка может достигать 1000–2000 м и более. Для бурения горизонтальных участков широко применяются гидравлические турбины и гибкие бурильные колонны [8].
- **Сверхдлинные наклонно-направленные скважины (Extended Reach Drilling - ERD):** скважины с исключительно большим отношением горизонтального смещения к вертикальной глубине (часто более 2:1, а в рекордных случаях – до 10 000 м горизонтального ствола) [8].

Теория и практика заканчивания таких сложных скважин, включая крепление и цементирование, детально изложены в специализированных работах [2, 7].

3. ПРЕИМУЩЕСТВА И ВЫЗОВЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО БУРЕНИЯ

Широкое внедрение горизонтального бурения обусловлено его ключевыми преимуществами, подробно описанными в литературе [8]:

1. Увеличение дренируемой площади: длина ствола в пласте увеличивается в десятки раз по сравнению с вертикальным стволом, что значительно повышает продуктивность скважины, особенно в низкопроницаемых коллекторах.
2. Снижение конусообразования: позволяет минимизировать ранний прорыв воды или газа к забою скважины.
3. Освоение сложных объектов: эффективно для разработки тонких пластов, рифовых массивов, сланцевых и плотных песчаников.
4. Экономия наземной инфраструктуры: кустовое бурение нескольких горизонтальных стволов с одной площадки снижает экологический след и капитальные затраты.
5. Пересечение естественных трещин: горизонтальный ствол имеет больше шансов пересечь систему естественных трещин, что резко увеличивает приток.

Однако технология сопряжена с повышенными сложностями и затратами [3, 4, 8]: проблемы с очисткой ствола от шлама, повышенные нагрузки на бурильную колонну, трудности с цементированием обсадных колонн, необходимость в высокоточных системах навигации и управлении траекторией (роторные управляемые системы – RSS). Бурение скважин с большими углами наклона (более 60°) сопряжено с множеством проблем, значительно увеличивающих стоимость строительства [8]. Предупреждение и ликвидация подобных осложнений требуют применения специальных технологий и оборудования [3, 4].

4. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Развитие буровых технологий движется в сторону интеллектуализации и автоматизации, что отмечено в обзорных работах [8]:

- **Цифровизация и автоматизация:** внедрение систем цифровых двойников скважин и предиктивной аналитики для оптимизации параметров бурения в реальном времени. Разработка автоматизированных буровых установок и систем автономного управления. Однако уровень автоматизации для реальных условий отрасли всё ещё считается недостаточным [8].
- **Интеграция данных:** совмещение данных геонавигации, каротажа во время бурения (LWD) и сейсмоки для точного позиционирования ствола в пласте. Важную роль играет точный сбор и обработка геотехнических данных, координат месторождения на ранних стадиях проектирования [9].
- **Расширение областей применения:** технологии направленного бурения находят применение не только в нефтегазовой отрасли, но и в геотермальной энергетике, научном бурении [8], а также в горном деле при определении параметров карьеров и контроле грунтовых вод [9, 10].

Ключевыми задачами для глубокого и сверхглубокого бурения остаются решение проблем, вызванных высокими давлениями и температурами (ГВД-ГВТ), а для направленных скважин – развитие продвинутых систем автоматического контроля [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные методы бурения нефтяных и газовых скважин представляют собой высокотехнологичный комплекс, прошедший значительную эволюцию от простого вертикального бурения до сложных многостадийных горизонтальных и сверхдлинных скважин. Горизонтальное и направленное бурение стали стандартом для эффективной разработки месторождений, обеспечивая доступ к запасам, ранее считавшимся нерентабельными.

Дальнейший прогресс в этой области невозможен без комплексного подхода, сочетающего совершенствование бурового оборудования и инструментов [1, 5, 6], разработку технологий предупреждения осложнений [2,

3, 4] и внедрение современных методов геолого-геотехнического мониторинга [9, 10]. Ключевыми направлениями будущего развития являются преодоление технологических барьеров, связанных с бурением в условиях высоких давлений и температур (ГВД-ГВТ), а также переход к полностью автоматизированным и интеллектуальным системам бурения. Успешная реализация этих направлений позволит не только повысить экономическую эффективность нефтегазодобычи, но и расширить применение буровых технологий в смежных областях, таких как освоение геотермальных ресурсов и решение задач устойчивого развития.

Список литературы:

1. Башлык С.М., Загибайло Г.Т. Бурение скважин. – М.: Недра, 1983. – 440 с.
2. Басырыгин Ю.М., Будников В.Ф., Булатов А.М. Теория и практика предупреждения осложнений и ремонта скважин при их строительстве и эксплуатации: в 3 т. – М.: Недра, 2000.
3. Булатов А.И., Куксов А.К., Бабаян Э.В. Предупреждение и ликвидация нефтегазопроявлений при бурении. – М.: ВНИИОЭНГ, 1987. – Вып. 3. – 215 с.
4. Булатов С.И. Современные технологии и техники предупреждения и ликвидации прихватов колонн труб. – М.: Недра, 1987.
5. Булатов А.И., Аветисов А.Г. Справочник инженера по бурению: в 4 т. – М.: Недра, 1995.
6. Булатов А.И. Технология бурения. – М.: Недра, 2003. – 1003 с.
7. Булатов А.И., Макаренко П.П., Будников В.Ф. и др. Теория и практика заканчивания скважин: в 5 т. / Под ред. А.И. Булатова. – М.: Недра, 1997–1998.
8. Batirova U.S., Tajimova G.R., Abdullayev A.S. Modern Methods of Drilling Oil and Gas Wells and Types of Wells // Экономика и социум. – 2023. – №9(112). – С. 58-62.
9. Djaksimuratov K.M., Batirova U.S., Abdullaev A.S., & Joldasbayeva A.B. Gathering Coordinates of the Geological and Geotechnical Location of the Mine

// British Journal of Global Ecology and Sustainable Development. – 2023. – Vol. 12. – P. 58–66.

10. Djaksimuratov K.M., Batirova U.S., Otemisov U.S., & Aytmuratov S.Q. Steps for Determining the Slope Angle of an Open Mine // American Journal of Interdisciplinary Research and Development. – 2023. – Vol. 12. – P. 132–141.
11. Булатов А.И., Качмар Ю.Д., Макаренко П.П., Яремейчук Р.С. Освоение скважин: Справочное пособие. – М.: Недра, 1999. – 473 с.