ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Научная статья

https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-02-217
УДК 622.243.2:622.143:553.98(26)(575.4)

Бурение направленной разведочной скважины в мелководье Каспия

А.Р. Деряев
Научно-исследовательский институт природного газа ГК «Туркменгаз», г. Ашгабат, Туркменистан
✉ *annagulyderyayew@gmail.com*

Аннотация
В условиях быстро меняющейся энергетической ситуации важной задачей становится не только достижение экономической выгоды, но и обеспечение энергетической стабильности в регионе и на мировом рынке энергоресурсов. Целью проведенного исследования являлось совершенствование процессов наклонно-направленного бурения разведочных скважин в акватории Каспийского моря в Туркменистане для повышения эффективности и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Среди использованных методов следует отметить аналитический метод, метод классификации, функциональный метод, статистический метод, метод синтеза и другие. В рамках исследования был проведен анализ процессов наклонно-направленного бурения разведочных скважин в акватории Каспийского моря в Туркменистане. Были разработаны и успешно внедрены инновационные технологии, направленные на рационализацию производственных процессов с учетом экологических аспектов. Такой комплексный подход не только повышает техническую готовность энергетических проектов в регионе, но также содействует соблюдению высоких стандартов экологической устойчивости, что является важным элементом в современном энергетическом управлении. Таким образом, изучение этих процессов неотъемлемо связано с формированием устойчивой и эффективной энергетической стратегии для Каспийского региона. Проблематика данного исследования сосредоточена на необходимости эффективного изучения и совершенствования процессов наклонно-направленного бурения разведочных скважин в акватории Каспийского моря в Туркменистане. Основные аспекты включают в себя не только стремление к повышению добычи углеводородов, но и сбалансированное внимание к экологическим аспектам производства. Результаты исследования подтвердили эффективность новых методов, способствующих увеличению добычи углеводородов, сокращению временных затрат и снижению негативного воздействия на природную среду. Это исследование подчеркивает не только важность современных технологических решений в энергетической отрасли, но и их существенный вклад в устойчивое развитие региона и обеспечение энергетической безопасности. Практическое значение данного исследования заключается в предоставлении инновационных решений для совершенствования процессов наклонно-направленного бурения разведочных скважин в акватории Каспийского моря в Туркменистане.

Ключевые слова
энергетическая безопасность, бурение, эффективность, разведка, инновационная технология, скважина, морская среда, Каспий

Для цитирования
Deryaev A.R. Directional drilling of an exploratory well in the shallow waters of the Caspian Sea. *Mining Science and Technology* (*Russia*). 2024;9(4):341–351. https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-02-217

GEOLOGY OF MINERAL DEPOSITS

Research paper

Directional drilling of an exploratory well in the shallow waters of the Caspian Sea

A.R. Deryaev
Natural Gas Research Institute, Turkmengaz State Concern, Ashgabat, Turkmenistan
✉ *annagulyderyayew@gmail.com*

Abstract
In the rapidly evolving energy landscape, achieving not only economic benefits but also ensuring energy stability for the region and the global energy resource market has become a key objective. This study aims to optimize the processes of directional and inclined drilling of exploratory wells in the Caspian Sea offshore area in Turkmenistan, focusing on enhancing efficiency and reducing environmental impact. Among the methods used, the analytical method, classification method, functional method, statistical method, synthesis method, and others should be noted. The study involved an analysis of directional drilling processes in exploratory wells in the

© Деряев А. Р., 2024

Caspian Sea offshore area of Turkmenistan. Innovative technologies were developed and successfully implemented to streamline production processes with an emphasis on environmental considerations. This comprehensive approach not only improves the technical readiness of energy projects in the region but also supports adherence to high standards of environmental sustainability, which is a critical component of modern energy management. Thus, the exploration of these processes is inherently connected with the formation of a sustainable and efficient energy strategy for the Caspian region. The study's focus centers on the need for effective analysis and refinement of directional drilling processes for exploratory wells in the Caspian Sea offshore area in Turkmenistan. Key considerations include not only the goal of enhancing hydrocarbon extraction but also maintaining a balanced focus on the environmental aspects of production. The research results confirmed the effectiveness of new methods that support increased hydrocarbon production, reduce time costs, and minimize adverse environmental impacts. This study highlights not only the importance of modern technological solutions in the energy sector but also their substantial contribution to the region's sustainable development and energy security. The practical significance of this study lies in providing innovative solutions to improve directional drilling processes for exploratory wells in the Caspian Sea offshore area of Turkmenistan.

Keywords
energy security, drilling, efficiency, exploration, innovative technology, well, marine environment, Caspian Sea

For citation
Deryaev A.R. Directional drilling of an exploratory well in the shallow waters of the Caspian Sea. *Mining Science and Technology* (*Russia*). 2024;9(4):341–351. https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-02-217

Введение

Изучение процессов наклонно-направленного бурения разведочных скважин в акватории Каспийского моря в Туркменистане является неотъемлемой частью стратегического планирования в энергетической сфере. Эта исследование обретает критическое значение в свете постоянных изменений в энергетической индустрии и необходимости обеспечения устойчивости поставок энергоносителей. Разработка инновационных технологий и рационализация процессов бурения способствуют повышению эффективности добычи углеводородов и снижению негативного воздействия на окружающую среду. Понимание этих процессов обеспечивает экономическую выгоду, а также играет ключевую роль в обеспечении энергетической безопасности региона и мирового рынка энергоносителей в условиях постоянно меняющейся энергетической парадигмы. Такой комплексный подход повышает техническую готовность энергетических проектов в регионе и содействует соблюдению высоких стандартов экологической устойчивости, что является важным элементом в современном энергетическом управлении. Таким образом, изучение этих процессов неотъемлемо связано с формированием устойчивой и эффективной энергетической стратегии для Каспийского региона.

В работе [1] подчеркивается применение инновационных методов наклонно-направленного бурения для повышения эффективности добычи углеводородов в акватории Каспийского моря. Исследование не затрагивает вопросы развития интегрированных систем управления, которые могли бы обеспечить устойчивость нефтегазовой деятельности в долгосрочной перспективе.

В исследовании [2] рассматривается проблема разработки устойчивых методов наклонно-направленного бурения с учётом экологических аспектов, однако в работе не уделяется должного внимания экологическим аспектам и возможным последствиям применения этих методов для морской среды.

Исследование [3] подчеркивает важность использования аналитических методов для оценки воздействия бурения на разнообразие морской жизни, но не рассматривает классификационные методы, которые могли бы помочь адаптироваться к геологическим изменениям и снизить риски.

В работе [4] автор обращает внимание на прогрессивность методов синтеза в наклонно-направленном бурении (ННС), что улучшает добычу углеводородов. Однако детально не представлены расчеты при бурении наклонно-направленных скважин для одновременно-раздельной эксплуатации (ОРЭ).

В исследовании [5] подчеркивается необходимость классификационных методов для эффективного управления процессами наклонно-направленного бурения, но не рассматриваются долгосрочные последствия синтетических подходов и их влияние на экосистему морской среды.

В статье [6] выдвигается ключевой вопрос об эффективности статистических методов при анализе результативности наклонно-направленного бурения, проведенного в рамках аналитического подхода. Исследование не углубляется в вопросы, касающиеся социальной приемлемости статистических методов и их влияния на общественное мнение.

Материалы и методы

Аналитический метод помог в более глубоком понимании сложных взаимосвязей и динамики процессов наклонно-направленного бурения разведочных скважин в акватории Каспийского моря. Этот метод позволил выявить факторы, влияющие на эффективность бурения, и провести системный осмотр данных, что существенно обогатило знание о физических и геологических параметрах, влияющих на успех операций по добыче углеводородов.

С помощью статистического метода были выделены ключевые закономерности и тренды, характеризующие процессы наклонно-направленного бурения разведочных скважин в акватории Каспийского моря. Этот метод позволил исследовать большие объемы данных, полученных в ходе эксплуатации скважин, и выделить статистически значимые параметры, влия-

ющие на эффективность бурения. Статистический метод также предоставил возможность оценить степень надежности и предсказуемости результатов бурения, что является критическим фактором при принятии решений в энергетической индустрии. Полученные статистические данные об общей эффективности бурения, временных затратах и других параметрах стали фундаментальной основой для дальнейшего совершенствования стратегий и тактик, используемых в процессах бурения в данной акватории.

Фукциональный метод позволил выделить основные функциональные зависимости между различными параметрами и процессами, связанными с наклонно-направленным бурением разведочных скважин в акватории Каспийского моря. Этот метод позволил выявить влияние различных переменных на общую эффективность бурения, выявить выгодные значения параметров и определить ключевые факторы, влияющие на успех операций по добыче углеводородов.

Метод дедукции позволил сделать в логическом выводе относительно процессов наклонно-направленного бурения разведочных скважин в акватории Каспийского моря. Применение этого метода позволило выявить причинно-следственные связи между различными аспектами бурения, определить основные принципы и законы, лежащие в основе эффективных технологий. Таким образом, применение метода дедукции обогатило понимание принципов функционирования и управления процессами наклонно-направленного бурения.

Применение метода синтеза позволило разработать инновационные решения и технологии, направленные на рационализацию процессов наклонно-направленного бурения разведочных скважин в акватории Каспийского моря. Этот метод обеспечил системное объединение различных компонентов и переменных, чтобы создать эффективные стратегии, сочетающие в себе техническую эффективность и учет экологических аспектов. Синтетический метод позволил интегрировать передовые технологии, учитывая множество переменных, влияющих на процессы бурения. Разработанные в ходе метода синтеза инновации способствуют не только повышению производительности, но и снижению негативного воздействия на морскую среду. Полученные решения представляют собой комплексный набор мер, включающий технические усовершенствования, управление рисками и соблюдение высоких стандартов экологической устойчивости. Таким образом, метод синтеза выступил важным инструментом в создании комплексных и инновационных подходов к рационализации бурения в данной акватории.

Метод классификации помог в систематизации различных типов геологических формаций и условий, влияющих на процессы наклонно-направленного бурения разведочных скважин в акватории Каспийского моря. Применение этого метода позволило выделить характеристики и особенности различных зон бурения, что существенно облегчило адаптацию стратегий бурения к разнообразным геологическим условиям. Метод классификации также способствовал созданию системы определения эффективных параметров бурения в зависимости от конкретных геологических характеристик. Это позволило улучшить точность и эффективность процессов бурения, снизив возможные риски и улучшив общую эффективность. Полученные результаты классификации являются основой для разработки более точных и адаптивных стратегий наклонно-направленного бурения в условиях акватории Каспийского моря в Туркменистане.

Результаты

В последние десятилетия активность в области разведки и добычи нефти и газа в мировом масштабе неуклонно растет, при этом страны, расположенные вблизи богатых природными ресурсами регионов, играют ключевую роль в этом процессе. Одной из таких стран является Туркменистан, занимающий стратегическое положение на берегах Каспийского моря. Бурение наклонно-направленных разведочных скважин в акватории этого уникального внутреннего моря представляет собой сложную инженерную и экологическую задачу, но также открывает перед страной широкие перспективы в области энергетики [7].

Одним из ключевых аспектов бурения в Каспийском море является использование технологии наклонно-направленных скважин. Эта инновационная методика позволяет бурителям добывать углеводороды из различных точек подводного месторождения, максимизируя эффективность и увеличивая объем добычи. Туркменистан, обладая богатыми запасами природных ресурсов, стремится использовать передовые технологии, чтобы эффективно извлекать и максимизировать потенциал своих месторождений.

Однако, несмотря на перспективы, связанные с бурением наклонно-направленных разведочных скважин в Каспийском море, существуют и трудности. Экологический аспект занимает центральное место, так как даже самые передовые технологии могут представлять угрозу для морской экосистемы. Сбросы буровых жидкостей, выбросы паров и возможные несчастные случаи могут иметь серьезные последствия для окружающей среды и здоровья местных сообществ [8].

Поэтому страны, осуществляющие бурение в акватории Каспийского моря, должны строго соблюдать международные стандарты безопасности и экологии. Разработка и внедрение интегрированных систем контроля, постоянный мониторинг воздействия на окружающую среду, а также активное взаимодействие с научными исследовательскими организациями являются неотъемлемой частью устойчивого развития в этой области [9].

Одной из ключевых задач для нефтегазовой индустрии Туркменистана является увеличение запасов углеводородного сырья. Президент Туркменистана Сердар Бердымухамедов подчеркивает необходимость увеличения добычи углеводородных ресурсов в нефтегазовом секторе, считая это важным фактором для обеспечения стабильности и экономической независимости страны. На современном этапе развития нефтяной промышленности с учетом совершенствова-

ния технологий бурения, разработки нового бурового оборудования и химических реагентов появились возможности использования ранее неизвестных методов и типов при строительстве скважин [10].

Традиционно все разведочные скважины бурились вертикально, однако теперь имеется обоснование для изменения этой стандартной практики. Опыт, полученный при строительстве X1 горизонтальной наклонно-направленной скважины на месторождении Северный Готурдепе в сотрудничестве с компанией «Schlumberger», свидетельствует о возможности проведения разведочного бурения с использованием горизонтальных наклонно-направленных скважин в мелководной части Каспийского моря. Бурение таких скважин разных направлений на существующих искусственных островах позволяет существенно снизить расходы на геологические исследования в полевых условиях, как отмечено в исследовании [11]. В Готурдепинском управлении буровых работ Туркменистана успешно проведен первый опыт бурения горизонтально-направленных скважин. Специалисты Готурдепинского УБР совместно с компанией «Schlumberger» пробурили наклонно-направленную скважину X2 на месторождении Северный Готурдепе, смещенную от вертикального положения на глубине более 1000 м. Собственные силы использовались для бурения до глубины 3000 м, а наклонно-направленная часть колонны была пробурена с участием специалистов Schlumberger на специальном оборудовании.

Скважина успешно достигла заданной глубины в 4850 м (по стволу). Процесс бурения этой скважины на глубину 3000 м соответствует техническому проекту и аналогичен методам, используемым при бурении других скважин в стране. Стартовая точка бурения была установлена на глубине 3000 м для достижения зенитного угла с азимутальным углом 270°. Заданные параметры включают в себя проектный зенитный угол в 45°, максимальную интенсивность набора угла 3,5° на каждые 30 м и смещение забоя скважины на величину 1046,58 м.

Перед началом бурения наклонно-направленного участка на глубине 3000 м произведена замена прежнего бурового раствора на водной основе на систему углеводородного бурового раствора под названием Версадрил. Этот углеводородный состав, разработанный с применением специализированных химических веществ, содержит до 80 % углеводородов и 20 % воды. Главным преимуществом таких растворов является их высокая устойчивость к воде, что приводит к образованию тонких и гибких корок [12]. При этом сохраняются природные коллекторские свойства продуктивной части разреза, происходит существенное снижение перемешивания глинистых веществ в растворе, а также имеются другие благоприятные характеристики.

Применение углеводородных растворов может вызывать сложности при укреплении скважин цементными растворами [13]. Эта проблема возникает при смешивании цементных растворов с углеводородными растворами из-за процесса коагуляции, что приводит к увеличению текучести и уплотнению смеси. Для предотвращения подобных проблем в институте «Небитгазылмытаслама» разработана специальная буферная жидкость на основе углеводородов, успешно примененная при бурении X2 скважины в Северном Готурдепе.

В ходе бурения данной скважины систематически проводились геолого-технологические испытания с использованием новой станции ГТБ «Геотест-5». Прибор «Геотест» автоматически собирает, обрабатывает и визуализирует геологические, геохимические и технологические данные о процессе бурения [14]. Этот инструмент контролирует параметры бурения, оценивает общую ситуацию, выбирает коллекторы в разрезе и определяет их насыщение, предотвращая возможные осложнения и аварии.

Станция представляет собой комплекс из трех основных модулей: технологического, газового каротажа и геологического [15]. Технологический модуль ответственен за управление процессом бурения в режиме реального времени, обеспечивая эффективное и точное управление операциями бурения. Модуль газового каротажа осуществляет запись общей загазованности и проводит анализ состава газовой смеси, что играет важную роль в оценке безопасности и эффективности процесса. Геологический модуль проводит оперативный анализ керна, шлама, бурового раствора и пластовых флюидов, предоставляя ценную информацию для оценки геологических характеристик и состава скважинного материала [16].

Рис. 1 демонстрирует сегмент диаграммы, отражающий технологические параметры в период набора кривизны в процессе бурения, а на рис. 2 представлен фрагмент интервала прямолинейного бурения в наклонной части скважины.

Бурение на глубине 3000 м осуществлялось с использованием следующего оборудования: забойного винтового двигателя диаметром 295,3 мм модели A800M 4553 XP-8,92 м, затем шел колебратор со спиральными лопастями (КЛС) диаметром 269 мм, немагнитный, далее – переводник с обратным клапаном диаметром 206 мм и утяжеленная бурильная труба (УБТ) диаметром 204 мм на протяжении 8,93 м. После этого была установлена телесистема «Telescope-825NF» на 8,06 м, последовательно следовала еще одна утяжеленная бурильная труба диаметром 203 мм на 37,15 м, гидравлический ясс на 10,07 м, еще одна утяжеленная бурильная труба диаметром 203 мм на 9,19 м, переводник, еще один переводник и утяжеленная бурильная труба диаметром 172 мм на 9,34 м. Весь этот комплекс завершался бурильными трубами до устья скважины.

Для поддержания установленных значений интенсивности набора зенитного угла в процессе набора угла применялась следующая методика: на определенном азимуте выполнялось бурение на глубину 4–5 м с закрытым ротором для набора угла, затем производилось бурение еще 4–5 м с вращением ротора и компоновкой низа бурильных колонн для стабилизации зенитного угла. Этот процесс наглядно представлен в столбце 3 на рис. 1 по кривым, отображающим частоту вращения ротора и положение талевого блока.

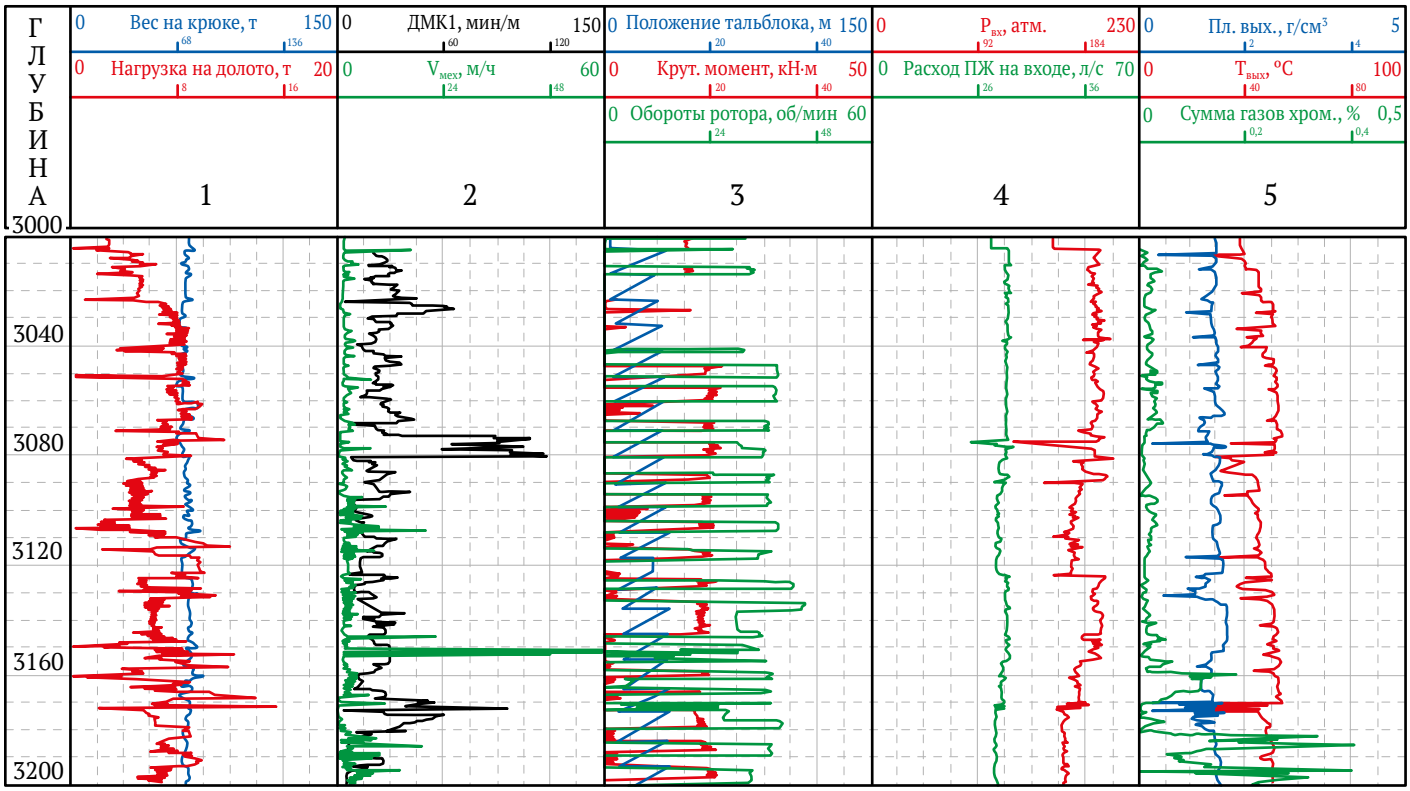

Рис. 1. Параметры процесса углубления скважины в период формирования кривизны [составлено автором]

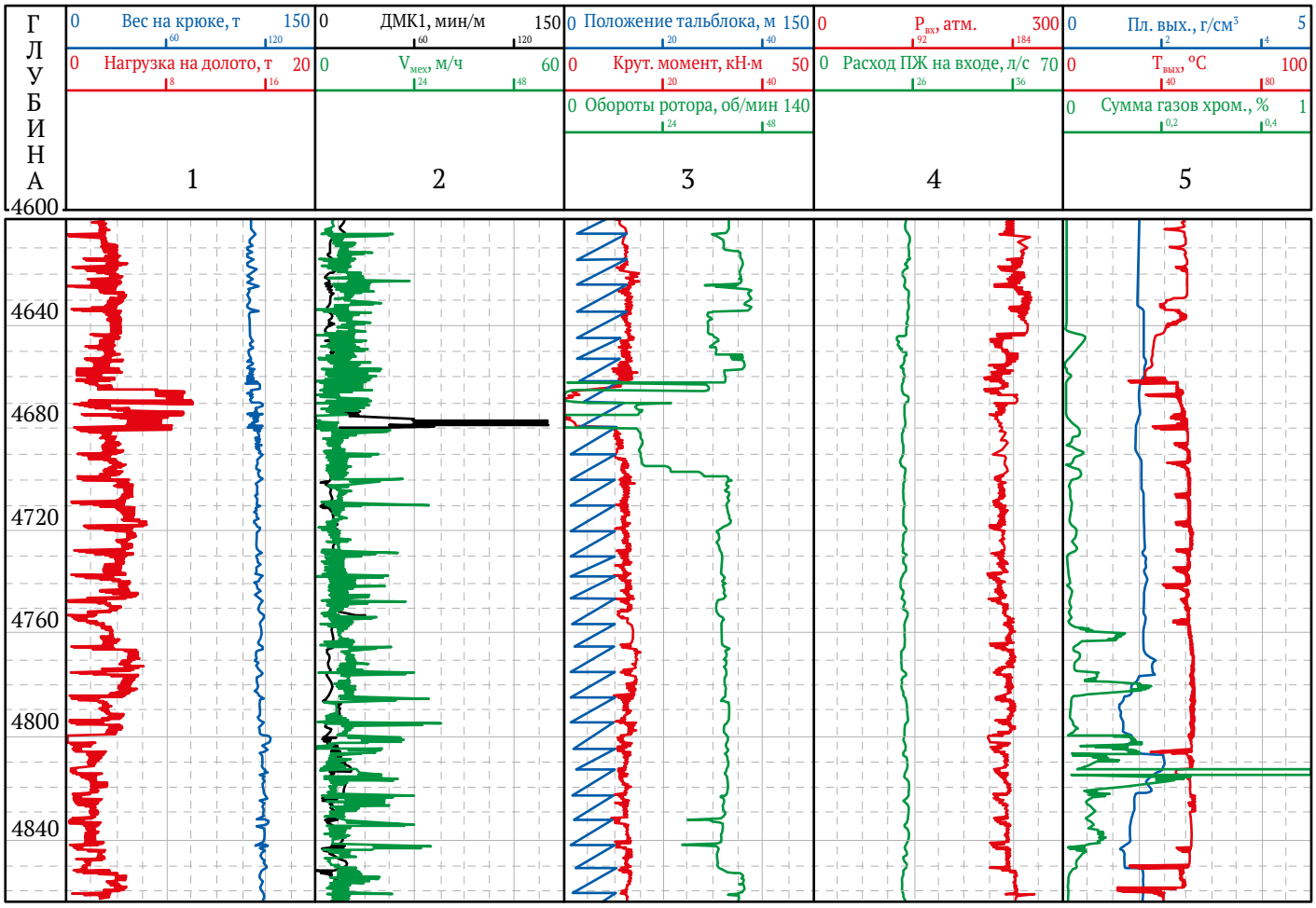

Рис. 2. Параметры процесса углубления скважины в прямолинейном участке наклона [составлено автором]

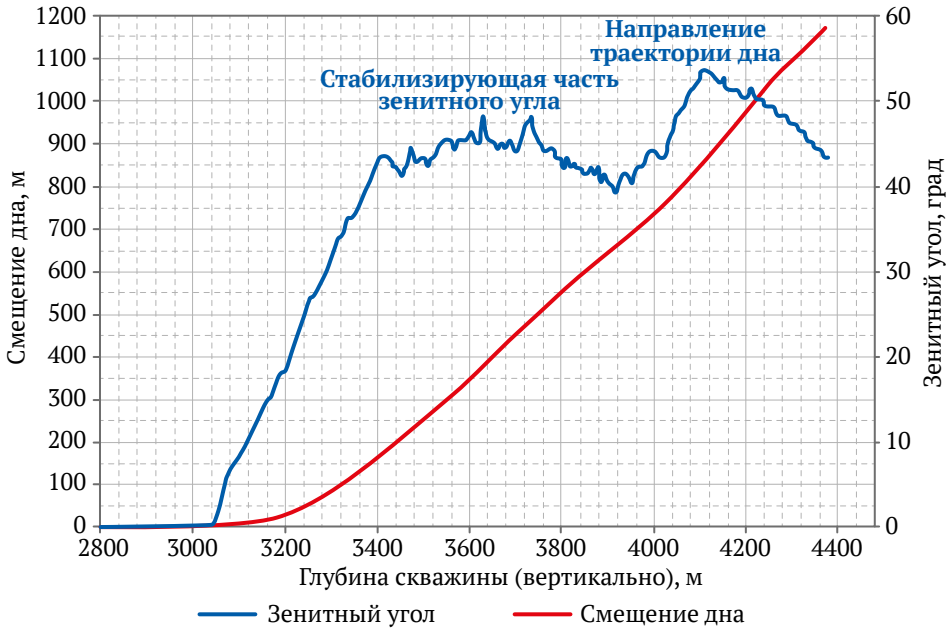

Рис. 3. Изменение угла наклона и смещение забоя в скважине X2 на месторождении Северный Готурдепе [составлено автором]

Технологические параметры углубления скважины в интервале прямолинейной наклонной части были рационализированы с использованием непрерывного вращения ротора и соответствующей конфигурации нижней бурильной колонны (см. рис. 2). Стабильность траектории ствола обеспечивалась изменением положения калибраторов в бурильной системе и заменой долот PDC на шарошечные долота (и наоборот) в прямолинейной части скважины.

На глубине 4450 м (по стволу) в скважину успешно опущена и закреплена обсадная колонна диаметром 244,5 мм. Этот процесс осуществлялся в два этапа. Позднее, когда скважина достигла запланированной глубины, было принято решение продолжить ее углубление для более детального изучения продуктивных пластов горизонта НК3. Глубина скважины была увеличена до 4865 м, после чего была установлена эксплуатационная колонна диаметром 139,7 мм.

В процессе бурения скважины X2 на месторождении Северный Готурдепе максимальное отклонение забоя составило 1167,48 м при магнитном азимуте 266,15°, а максимальный зенитный угол на глубине 4440 м достиг 53,46°. Изменения в вертикальном профиле скважины и зенитного угла наглядно представлены на рис. 3. Добыча из первого объекта (НК3) привела к получению продукта с максимальным дебитом в 80 т в сутки. Результаты анализа этого продукта, выполненные в геохимической лаборатории нефти, газа и горных пород института «Небитгазылмытаслама», представлены в табл. 1.

На графике строительства скважины, представленном на рис. 4, можно выделить перспективы увеличения скорости бурения для данного типа скважин. Одним из ключевых факторов, влияющих на эффективность и продуктивность бурения, является сокращение времени подготовки к бурению наклонной части скважины [17]. В текущем контексте графика видно, что время, затрачиваемое на подготовку к бурению наклонной части, может быть сокращено. Это важное наблюдение, поскольку более эффективная и быстрая подготовка к бурению наклонной части позволит уменьшить временные задержки и улучшить общую производительность процесса бурения.

Этот аспект имеет стратегическое значение, так как увеличение скорости бурения ведет к более быстрой добыче углеводородов, что, в свою очередь, способствует повышению экономической эффективности и обеспечивает более быстрый возврат инвестиций. Такие перспективы отражают стремление индустрии к постоянному совершенствованию технологий и процессов с целью совершенствования производства и увеличения его устойчивости в долгосрочной перспективе.

Таблица 1

Исследование нефти из скважины X2 на месторождении Северный Готурдепе [составлено автором]

Интервал (по стволу), м		4820–4830	4832–4844
Горизонт		НК	
Количество воды, %		47,0	30,5
Плотность нефти, г/см³		0,8545	0,8560
Температура застывания нефти, °C		+4	+4
Вязкость, Па с	20 °C	11,4	11,5
	50 °C	5,0	5,1
Заключение		Жидкий углеводородный флюид – лёгкая нефть	

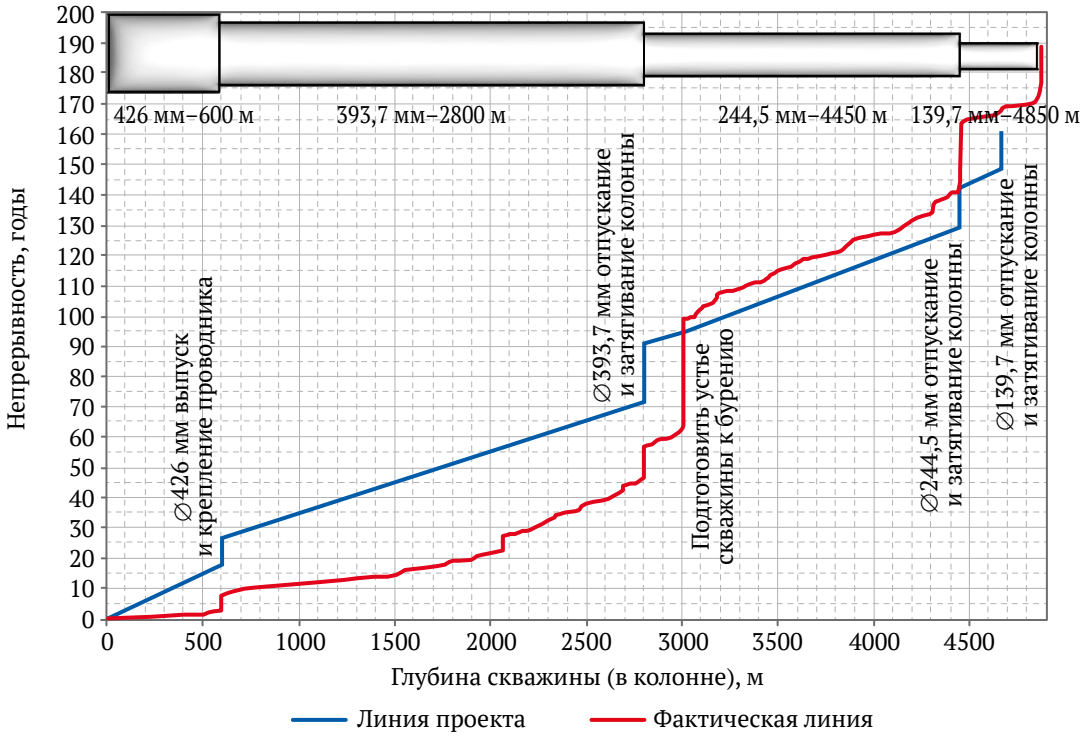

Рис. 4. Диаграмма, отражающая хронологию строительства скважины X2 Северный Готурдепе [составлено автором]

Коммерческая производительность скважины определяется как средняя скорость бурения, достигающая 817 м в месяц, при полностью эффективном времени бурения, равном 100%. Данные по распределению времени между основными операциями следующие: 27,3% времени уходит на бурение; 17,2% – на спуско-подъемные операции; 18,06% – на процессы крепления; 35% – на вспомогательные работы. Эти показатели являются важными для оценки общей эффективности процесса бурения и обеспечивают информацию о временных затратах на каждый этап работы.

В заключение: бурение наклонно-направленных разведочных скважин в акватории Каспийского моря представляет собой сложный, но перспективный путь для страны, стремящейся использовать свои природные ресурсы с максимальной эффективностью. Необходимо находить баланс между экономической выгодой и ответственным использованием природы, чтобы обеспечить устойчивое развитие и сохранение уникальной природной среды этого региона.

Обсуждение результатов

Бурение наклонно-направленных разведочных скважин в акватории Каспийского моря в Туркменистане представляет собой тему, вокруг которой сосредоточены как перспективы, так и вызовы. Этот процесс имеет важное стратегическое значение для Туркменистана, стремящегося максимизировать свой потенциал в области добычи углеводородов.

Туркменистан обладает значительными запасами нефти и газа в акватории Каспийского моря. Бурение наклонно-направленных скважин предоставляет уникальную возможность эффективного извлечения этих ресурсов. Эта технология позволяет добывать углеводороды из различных точек месторождений, что способствует повышению общей добычи и улучшению энергетической безопасности страны.

Использование наклонно-направленных разведочных скважин требует применения передовых технологий и инженерных решений. Внедрение современных методов бурения и геологической разведки может значительно повысить эффективность и точность добычи. Такие инновации способствуют не только увеличению объемов добычи, но и снижению экологического воздействия на окружающую среду.

Необходимо уделять серьезное внимание экологическим и социальным аспектам бурения в акватории Каспийского моря. Сбросы и выбросы могут оказывать негативное воздействие на экосистему моря, а также на здоровье местных сообществ. Поэтому строгое соблюдение международных стандартов, разработка и внедрение экологически чистых технологий и взаимодействие с общественностью являются ключевыми элементами устойчивого подхода к разведке и добыче углеводородов.

Успех бурения в акватории Каспийского моря также зависит от геополитических факторов. Туркменистан должен вести диалог и сотрудничать с соседними странами, имеющими интересы в регионе. Эффективное управление ресурсами и разрешение граничных вопросов способствуют стабильности и увеличению инвестиций в энергетический сектор.

В целом, бурение наклонно-направленных разведочных скважин в акватории Каспийского моря в Туркменистане представляет собой сложную задачу, которая требует интегрированного подхода, баланса

интересов и учета экологических и социальных факторов. Реализация проектов с учетом этих аспектов может стать ключевым элементом устойчивого развития энергетической отрасли в стране.

По результатам последних исследований T. Eren расчеты позиционирования наклонно-направленного бурения играют ключевую роль в обеспечении точности и эффективности данного технологического процесса. Основная цель этих расчетов – точное определение координат скважины на различных глубинах, что позволяет инженерам и буровым специалистам эффективно манипулировать направлением и углом бурения для достижения желаемых целей. В процессе наклонно-направленного бурения инструменты, такие как измерительные гироскопы и акселерометры, используются для определения положения и угла скважины относительно вертикали. Эти данные затем подвергаются сложным математическим расчетам, включающим в себя тригонометрию и геометрию, чтобы определить точные координаты скважины на каждом этапе бурения. Точные расчеты позиционирования обеспечивают не только увеличение добычи углеводородов, но и снижение риска возможных проблем, таких как перекрестное сверление соседних скважин или отклонение от целевого пласта. Это особенно важно в условиях сложных геологических структур или при работе в морской среде [18].

Эти данные согласуются с тезисами, приведёнными в предыдущем разделе. Расчеты позиционирования в наклонно-направленном бурении представляют собой интегральную часть технологии, гарантирующую точность и эффективность процесса. Современные методы и технологии в этой области способствуют рационализации добычи углеводородов и обеспечивают устойчивость в разведке и разработке месторождений.

По определению Fang Peng, исследование ключевых технологий интеллектуального оборудования направленного бурения представляет собой важный аспект в развитии нефтегазовой индустрии. Эти технологии направлены на улучшение процессов бурения, повышение точности и эффективности, а также снижение рисков, связанных с добычей углеводородов. Одним из ключевых элементов является использование современных систем навигации и контроля, включая интегрированные гироскопы, акселерометры и геомагнитные датчики. Интеллектуальное оборудование позволяет в режиме реального времени мониторить параметры бурения, такие как угол наклона, направление и глубина скважины. Алгоритмы обработки данных, основанные на искусственном интеллекте, позволяют предсказывать потенциальные проблемы и предостерегать от них, что существенно улучшает безопасность и производительность бурения. Применение технологий искусственного интеллекта также включает в себя автоматизацию процессов принятия решений на основе собранных данных. Это позволяет операторам реагировать быстро на изменяющиеся условия и корректировать параметры бурения в реальном времени, повышая производственные показатели. Такие системы также минимизируют участие человека в процессе бурения, что уменьшает риски несчастных случаев и ошибок [19].

Следует отметить, что исследование данных технологий направлено на создание устойчивых, интеллектуальных систем бурения, способных адаптироваться к различным геологическим условиям. Эти инновации открывают новые перспективы в разведке и добыче углеводородов, улучшая эффективность и снижая экологическое воздействие на природную среду.

Исследователь H. Li определил, что модифицированный алгоритм дифференциальной эволюции отжига Больцмана представляет собой инновационный подход к задаче инверсии измерений направленного каротажа удельного сопротивления в процессе бурения. Инверсия данных каротажа является ключевым инструментом в геофизическом исследовании, обеспечивая информацию о свойствах пород, скважин и окружающей среды. Алгоритм дифференциальной эволюции в сочетании с методом отжига Больцмана предоставляет эффективный метод рационализации, позволяя исследователям находить предпочтительные значения удельного сопротивления пород в реальном времени. Модификация алгоритма спроектирована для повышения его сходимости и устойчивости в сложных условиях бурения, что делает его особенно полезным в сфере нефтегазового исследования [20].

Можно согласиться с мнением, что применение алгоритма к данным направленного каротажа позволяет точнее реконструировать удельное сопротивление пород в различных глубинах скважины. Это важно для определения состава горных пород, выявления промышленно значимых зон и рационализации процессов добычи углеводородов. Такие инновационные методы инверсии существенно улучшают точность и информативность данных, получаемых в режиме реального времени в процессе бурения.

Исследователь D. Cao показал проведенными работами, что разработка и применение моделей глубокого обучения в реальном времени представляют собой значительный прогресс в области повышения эффективности наклонно-направленного бурения. Эта инновационная технология основана на использовании нейронных сетей для анализа данных, собираемых в процессе бурения, и принятия решений на основе этого анализа. Глубокое обучение позволяет создавать сложные модели, способные автоматически извлекать высокоуровневые признаки из многомерных данных, таких как параметры бурения, геологические характеристики и другие факторы. Эти модели способны предсказывать изменения в геологии скважины и предотвращать потенциальные проблемы в режиме реального времени. Применение моделей глубокого обучения в реальном времени в наклонно-направленном бурении дает возможность более точного контроля и коррекции направления и угла бурения. Это приводит к увеличению производительности, сокращению времени бурения и снижению рисков возможных сбоев [21]. Данные результаты подтверждают приведенное выше исследование, поскольку разработка и применение моделей глубокого обучения в реальном времени в наклонно-направленном

бурении открывают перед индустрией нефтегазового сектора перспективы улучшения процессов, уменьшения затрат и повышения общей эффективности.

Как отмечает B. Harris, численное исследование использования наклонно-направленных скважин для добычи геотермальной энергии из заброшенных нефтяных и газовых скважин представляет собой перспективное направление, объединяющее высокую эффективность и устойчивость в области возобновляемой энергетики. Заброшенные нефтяные и газовые скважины предоставляют уникальную инфраструктуру, которую можно использовать для извлечения геотермальной энергии, принося вторую жизнь этим источникам. Численное моделирование позволяет оценить потенциал геотермальной энергии на различных глубинах заброшенных скважин, учитывая геотермальный градиент и другие геологические параметры. Использование наклонно-направленных скважин дополнительно обогащает этот процесс, позволяя более эффективно извлекать тепловую энергию из горных пород. Такой подход не только обеспечивает возможность повторного использования устаревшей инфраструктуры, но и способствует устойчивому и экологически чистому методу добычи энергии. Энергия, извлекаемая из геотермальных источников, может служить как для поддержки местных энергосистем, так и для сокращения зависимости от традиционных источников энергии [22]. Анализ полученных результатов показывает, что такие исследования важны, поскольку они помогают определить эффективные технологии и геологические параметры для использования заброшенных скважин в целях добычи геотермальной энергии. Это направление может содействовать диверсификации энергетического микса, улучшая его устойчивость и снижая негативное воздействие на окружающую среду.

Исследователь A. Ihnatov определил, что разработка рациональных компоновок низа направленного бурения скважин представляет собой важное направление в инженерии бурения, направленного на рационализацию процессов и повышение эффективности добычи углеводородов. Эта задача требует комплексного подхода, включая изучение геологических особенностей, учет требований к скважине и применение передовых инженерных решений. Рациональные компоновки низа бурового ствола направленных скважин включают улучшенные долота, роторы и другие инструменты, разработанные с учетом конкретных условий бурения. Инновационные геометрические формы и материалы могут повысить сопротивление износу, увеличивая срок службы оборудования и снижая затраты на его обслуживание. Эффективная компоновка низа скважины также способствует более точному управлению направлением бурения, что критически важно для достижения заданных целей в сложных геологических условиях. Интеграция передовых технологий в автоматизацию процессов бурения и контроля параметров ствола дает возможность реагировать на изменения в реальном времени, улучшая точность и предсказуемость [23].

Таким образом, разработка рациональных компоновок низа направленного бурения скважин не только способствует рационализации технологических процессов, но также повышает производительность, снижает риски и содействует устойчивому развитию нефтегазовой промышленности.

Выводы

1. Скважины X1, X2 в Северном Готурдепе успешно выполнили свое назначение в поисково-разведочных работах, подтвердили наличие нефтегазоносных запасов в данной части месторождения без необходимости дополнительных затрат и времени на строительство специальной насыпной площадки. Опыт бурения наклонно-направленной скважины с искривленным стволом на месторождении Северный Готурдепе в Туркменистане дает возможность упростить и ускорить поисково-разведочные работы в акватории Каспийского моря. Эффективное использование существующих насыпных площадок значительно сократило финансовые затраты на геологоразведочные работы на месторождении Северный Готурдепе.

2. Бурение направленных скважин на месторождении, в котором отсутствует сейсморазведочное исследование, обеспечило увеличение значительной части месторождения в рамках поисково-разведочных операций. С точки зрения охраны экосистемы Каспийского моря использование кустового бурения направленных скважин с минимальным созданием новых островов приобретает особую важность.

3. Бурение наклонно-направленных скважин в Каспийском море позволяет эффективно извлекать углеводороды из различных точек месторождений, что важно в условиях сложной геологии. Рационализация процессов бурения с учетом направленности скважины способствует повышению общей производительности и уменьшению временных задержек. Этот подход не только увеличивает добычу энергоресурсов, но также способствует устойчивости производства и повышению экономической эффективности. Развитие технологий, таких как использование современных систем навигации и контроля, дополняет процесс бурения, обеспечивая точность и безопасность.

4. Бурение в акватории Каспийского моря в Туркменистане становится важным компонентом стратегии страны в области энергетики, и эффективное использование наклонно-направленных разведочных скважин отражает постоянное стремление к инновациям и улучшению технологий в нефтегазовой отрасли.

5. Необходимо продолжить дополнительно изучать влияние на окружающую среду и экосистемы процессов бурения наклонно-направленных скважин в акватории Каспийского моря в Туркменистане с целью разработки более экологически устойчивых и социально ответственных подходов к добыче энергоресурсов.

6. Выводы по бурению наклонно-направленной разведочной скважины в акватории Каспийского моря в Туркменистане имеют важное стратегическое значение этого подхода для добычи углеводородов в регионе. Туркменистан, обладая обширными запасами нефти и газа, активно внедряет инновационные методы бурения для максимизации эффективности добычи.

Список литературы / References

1. Гелдимырадов А.Г. Определение параметров пласта на основании исследований кривой изменения давления в условиях газовых скважин Туркменистана. В: *Наука, общество, технологии: проблемы и перспективы взаимодействия в современном мире*. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Петрозаводск, 17 февраля 2022 г. Петрозаводск: МЦНП «Новая Наука»; 2022. С. 150–163. https://doi.org/10.46916/21022022-1-978-5-00174-478-8
Geldimyradov A.G. Determination of formation parameters based on studies of pressure change curve under conditions of gas wells of Turkmenistan. *In: Science, Society, Technology: Problems and Prospects for Interaction in the Modern World.* Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. Petrozavodsk, February 17, 2022. Petrozavodsk: International Center for Scientific Partnership "Novaya Nauka"; 2022. Pp. 150-163. (In Russ.) https://doi.org/10.46916/21022022-1-978-5-00174-478-8
2. Пулатов Б.Р. Технологические аспекты и возникающие осложнения при бурении скважин в рапоносных зонах. *Инновации в нефтегазовой отрасли*. 2021;2(3):103–114. URL: https://tadqiqot.uz/index.php/petroleum/article/view/4232/4015
Pulatov B.R. Technological aspects and emerging complications when drilling wells in rapiferous zones. *Innovation in the Oil and Gas Industry.* 2021;2(3):103–114. (In Russ.) URL: https://tadqiqot.uz/index.php/petroleum/article/view/4232/4015
3. Холбаев Б.М., Мухаммадиев Ш.Ш. Выбор типа бурового раствора для бурения скважин. *Innovative Development in Educational Activities*. 2023;2(8):684–686.
Kholbaev B.M., & Muhammadiev Sh.Sh. (2023). Selection of the type of drilling fluid for drilling wells. *Innovative Development in Educational Activities.* 2023;2(8):684–686. (In Russ.)
4. Деряев А.Р. Особенности бурения наклонно направленных глубоких скважин в Туркменистане. *Нефтяное хозяйство.* 2024;(2):43–47. https://doi.org/10.24887/0028-2448-2024-2-43-47
Deryaev A. Features of the construction of directional deep wells in Turkmenistan. *Neftyanoe Khozyaystvo* 2024;(2):43–47. (In Russ.) https://doi.org/10.24887/0028-2448-2024-2-43-47
5. Аманниязов Я., Нурлыев Б., Акмухаммедов М. Буровые растворы. Их роль в процессе бурения. В: *Современные задачи и перспективные направления инновационного развития науки*. Сборник статей по итогам международной научно-практической конференции. Иркутск, 09 февраля 2023 г. Стерлитамак: АМИ; 2023. С. 87–88. URL: https://ami.im/sbornik/MNPK-458.pdf#page=87
Amanniyazov Y., Nurlyev B., Akmukhammedov M. Drilling fluids. Their role in the drilling process. In: *Modern Tasks and Promising Directions for Innovative Development in Science.* Collection of articles based on the results of an international scientific and practical conference. Irkutsk, February 09, 2023. Sterlitamak: AMI; 2023. Pp. 87–88. (In Russ.) URL: https://ami.im/sbornik/MNPK-458.pdf#page=87
6. Гельдиев Ш., Овезмаммедов Б. Анализ и выявление факторов, определяющих влияние развития топливно-энергетического комплекса на развитие Туркменистана. In: *Science Innovations – 2022*. Сборник статей международной научно-практической конференции. Петрозаводск, 31 октября 2022 г. Петрозаводск: МЦНП «Новая Наука»; 2022. С. 46–50.
Geldiev Sh., Ovezmammedov B. Analysis and identification of factors of the impact of the development of the fuel and energy complex on the development of Turkmenistan. In: *Science Innovations – 2022.* Collection of articles of the international scientific and practical conference. Petrozavodsk, October 31, 2022. Petrozavodsk: International Center for Scientific Partnership "Novaya Nauka"; 2022. (In Russ.)
7. Bashir B., Piaskowy M., Alusta G. Overview on directional drilling wells. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.* 2021;16(22):2305–2316.
8. Njuguna J., Siddique S., Kwroffie L.B. et al. The fate of waste drilling fluids from oil & gas industry activities in the exploration and production operations. *Waste Management*. 2022;139:362–380. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.025
9. Magana-Mora A., Affleck M., Ibrahim M. et al. Well control space out: A deep-learning approach for the optimization of drilling safety operations. *IEEE Access*. 2021;9:76479–76492. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3082661
10. Деряев А.Р. Бурение горизонтальных скважин в западном Туркменистане. *SOCAR Proceedings Special.* 2023;(2):32–40. https://doi.org/10.5510/OGP2023SI200877
Deryaev A.R. Drilling horizontal wells in Western Turkmenistan. *SOCAR Proceedings Special.* 2023;(2):32–40. (In Russ.) https://doi.org/10.5510/OGP2023SI200877
11. Деряев А.Р. Разработка конструкции скважин для многопластовых месторождений с целью одновременной раздельной эксплуатации одной скважиной. *SOCAR Proceedings Special.* 2022;(1):94–102. https://doi.org/10.5510/OGP20220100635
Deryaev A.R. Development of well design for multi-layer fields for the purpose of simultaneous separate operation of one well. *SOCAR Proceedings.* 2022;(1):94–102. https://doi.org/10.5510/OGP20220100635
12. Mohamed A., Salehi S., Ahmed R. Significance and complications of drilling fluid rheology in geothermal drilling: A review. *Geothermics*. 2021;93:102066. https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102066
13. Tewari S., Dwivedi U.D., Biswas S. Intelligent drilling of oil and gas wells using response surface methodology and artificial bee colony. *Sustainability*. 2021;13(4):1664. https://doi.org/10.3390/su13041664

14. Li Y., She L., Wen L., Zhang Q. Sensitivity analysis of drilling parameters in rock rotary drilling process based on orthogonal test method. *Engineering Geology*. 2020;270:105576. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105576
15. Sun J., Chen M., Li Q., et al. A new method for predicting formation lithology while drilling at horizontal well bit. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2021;196:107955. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107955
16. Fabre C. Advances in Laser-Induced Breakdown Spectroscopy analysis for geology: A critical review. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. 2020:166:105799. https://doi.org/10.1016/j.sab.2020.105799
17. Huque M.M., Rahman M.A., Zendehboudi S. et al. Experimental and numerical study of cuttings transport in inclined drilling operations. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2022;208:109394. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109394
18. Eren T., Suicmez V.S. Directional drilling positioning calculations. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2020;73:103081. https://doi.org/10.1016/j.jngse.2019.103081
19. Fang P., Yao K., Wang L. et al. Research on key technologies of the ZDY25000LDK intelligent directional drilling equipment. *Coal Geology & Exploration*. 2022;50(1):2. https://doi.org/10.12363/issn.1001-1986.21.10.0597
20. Li H., Wang H., Wang L., Zhou X. A modified Boltzmann Annealing Differential Evolution algorithm for inversion of directional resistivity logging-while-drilling measurements. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2020;188:106916. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.106916
21. Cao D., Hender D., Ariabod S. et al. The development and application of real-time deep learning models to drive directional drilling efficiency. In: *IADC/SPE International Drilling Conference and Exhibition*. Galveston, Texas, USA, March 3–5, 2020. https://doi.org/10.2118/199584-MS
22. Harris B.E., Lightstone M.F., Reitsma S. A numerical investigation into the use of directionally drilled wells for the extraction of geothermal energy from abandoned oil and gas wells. *Geothermics*. 2021;90:101994. https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101994
23. Ihnatov A., Koroviaka Y., Rastsvietaiev V., Tokar L. Development of the rational bottomhole assemblies of the directed well drilling. In: *E3S Web of Conferences. IV International Scientific and Technical Conference "Gas Hydrate Technologies: Global Trends, Challenges and Horizons" (GHT 2020)*. 2021;230:01016. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123001016

Информация об авторе

Аннагулы Реджепович Деряев – доктор технических наук, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский институт природного газа ГК «Туркменгаз», г. Ашгабат, Туркменистан; ORCID 0009-0004-8569-6277, Scopus ID 57929694600, ResearcherID HPB-6027-2023; e-mail annagulyderyayew@gmail.com

Information about the author

Annaguly R. Deryaev – Dr. Sci. (Eng.), Principal Researcher, Natural Gas Research Institute, Turkmengaz State Concern, Ashgabat, Turkmenistan; ORCID 0009-0004-8569-6277, Scopus ID 57929694600, ResearcherID HPB-6027-2023; e-mail annagulyderyayew@gmail.com

Поступила в редакцию	11.02.2024	**Received**	11.02.2024
Поступила после рецензирования	15.05.2024	**Revised**	15.05.2024
Принята к публикации	20.05.2024	**Accepted**	20.05.2024