

УДК 553.98
МРНТИ 52.47.19

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108806>

Получена: 12.12.2024.

Одобрена: 22.04.2025.

Опубликована: 30.06.2025.

Оригинальное исследование

Современные подходы к управлению неопределённостями при бурении горизонтальных скважин на примере опыта службы онлайн бурения ТОО «КМГ Инжиниринг»

Н.Н. Токсанов, Р.Б. Абуев, Б.Б. Тастанов, А.О. Сулейменова, Б.Т. Умралиев
КМГ Инжиниринг, г. Астана, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Бурение горизонтальных скважин в сложных геологических условиях сопровождается высокой степенью неопределённости, связанной с вариативностью физико-геологических свойств пород, структурными нарушениями и неточностями интерпретации данных. Для успешного достижения проектных целей требуется применение современных методов управления этими неопределённостями.

Цель. Анализ и обобщение практического опыта службы онлайн бурения ТОО «КМГ Инжиниринг» по применению технологий управления неопределённостями при бурении горизонтальных скважин с использованием комплексного подхода для повышения надежности и экономической целесообразности разработки нефтегазовых месторождений.

Материалы и методы. В работе рассмотрены основные источники неопределённостей при бурении. Проанализированы методы их минимизации, включая мониторинг в реальном времени, геонавигацию с применением стратиграфического метода, сейсмическое моделирование и инверсию удельного электрического сопротивления. Описано использование современных инструментов MWD/LWD, технологий дистанционного определения границ пластов и систем интеграции данных. Приведён практический опыт применения систем резервного хранения данных Solo Box и технологий искусственного интеллекта для автогеонавигации.

Результаты. Практический опыт показал, что комплексное применение передовых технологий позволяет оперативно выявлять расхождения между модельными ожиданиями и фактическими данными при бурении, своевременно адаптировать траекторию скважины и эффективно проводить ствол в пределах продуктивного горизонта. Это приводит к снижению технологических рисков, повышению качества строительства скважин и достижению проектных показателей.

Закключение. Комплексный подход к управлению неопределённостями, основанный на интеграции мониторинга, геонавигации, анализа данных и внедрения инновационных решений, значительно повышает эффективность бурения горизонтальных скважин в сложных геологических условиях. Представленные методы и технологии рекомендуются к применению для повышения надежности и экономической эффективности разработки нефтегазовых месторождений.

Ключевые слова: горизонтальные скважины, мониторинг в реальном времени, оптимизация траектории, геомеханическое моделирование, сейсмические модели.

Как цитировать:

Токсанов Н.Н., Абуев Р.Б., Тастанов Б.Б., и др. Современные подходы к управлению неопределённостями при бурении горизонтальных скважин на примере опыта службы онлайн бурения ТОО «КМГ Инжиниринг» // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. 2025. Том 7, №2. С. 9–20.
DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108806>.

UDC 553.98

CSCSTI 52.47.19

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108806>

Received: 12.12.2024.

Accepted: 22.04.2025.

Published: 30.06.2025.

Original article

Modern Approaches to Managing Uncertainty in Horizontal Well Drilling: A Case Study from the Remote Drilling Support Service of KMG Engineering LLP

Nurlan N. Toxanov, Ruslan B. Abuyev, Baurzhan B. Tastanov, Azat O. Suleymenova, Baurzhan T. Umraliyev

KMG Engineering, Astana, Kazakhstan

ABSTRACT

Background: Horizontal well drilling in geologically complex environments is inherently uncertain. These uncertainties stem from variability in formation properties, structural discontinuities, and limitations in data interpretation. Reaching project targets effectively requires the adoption of modern uncertainty management techniques.

Aim: First, analyze and summarize the practical experience of KMG Engineering's Remote Drilling Support Service in managing uncertainty during horizontal well drilling; and second, demonstrate how an integrated approach can improve the reliability and cost-effectiveness of oil and gas field development.

Materials and methods: The study identifies the main sources of uncertainty encountered during drilling and reviews methods for their mitigation, including real-time monitoring, geosteering using a stratigraphic method, seismic modeling, and resistivity inversion. It describes the use of advanced MWD/LWD tools, remote formation boundary detection technologies, and data integration systems. Field experience is also presented regarding the application of Solo Box backup data storage systems and artificial intelligence technologies for autonomous geosteering.

Results: Field experience demonstrates that the integrated use of advanced technologies enables engineers to quickly identify discrepancies between model expectations and real-time drilling data, make timely trajectory adjustments, and keep wellbore within the productive zone. As a result, this approach reduces operational risks, improves well construction quality, and supports the consistent achievement of project objectives.

Conclusion: An integrated approach to uncertainty management that combines real-time monitoring, geosteering, data analysis, and the innovative technologies significantly improves the efficiency of horizontal well drilling under complex geological conditions. Such an approach is recommended to increase both the reliability and cost-effectiveness of oil and gas field development.

Keywords: *horizontal wells; real-time monitoring; trajectory optimization; geomechanical modeling; seismic models.*

To cite this article:

Toksanov NN, Abuev RB, Tastanov BB, et al. Modern Approaches to Managing Uncertainty in Horizontal Well Drilling: A Case Study from the Remote Drilling Support Service of KMG Engineering LLP. *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. 2025;7(2):9–20. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108806>.

ӨОЖ 553.98

ГТАХР 52.47.19

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108806>

Қабылданды: 12.12.2024.

Мақұлданды: 22.04.2025.

Жарияланды: 30.06.2025.

Түпнұсқа зерттеу

«ҚМГ Инжиниринг» ЖШС онлайн бұрғылау қызметінің тәжірибесі мысалында көлденең ұңғымаларды бұрғылау кезіндегі белгісіздіктерді басқарудың заманауи тәсілдері

Н.Н. Тоқсанов, Р.Б. Абуев, Б.Б. Тастанов, А.О. Сүлейменова, Б.Т. Өмірәлиев

ҚМГ Инжиниринг, Астана қаласы, Қазақстан

АННОТАЦИЯ

Негіздеме. Күрделі геологиялық жағдайларда көлденең ұңғымаларды бұрғылау тау жыныстарының физикалық және геологиялық қасиеттерінің өзгергіштігіне, құрылымдық бұзылуларға және деректер интерпретациясындағы дәлсіздіктерге байланысты белгісіздіктердің жоғары деңгейімен бірге жүреді. Жобалау мақсаттарына сәтті жету үшін осы белгісіздіктерді басқарудың заманауи әдістерін қолдану қажет.

Мақсат. Көлденең ұңғымаларды бұрғылау кезінде белгісіздіктерді басқару технологияларын қолдану бойынша «ҚМГ Инжиниринг» ЖШС онлайн бұрғылау қызметінің практикалық тәжірибесін талдау және қорыту, сондай-ақ мұнай-газ кен орындарын игерудің сенімділігі мен экономикалық орындылығын арттыру үшін кешенді тәсілдің тиімділігін көрсету.

Материалдар мен әдістер. Жұмыста бұрғылау барысында кездесетін негізгі белгісіздік көздері қарастырылды. Оларды азайту әдістері, соның ішінде нақты уақыттағы мониторинг, стратиграфиялық әдіспен геонавигация, сейсмикалық модельдеу және меншікті электр кедергісін инверсиялау талданды. Заманауи MWD/LWD құралдарын, қабаттарды қашықтықтан анықтау технологияларын және деректерді біріктіру жүйелерін пайдалану сипатталады. Автогеонавигация үшін Solo Vox резервтік деректерді сақтау жүйелері мен жасанды интеллект технологияларын қолданудың практикалық тәжірибесі келтірілді.

Нәтижелер. Практикалық тәжірибе көрсеткендей, озық технологияларды кешенді қолдану бұрғылау кезінде модельдік күтулер мен нақты деректер арасындағы сәйкессіздіктерді жедел анықтауға, ұңғыманың траекториясын уақтылы бейімдеуге және оқпанды өнімді горизонт шегінде тиімді жүргізуге мүмкіндік береді. Бұл технологиялық тәуекелдерді төмендетуге, ұңғымаларды салу сапасының жоғарылауына және жобалық көрсеткіштерге қол жеткізуге әкеледі.

Қорытынды. Мониторингті, геонавигацияны, деректерді талдауды және инновациялық шешімдерді енгізуді біріктіруге негізделген белгісіздіктерді басқарудың кешенді тәсілі күрделі геологиялық жағдайларда көлденең ұңғымаларды бұрғылау тиімділігін едәуір арттырады. Мұнай-газ кен орындарын игерудің сенімділігі мен экономикалық тиімділігін арттыру үшін ұсынылған әдістер мен технологияларды қолдану ұсынылады.

Негізгі сөздер: көлденең ұңғымалар, нақты уақыттағы мониторинг, траекторияны оңтайландыру, геомеханикалық модельдеу, сейсмикалық модельдер.

Дәйексөз келтіру үшін:

Тоқсанов Н.Н., Абуев Р.Б., Тастанов Б.Б., және т.б. «ҚМГ Инжиниринг» ЖШС онлайн бұрғылау қызметінің тәжірибесі мысалында көлденең ұңғымаларды бұрғылау кезіндегі белгісіздіктерді басқарудың заманауи тәсілдері // Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы. 2025. 7 том, №2. 9–20 б. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108806>.

Введение

Бурение горизонтальных скважин (далее – ГС) в последние годы стало одним из ключевых направлений развития нефтегазовой индустрии, что обусловлено его значительным потенциалом для повышения эффективности добычи углеводородов. ГС обеспечивают более широкий контакт с продуктивными пластами, что позволяет увеличивать объёмы извлекаемой нефти и снижать затраты на бурение. Внедрение передовых технологий на всех этапах процесса – от планирования и моделирования до мониторинга и контроля в реальном времени – позволяет достигать высокой точности и оптимизации при бурении, что, в свою очередь, способствует повышению экономической эффективности.

Несмотря на развитость технологий в данной сфере, остаётся существенная доля неопределённости в процессе бурения. Сложные геологические условия, неравномерность строения пластов и различные физико-химические характеристики пород могут приводить к отклонениям от запланированной траектории и изменению параметров бурения. Эти факторы могут оказывать как положительное,

так и отрицательное влияние на конечный результат.

В условиях неопределённости технологическая поддержка и постоянный мониторинг становятся ключевыми элементами для адаптации процесса бурения к изменениям в реальном времени и минимизации рисков. В данной статье предлагается рассмотреть источники и характер неопределённостей на примере опыта работы службы онлайн бурения (далее – СОБ) ТОО «КМГ Инжиниринг», а также обсудить подходы к их управлению для повышения эффективности бурения и доведения скважины до проектной цели.

Изучение данных перед началом бурения ГС

Перед бурением ГС необходимо провести анализ всех имеющихся геолого-геофизических данных для точного определения структуры пласта и его свойств. Это позволяет спроектировать оптимальную траекторию и выбрать соответствующее буровое оборудование.

Ошибки в выборе точки заложения могут привести к вскрытию малопродуктивных

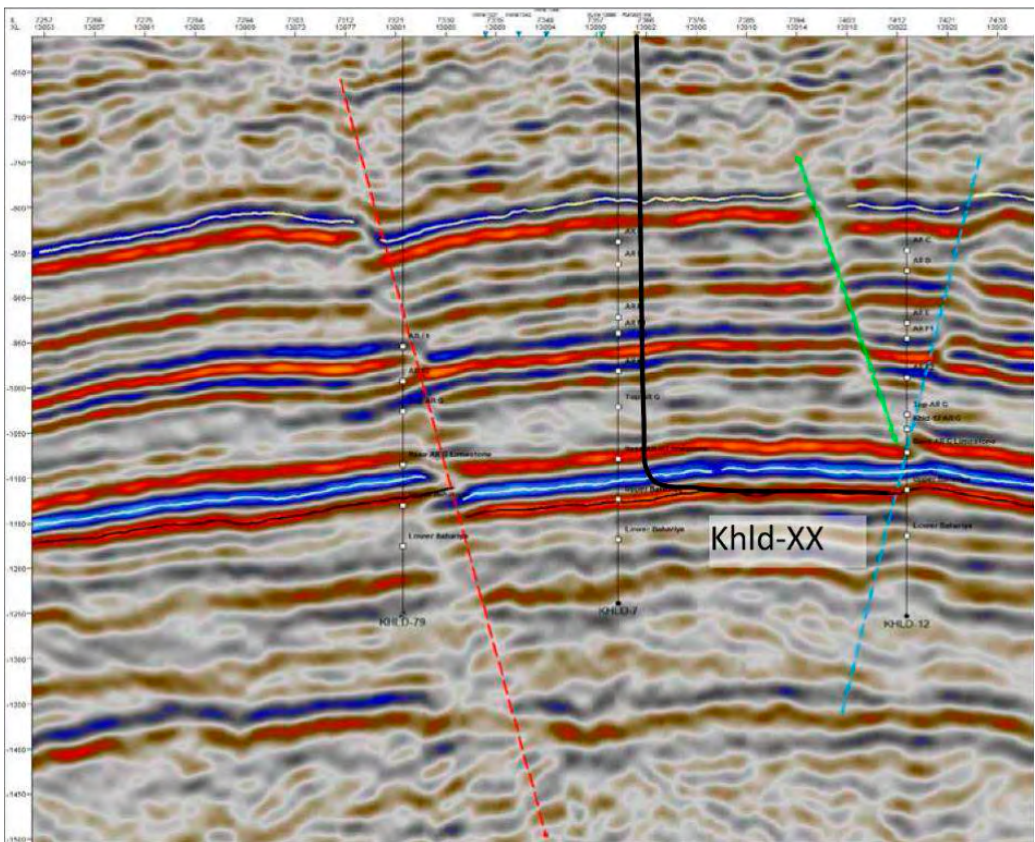


Рисунок 1. Пример сейсмического разреза с данными о положении тектонического нарушения, расположении близлежащих опорных скважин и траектории бурения [1]

Figure 1. Example of a seismic section showing a fault, nearby reference wells, and the planned well trajectory [1]

зон, снижая дебит и рентабельность. Для минимизации рисков учитываются сейсмические разрезы, данные геофизических исследований, упругие свойства пород и коротажные данные ближайших скважин.

Сейсмические модели и разбуренность участка

Сейсмическое моделирование значительно увеличивает шансы на успешное бурение горизонтальных скважин, обеспечивая подробное понимание геологических особенностей пласта уже на этапе планирования. Трёхмерные сейсмические модели позволяют визуализировать подповерхностные структуры с относительной точностью, что обеспечивает обоснованный выбор траектории бурения, выявление потенциальных геологических рисков и определение продуктивных зон [1].

На рис. 1 показан пример сейсмического разреза с тектоническими нарушениями. Он позволяет детально проанализировать стратиграфическое и тектоническое строение изучаемого участка, выявить зоны разломов, флексур и других структурных нарушений, которые могут оказывать влияние на проектирование и проведение буровых работ.

Основное назначение сейсмического разреза заключается в определении мощности и глубины залегания осадочных комплексов, а также в идентификации перспективных коллекторов углеводородов. Анализ амплитудных характеристик отражённых волн и скорости их распространения даёт возможность дифференцировать литологический состав пород и прогнозировать возможные флюидонасыщенные зоны [2].

Кроме того, сейсмический разрез позволяет оценить тектоническую дислоцированность разреза, выявить зоны тектонических нарушений, что особенно важно при планировании траектории скважины для минимизации рисков осложнений при бурении. Использование данных сейсморазведки совместно с геофизическими и геологическими исследованиями значительно повышает точность прогноза геологического строения месторождения и способствует оптимальному выбору системы разработки [3].

Наиболее значимые аспекты применения сейсмических моделей включают:

- оптимизацию траектории бурения: интерпретация сейсмических профилей способствует определению характера залегания продуктивного пласта и является основой для определения траектории бурения;
- выявление геологических рисков: сейсмические профили позволяют определить зоны трещиноватости и тектонических нарушений. Данная информация учитывается при разработке мер по снижению рисков обвала и потерь бурового раствора во время бурения;
- оценку толщины и свойств продуктивного горизонта: качественная сейсмическая модель определяет распространение фильтрационно-ёмкостных свойств (далее – ФЕС) продуктивного пласта, что является критичным при построении траектории ГС.

Однако, несмотря на наличие сейсмической модели, относительно хорошей разбуренности участка и наличие богатой базы данных коротажей в районе бурения, в процессе сопровождения бурения ГС сотрудники СОБ неоднократно сталкивались с несоответствием

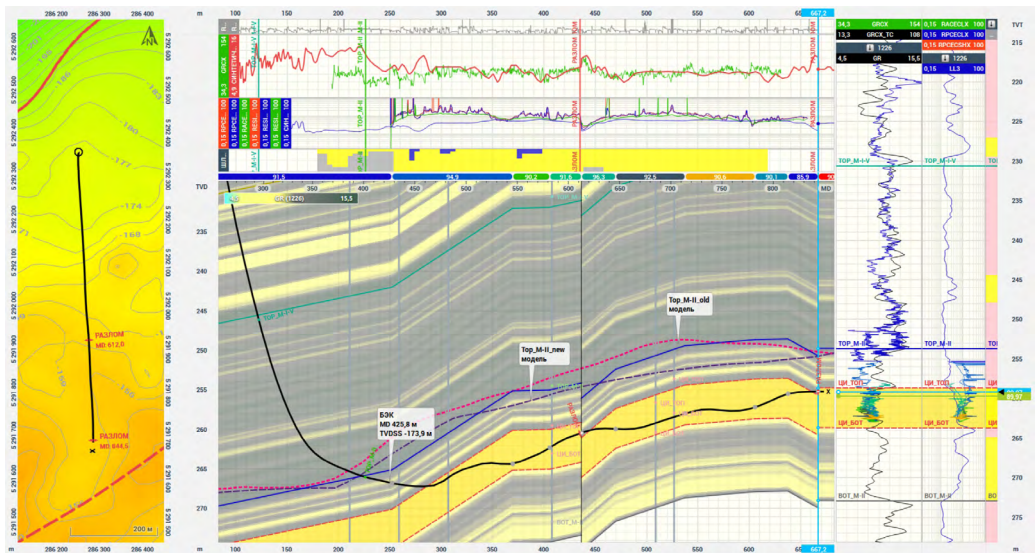


Рисунок 2. Пример малоамплитудного разлома, не отмеченного на сейсмике. Обзор в программном продукте StarSteer
Figure 2. Example of a low-amplitude fault not identified in seismic data. Visualization in the StarSteer software

модельных данных с фактическими. К примеру, в ходе сопровождения ГС фиксировались малоамплитудные разломы, которые, несмотря на свое влияние, не отображаются на сейсмических профилях месторождения (рис. 2).

Основные разломные нарушения, идентифицированные на основе сейсмических данных, обозначены красными линиями. В процессе геонавигации горизонтального участка скважины были зафиксированы два малоамплитудных разлома на глубинах 612 и 844,5 м, что создавало дополнительные сложности при проведении ствола в пределах целевого интервала. В результате разломных нарушений суммарные потери по продуктивному коллектору составили 23 м.

Данные разломы существенно осложняют удержание ствола скважины в пределах целевого интервала, особенно когда его вертикальная мощность не превышает 5–7 м. Такие тектонические нарушения сложно обнаружить на этапе подготовки, т.к. сейсмическое картирование охватывает преимущественно высокоамплитудные разломы, влияющие на несколько продуктивных горизонтов. Данные ограничения связаны с затуханием сигнала при наличии шумов и многократном отражении, что снижает разрешающую способность для выявления локальных нарушений.

В ходе геонавигационного сопровождения бурения ГС, осуществляемого сотрудниками СОБ, было установлено, что в случаях, когда разломные нарушения подтверждены сейсмической моделью, их влияние на траекторию скважины требует дополнительного анализа. Для этого необходимо провести детальное исследование корреляции каротажных данных ближайших опорных скважин с целью уточнения кинематического

типа разлома (сброс, взброс, сдвиг и др.). На примере бурения ГС (рис. 3) зафиксировано пересечение разлома, наличие которого подтверждено сейсмической моделью.

Предварительное изучение каротажных данных опорных скважин не выявило значительных отклонений в абсолютных отметках целевого интервала. Тем не менее вскрытие разлома продемонстрировало выполаживание структуры в его пределах. Дополнительно, анализ результатов после завершения бурения указал на неоднородность пород, вероятно, обусловленную обрушением в зоне разлома.

Другой пример касается ситуации, когда наблюдается неподтверждение модельной структуры (рис. 4). Здесь представлена геонавигационная модель ГС на одном из месторождений дочерней организации АО НК «КазМунайГаз» (далее – ДЗО КМГ). В связи с тем, что фактическое залегание пород по направлению бурения может не соответствовать геологической модели, зачастую принимаются решения об отходе от планового профиля для удержания ствола скважины в зоне с повышенным ФЭС. Таким образом, ближе к финальному забою ствол скважины пересёк малоамплитудный локальный разлом, который не картировался по данным сейсмике. Как следствие, ствол скважины оказался в надкоровельной зоне целевого интервала. Для возврата в зону коллектора была дана рекомендация на отход от планового профиля посредством сброса зенитного угла, и данные телеметрии подтвердили правильность выданной рекомендации – ствол скважины вернулся в зону с повышенными ФЭС.

Интеграция сейсмического моделирования с каротажными данными и данными о разбурен-

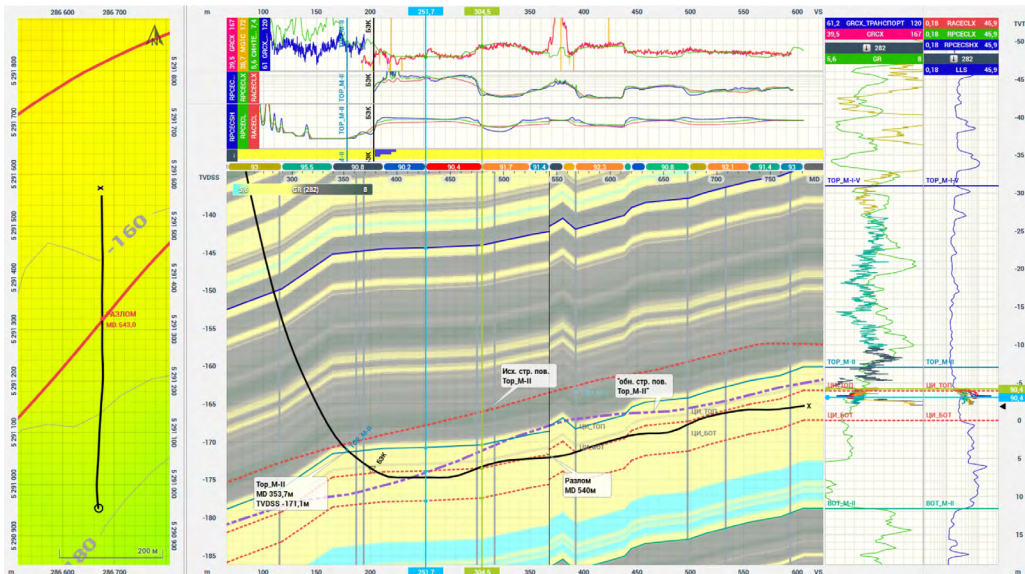


Рисунок 3. Пример геологического разреза с подтверждённым сейсмическим разломом
Figure 3. Example of a geological section with a fault confirmed by seismic data

ности дают более целостное представление о подповерхностной структуре, что существенно повышает шансы на эффективное и безопасное бурение. Однако, несмотря на качество и объем обладаемой информации об участке предполагаемого бурения, важно сопоставлять моделируемые значения с данными, получаемыми в реальном времени.

Опыт применения СОБ стратиграфического метода геонавигации

Стратиграфический метод – это современный и передовой подход, активно развивавшийся на фоне бурного роста добычи сланцевой

нефти в Северной Америке в начале 2000-х гг. При его применении в геонавигации используется опорная скважина, наиболее точно отражающая геологическое строение исследуемого района [4]. Реальные данные каротажа ГС преобразуются в стратиграфическую шкалу, что позволяет геологу сопоставлять кривые и создавать модель с углами наклона горизонтов и разломами. Процесс корректировки продолжается до достижения наилучшего совпадения кривых, при этом алгоритм автоматически обновляет геонавигационную модель.

На рис. 5 изображено применение стратиграфического метода на одной из скважин ДЗО КМГ.

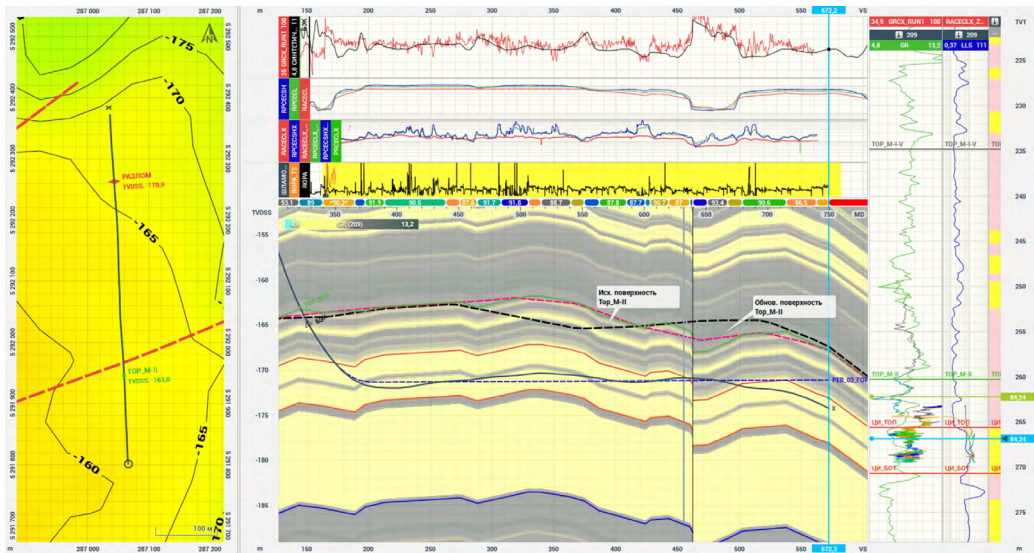


Рисунок 4. Пример неподтверждения модельной структуры целевого горизонта
Figure 4. Example of model structure mismatch at the target horizon

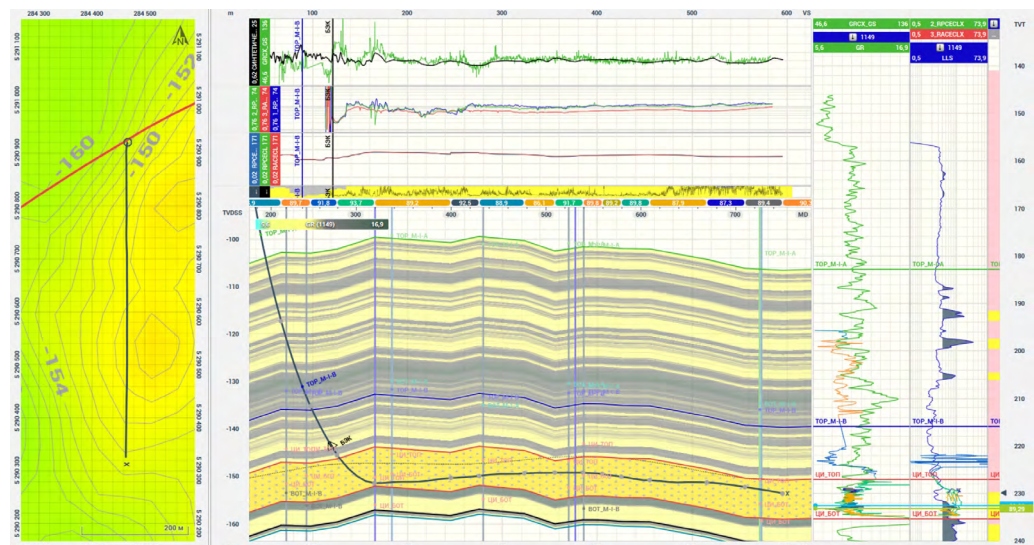


Рисунок 5. Использование стратиграфического метода при бурении скважин
Figure 5. Application of the stratigraphic method in well drilling

Использование передовых технологий во время бурения в условиях низкой изученности

В скважинах, где бурение проводится на слабоизученных участках с низкой степенью разбуренности, применяются дополнительные технологии MWD и LWD (англ. Measurement While Drilling – измерения во время бурения, Logging While Drilling – каротаж во время бурения) для повышения эффективности проходки, т.е. увеличения доли горизонтального участка, проведенного в пределах целевого интервала.

Одна из таких технологий связана с системой дистанционного определения границ пласта. Применение данной системы позволяет повысить продуктивность скважины на этапе бурения, значительно снижая риск выхода из целевого интервала, а также избежать последующей зарезки бокового ствола. Прибор, использующий принцип глубоких направленных электромагнитных измерений с большим радиусом исследования, способен картировать контраст-

ные границы пластов и флюидов на расстоянии до 6 м от ствола скважины. Таким образом, горизонтальный ствол может быть полностью проведен по наиболее продуктивному интервалу, даже если эта область имеет низкое сейсмическое разрешение, небольшую мощность и неопределенности по углу залегания.

На рис. 6 ниже отображен пример применения данной технологии при сопровождении бурения ГС в реальном времени на одном из месторождений ДЗО КМГ. Интерпретация полученных данных позволила определить расстояние до низкоомной границы выше ствола скважины, что соответствовало породам, находящимся над целевым интервалом. Таким образом, использование технологии инверсии удельного электрического сопротивления (далее – УЭС) позволило удержать ствол скважины в пределах коллектора с повышенными ФЕС [5].

При отсутствии таких дорогостоящих приборов для картирования границ пластов используется инверсия, основанная на доступных неазимутальных измерениях УЭС (рис. 7) [6].

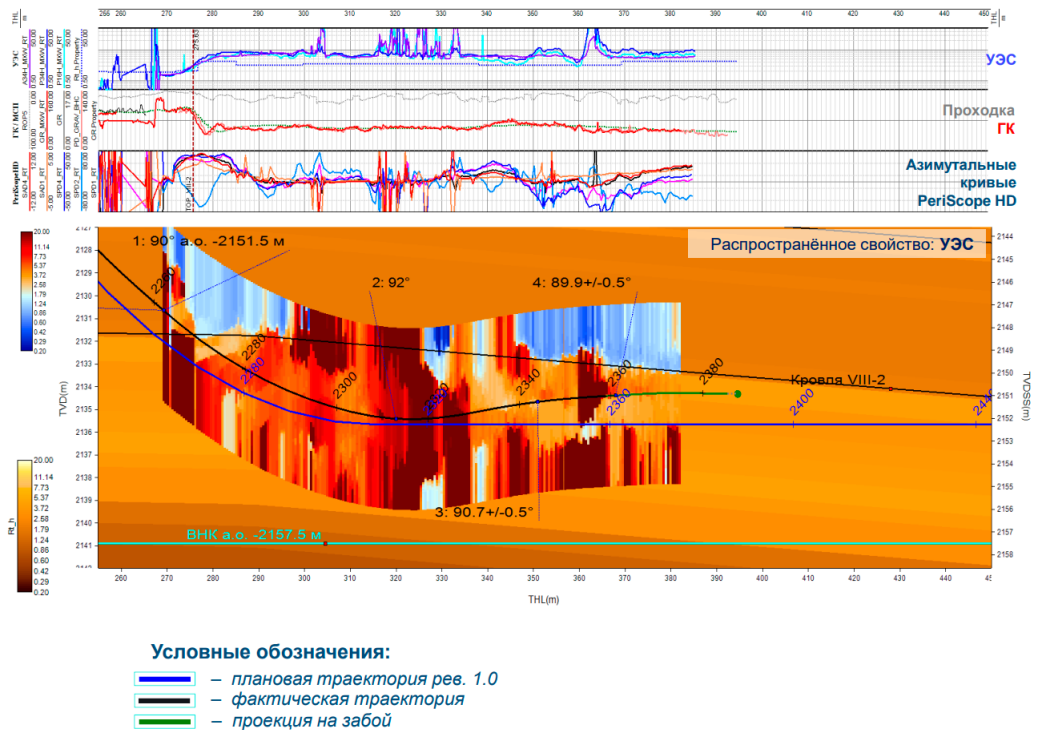


Рисунок 6. Пример применения технологии при сопровождении бурения ГС в реальном времени
Figure 6. Example of technology application for real-time horizontal well drilling support

На рынке имеются и другие технологии, применяемые при бурении горизонтальных скважин в реальном времени [7]. Такое LWD-оборудование, как гамма-гамма, нейтрон-нейтрон, ядерно-магнитный каротаж, имиджер предоставляют дополнительную информацию

о литологии, коллекторских свойствах и характере насыщения флюидами в зоне бурения [8]. Помимо того, что данные приборы снижают риски выхода из продуктивного горизонта, их использование влечёт за собой дополнительные затраты. В силу высокой стоимости оборудования и при-

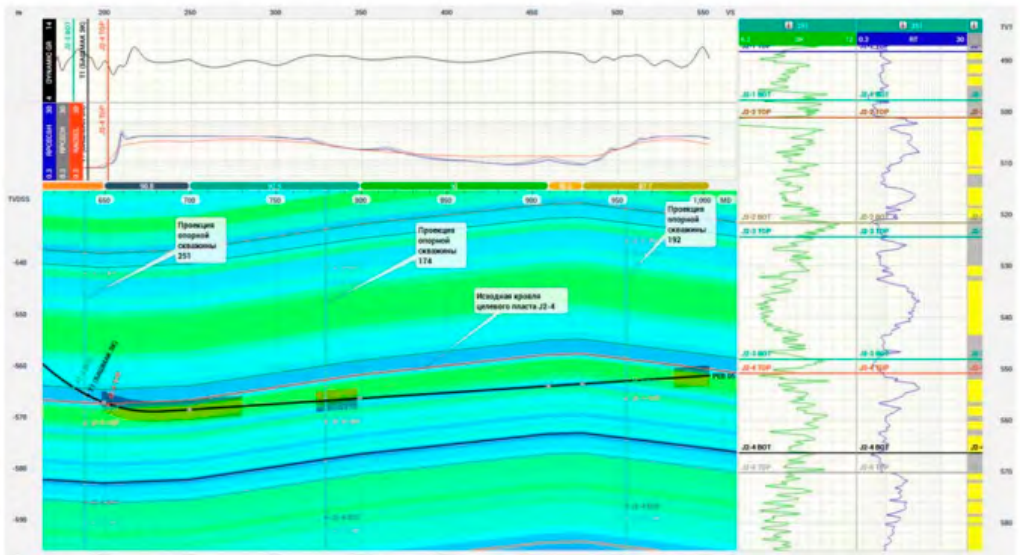


Рисунок 7. Геологический разрез на основе опорной скважины
Figure 7. Geological section based on a reference well

Разрез представлен распределением УЭС с визуализацией инверсии, выполненной по данным неазимутальных измерений. Тёмные цвета соответствуют зонам с повышенным сопротивлением.
 The section shows resistivity distribution and an inversion image derived from non-azimuthal measurements. Dark colors indicate zones of high resistivity.

боров, применяемых при бурении сложных скважин, необходимо проводить всесторонний и тщательный анализ для обеспечения успешности строительства скважин.

Очень перспективным направлением является применение искусственного интеллекта при бурении скважин. В настоящее время идёт развитие автогеонавигации при процессе проводки ГС [9].

Использование передовых технологий получения телеметрии, каротажей и данных геолого-технологических исследований

Для ряда существенных проблем, влияющих на ход бурения, помогает решение Solo Box, используемое сотрудниками СОБ (рис. 8).

Во время бурения случается ситуация, когда буровая установка временно теряет подклю-

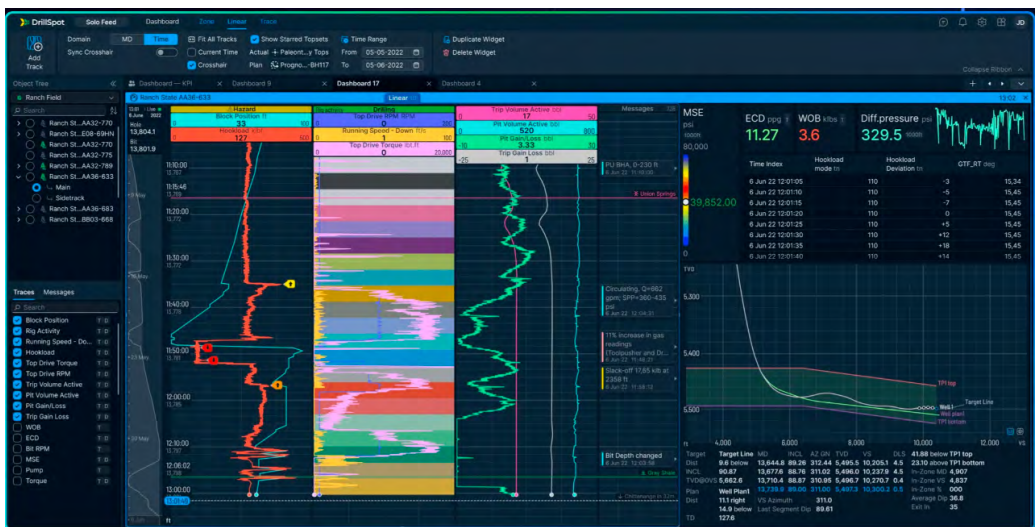


Рисунок 8. Данные передаются через Solo Box и обрабатываются в DrillSpot
Figure 8. Data transmitted via Solo Box and processed in DrillSpot

чение к интернету, или WITSML (*англ.* Wellsite Information Transfer Standard Markup Language – язык программирования стандарта передачи информации с буровой площадки) неожиданно отключается [10]. При этом теряются данные в реальном времени во время отключения. Благодаря Solo Vox сбои в работе интернета не приведут к потере данных, поскольку он собирает и хранит данные о буровых установках в своей локальной базе данных. Solo Vox оснащен режимом Auto Power On (автоматического режима включения питания), который автоматически включается после восстановления питания. Сохранённый и текущий потоки данных автоматически возобновляются после восстановления интернет-соединения [11].

Пороку каротажные диаграммы инструмента «Измерение во время бурения» (MWD) ошибочно отображаются в зависимости от глубины долота, или смещены на некорректное значение, или, что еще хуже, смещение динамически изменяется. Решение таково: Solo Vox имеет регулируемую настройку смещения для каждого журнала. При этом необходимо использовать правильное значение смещения к журналу и получить корректные значения Bit To Survey (долото до каротажа) и Bit To Gamma (долото до гамма-излучения). Более того, смещения могут применяться к параметрам, передаваемым из различных пакетов WITS.

Также Solo Vox позволяет исправлять и выравнивать неправильные данные каротажей при низком качестве получаемых данных, что очень важно при проведении геонавигации и буровых работ; с его помощью создаются легко

читаемые структуры данных и можно управлять данными с помощью одного простого в использовании веб-интерфейса непосредственно с офисного компьютера.

Кроме этого, Solo Vox может хранить неограниченное время всю информацию в облаке. Данные, полученные через Solo Vox, далее обрабатываются в приложениях Solo DrillSpot, StarLite и SoloFeed, которые дают возможность принять более оптимальные параметры управления стволом скважины.

Заключение

На основе полученного опыта по управлению пространственным положением ствола при бурении ГС сделаны следующие выводы:

1. Использование современных сейсмических моделей в сочетании с каротажными данными позволяет значительно повысить корректность прогноза геологического строения, снижая при этом риск выхода ствола скважины за пределы продуктивного горизонта.

2. Применение стратиграфического метода, а также современных технологий LWD и MWD позволяет своевременно выявлять границы пластов, уточнять литологический состав пород и снижать вероятность отклонения от проектной траектории.

3. Современные методы онлайн бурения и дистанционного мониторинга обеспечивают высокую эффективность в управлении пространственным положением ствола скважин, оперативное выявление геологических рисков и оптимизацию технологических параметров бурения в продуктивных интервалах.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Токсанов Н.Н. – разработка методологии исследования, обобщение полученных данных и формулирование основных выводов; Абуев Р.Б. – проведение аналитических расчётов, интерпретация результатов и участие в написании ключевых разделов статьи; Тастанов Б.Б. – сбор первичных данных, обработка каротажной информации и оформление иллюстративного материала; Сулейменова А.О. – литературный обзор по теме исследования, систематизация научных источников и редактирование текста; Умралиев Б.Т. – контроль качества данных, корректировка структуры статьи и согласование её окончательной версии для публикации.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. The greatest contribution is distributed as follows: Nurlan N. Toxanov – development of the research methodology, synthesis of the obtained data, and formulation of the main conclusions; Ruslan B. Abuyev – conducting analytical calculations, interpreting the results, and contributing to the writing of key sections of the paper; Baurzhan B. Tastanov – collection of primary data, processing of well log information, and preparation of illustrative material; Azat O. Suleymenova – literature review on the research topic, systematization of scientific sources, and text editing; Baurzhan T. Umrallyev – data quality control, revision of the paper structure, and approval of its final version for publication.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Di H., Gao D. 3D Seismic Flexure Analysis for Subsurface Fault Detection and Fracture Characterization // *Pure Appl. Geophys.* 2017. Vol. 174. P. 747–761. doi: [10.1007/s00024-016-1406-9](https://doi.org/10.1007/s00024-016-1406-9).
2. Lacaze S., Durot B., Devilliers A., Pauget F. Comprehensive Seismic Interpretation to Enhance Stratigraphy and Faults // 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF; July, 31 – August, 3, 2017; Rio de Janeiro, Brazil. Available from: https://sbgf.org.br/mysbgf/eventos/expanded_abstracts/15th_CISBGf/Comprehensive%20Seismic%20Interpretation%20to%20Enhance%20Stratigraphy%20and%20Faults%20.pdf.
3. Samakinde C., Van Bever Donker J., Durrheim R., Manzi M. Application of seismic stratigraphy in reservoir characterisation: a case study of the passive margin deposits of the northern Orange Basin, South Africa // *J Petrol Explor Prod Technol.* 2021. Vol. 11. P. 45–61. doi: [10.1007/s13202-020-01050-9](https://doi.org/10.1007/s13202-020-01050-9).
4. Hassan A., ElMeguid A.A., Waheed A., et al. Multistage Horizontal Well Hydraulic Fracturing Stimulation Using Coiled Tubing to Produce Marginal Reserves from Brownfield: Case Histories and Lessons Learned // SPE Middle East Unconventional Gas Conference and Exhibition; January 26–28, 2015; Muscat, Oman. Available from: <https://onepetro.org/SPEUGM/proceedings-abstract/15UGM/15UGM/D021S006R003/183228>.
5. Вербичкая Л.О., Шафикова Ю.Р., Муканов Е.М., и др. Комбинация стратиграфического метода геонавигации и картирования границ по методу инверсии удельного электрического сопротивления (УЭС) в условиях латеральной геологической изменчивости на примере продуктивного пласта К1не-2 месторождения С. Балгимбаев, Республика Казахстан // Горизонтальные скважины 2021. Проблемы и перспективы : Материалы 4-й научной конференции; Май 24–28, 2021; Астана, Россия. Доступ по ссылке: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.202154044>. Дата обращения: 13.11.2024.
6. Schlumberger. Каталог интерпретационных решений. Москва, 2017.
7. Сребродольская М.А., Федорова А.Ю., Фролов В.М. Исследование горизонтальных скважин азимутальными приборами // Западно-Сибирский нефтегазовый конгресс; Май 24–27, 2017; Тюмень, Россия.
8. Сребродольская М.А., Федорова А.Ю., Фролов В.М. Применение азимутальных приборов в процессе бурения горизонтальных скважин // Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России; Февраль 12–14, 2018; Москва, Россия.
9. Mukanov Ye.M., Chzhen I.V., Tagirov A.R., et al. Combined Usage of Different Geosteering Methods and Vendor Independent Bed Boundary Mapping in Complex Geological Environment on a Real-Life Example from West Kazakhstan // SPE Annual Caspian Technical Conference; October 5–7, 2021; Virtual. Available from: <https://onepetro.org/SPECTCE/proceedings-abstract/21CTC/21CTC/D012S013R009/470251>.
10. Denisenko I.D., Kuvaev I.A., Uvarov I.B. Automated Geosteering While Drilling Using Machine Learning. Case Studies // SPE Russian Petroleum Technology Conference; October 26–29, 2020; Virtual. Available from: <https://onepetro.org/SPERPTC/proceedings-abstract/20RPTC/20RPTC/D023S009R004/450156?redirectedFrom=PDF>.
11. rogi.com [интернет]. Агрегация данных в реальном времени [дата обращения 17.11.2024]. Доступ по ссылке: <https://www.rogi.com/products/solobox>.

REFERENCES

1. Di H, Gao D. 3D Seismic Flexure Analysis for Subsurface Fault Detection and Fracture Characterization. *Pure Appl. Geophys.* 2017;174:747–761. doi: [10.1007/s00024-016-1406-9](https://doi.org/10.1007/s00024-016-1406-9).
2. Lacaze S, Durot B, Devilliers A, Pauget F. Comprehensive Seismic Interpretation to Enhance Stratigraphy and Faults. 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF; 2017, Jul 31 – Aug 3; Rio de Janeiro, Brazil. Available from: https://sbgf.org.br/mysbgf/eventos/expanded_abstracts/15th_CISBGf/Comprehensive%20Seismic%20Interpretation%20to%20Enhance%20Stratigraphy%20and%20Faults%20.pdf.
3. Samakinde C, Van Bever Donker J, Durrheim R, Manzi M. Application of seismic stratigraphy in reservoir characterisation: a case study of the passive margin deposits of the northern Orange Basin, South Africa. *J Petrol Explor Prod Technol.* 2021;11:45–61. doi: [10.1007/s13202-020-01050-9](https://doi.org/10.1007/s13202-020-01050-9).
4. Hassan A, ElMeguid AA, Waheed A, et al. Multistage Horizontal Well Hydraulic Fracturing Stimulation Using Coiled Tubing to Produce Marginal Reserves from Brownfield: Case Histories and Lessons Learned. SPE Middle East Unconventional Gas Conference and Exhibition; 2015 Jan 26–28; Muscat, Oman. Available from: <https://onepetro.org/SPEUGM/proceedings-abstract/15UGM/15UGM/D021S006R003/183228>.
5. Verbitskaya LO, Shafikova YR, Mukanov EM, et al. Combination of strat-based modeling & distance to boundary (inversion) methods implementation in geologically complex formation K1ne-2 of Balgimbaev oil field, Kazakhstan. *Horizontal Wells 2021*; 2021 May 24–28; Astrakhan, Russia. Available from: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.202154044>.
6. Schlumberger. *Katalog interpretatsionnykh resheniy.* Moscow; 2017. (In Russ).
7. Srebrodolskaya MA, Fyodorova AY, Frolov VM. Issledovaniye gorizontalnykh skvazhin azimutalnymi priborami. West Siberian Oil&Gas Congress; 2017 May 24–27; Tyumen, Russia.
8. Srebrodolskaya MA, Fyodorova AY, Frolov VM. Primeneniye azimutalnykh priborov v protsesse bureniya gorizontalnykh skvazhin. Aktualnyye problemy razvitiya neftegazovogo kompleksa Rossii; 2018 Feb 12–14; Moscow, Russia.
9. Mukanov YM, Chzhen IV, Tagirov AR. Combined Usage of Different Geosteering Methods and Vendor Independent Bed Boundary Mapping in Complex Geological Environment on a Real-Life Example from West Kazakhstan. SPE Annual Caspian Technical Conference; 2021 Oct 5–7; Virtual. Available from: <https://onepetro.org/SPECTCE/proceedings-abstract/21CTC/21CTC/D012S013R009/470251>.
10. Denisenko ID, Kuvaev IA, Uvarov IB. Automated Geosteering While Drilling Using Machine Learning. Case Studies. SPE Russian Petroleum Technology Conference; 2020 Oct 26–29; Virtual. Available from: <https://onepetro.org/SPERPTC/proceedings-abstract/20RPTC/20RPTC/D023S009R004/450156?redirectedFrom=PDF>.
11. rogi.com [Internet]. Real-Time Data Aggregation and Reimagined [cited 2024 Nov 17]. Available from: <https://www.rogi.com/products/solobox>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ***Токсанов Нурлан Нурпеисович**ORCID [0000-0003-3058-0168](https://orcid.org/0000-0003-3058-0168)e-mail: n.toxanov@kmge.kz.**Абуев Руслан Бахтыгереевич**ORCID [0009-0001-6860-7429](https://orcid.org/0009-0001-6860-7429)e-mail: r.abuyev@kmge.kz.**Тастанов Бауыржан Боранбайұлы**ORCID [0009-0002-5935-1422](https://orcid.org/0009-0002-5935-1422)e-mail: b.tastanov@kmge.kz.**Сулейменова Азат Оралбаевна**ORCID [0009-0002-9658-2510](https://orcid.org/0009-0002-9658-2510)e-mail: azat.suleymenova@kmge.kz.**Умралиев Бауржан Тажикенович**

докт. техн. наук

ORCID [0009-0000-9083-5308](https://orcid.org/0009-0000-9083-5308)e-mail: b.umraliyev@kmge.kz.**AUTHORS' INFO*****Nurlan N. Toxanov**ORCID [0000-0003-3058-0168](https://orcid.org/0000-0003-3058-0168)e-mail: n.toxanov@kmge.kz.**Ruslan B. Abuyev**ORCID [0009-0001-6860-7429](https://orcid.org/0009-0001-6860-7429)e-mail: r.abuyev@kmge.kz.**Baurzhan B. Tastanov**ORCID [0009-0002-5935-1422](https://orcid.org/0009-0002-5935-1422)e-mail: b.tastanov@kmge.kz.**Azat O. Suleymenova**ORCID [0009-0002-9658-2510](https://orcid.org/0009-0002-9658-2510)e-mail: azat.suleymenova@kmge.kz.**Baurzhan T. Umraliyev**

Doct. Sc. (Engineering)

ORCID [0009-0000-9083-5308](https://orcid.org/0009-0000-9083-5308)e-mail: b.umraliyev@kmge.kz.

*Автор, ответственный за переписку/Corresponding Author