СОПРОВОЖДЕНИЕ БУРЕНИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ СКВАЖИН НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ МЕТОДОВ ГЕОМЕХАНИКИ И ГЕОНАВИГАЦИИ

SUPPORT OF DRILLING HIGH-TECHNOLOGICAL WELLS BASED ON THE INTEGRATION OF GEOMECHANICS AND GEOSTEERING

С. И. Габитов
Salavat I. Gabitov

ООО «Газпромнефть
научно-технический центр»,
г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация

Gazpromneft-
Science&Technology Center LLC,
Saint-Petersburg,
Russian Federation

И. С. Чебышев
Igor S. Chebyshev

ООО «Газпромнефть
научно-технический центр»,
г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация

Gazpromneft-
Science&Technology Center LLC,
Saint-Petersburg,
Russian Federation

А. С. Гоцуляк
Andrey S. Gotsulyak

ООО «Газпромнефть
научно-технический центр»,
г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация

Gazpromneft-
Science&Technology Center LLC,
Saint-Petersburg,
Russian Federation

Р. В. Мухамадиев
Radik V. Mukhamadiev

ООО «Газпромнефть-ГЕО»,
г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация

Gazpromneft-GEO LLC,
Saint-Petersburg,
Russian Federation

В статье рассматривается интегрированный процесс сопровождения бурения высокотехнологичной скважины в режиме непрерывного мониторинга. Приведены данные ведущих нефтегазовых компаний по успешному применению комплексных решений при бурении скважин.

На начальном этапе процесса сопровождения строительства скважины представлены рекомендации по корректировке траектории скважины. В дальнейшем процессе сопровождения обновлялась геолого-геомеханическая модель на основе данных каротажа в процессе бурения, параметров бурения и наличия обвального шлама. В процессе бурения оценивалась степень очистки ствола, и по достижению проектного забоя проводился мониторинг значений эквивалентной циркуляционной плотности.

Выделено несколько возможных факторов, которые могут привести к осложнениям:

- высокий зенитный угол атаки при прохождении неустойчивого интервала, ухудшающий стабильность стенок скважины;
- возможное пересечение траекторией дизъюнктивного нарушения;
- наличие протяженных участков с зенитным углом 30-60°, которые наиболее проблематичны с точки зрения очистки ствола;
- плотность бурового раствора для поддержания стабильности ствола ограничивается минимальными значениями градиентами начала раскрытия трещин и гидроразрыва пласта.

Результатами исследований подтверждена эффективность интегрированного сопровождения бурения за счет экономии времени строительства и уменьшения непроизводительного времени.

Ключевые слова

геомеханическое сопровождение;
геомеханическое моделирование;
геонавигация; интегрированное
сопровождение; бурение;
высокотехнологичные скважины;
устойчивость стенок скважины;
степень очистки ствола;
обвальный шлам

The article provides an integrated process support of the drilling of a high-tech well in continuous monitoring mode. The data of leading oil and gas companies on the successful application of integrated solutions for well drilling are presented.

At the initial stage of maintenance, recommendations for adjusting the trajectory of a high-tech well were made. In the further maintenance process, the geological and geomechanical model was updated based on logging data during drilling, drilling parameters and the presence of landslide. In the process of drilling, the degree the hole-cleaning index of the well was evaluated and, upon reaching the design bottom, the equivalent circulation density values were monitored.

Several possible factors that can lead to complications are highlighted:

- high zenith angle of attack during the passage of an unstable interval, worsening the stability of the walls of the well;
- possible intersection with the trajectory of a disjunctive disorder;
- the presence of extended sections with an antiaircraft angle of 30-60°, which are most problematic from the point of view of cleaning the trunk;
- the density of the drilling fluid to maintain the stability of the bore is limited by the minimum values of the gradients of the beginning of the opening of cracks and hydraulic fracturing.

The efficiency of integrated drilling support has been confirmed by saving construction time and reducing non-productive time.

Введение

Бурение высокотехнологичных скважин часто связано с проявлением нестабильности стенок скважины, что усугубляется в случае пересечения скважиной системы естественными трещинами и разломами, где существует риск поглощения бурового раствора при превышении давления раскрытия трещин. Продолжительные участки стабилизации zenithных углов от 45° до 75° создают дополнительные осложнения при прохождении слабостойчивых интервалов [1]. В результате проявления нестабильности стенок скважины бурение сопровождается значительными осложнениями: затяжками, посадками, закупорками и прихватами. Во время обратной проработки, по причине невозможности свободного хождения инструмента, отмечаются закупорки. Как следствие — невозможность спуска приборов каротажа на кабеле/трубах, недоспуски обсадных колонн (ОК), поглощения бурового раствора. Существующие риски в процессе строительства скважины можно минимизировать, объединяя методы геонавигации и геомеханики при сопровождении бурения [2–4].

Основные задачи интегрированного сопровождения бурения в режиме 24/7 – это формирование мероприятий по предупреждению осложнений до начала процесса бурения скважины, оперативная корректировка параметров траектории в процессе бурения скважины, определение стратиграфического положения ствола в пласте, прогноз структуры

пласта, проведение инженерных расчетов всех операций, обновление геомеханической модели согласно данным, полученным во время бурения, указание опасных интервалов, формирование инженерных мероприятий, оптимизация параметров бурового раствора, т.е. обеспечение безаварийности процесса строительства скважины и оптимизации временных и финансовых ресурсов [5].

Мировой опыт показал, что применение комплексных технологий позволяет успешно бурить скважины с большим отходом от вертикали (БОВ).

Так, применение комплексных технологий позволяет успешно бурить скважины с БОВ на месторождении им. Ю. Корчагина в северной части шельфа Каспийского моря [6]. Проводимый геомеханический анализ позволяет обеспечить устойчивость стенок скважины в процессе бурения [7].

Применение комплексных системных решений позволило завершить бурение скважины на Ачимовские отложения Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения на 13 дней раньше запланированного срока без проявлений и потерь раствора [8]. В состав забойного комплекса были включены: прибор акустического широкополосного каротажа (АКШ), приборы плотностного (ГТК-п) и нейтронного (НК) каротажей. По данным АКШ, ГТК-п и НК, поступающих в режиме реального времени, рассчитывались упругие и прочностные свойства горных пород, на основании которых производился непрерывный

Key words

geomechanical support;
geomechanical modeling;
geosteering; integrated support;
drilling; high-tech wells;
wellbore stability; degree
of hole-cleaning index of a well;
landslide

расчет и прогноз устойчивости стенок скважины.

Опыт бурения, прикладная геомеханика и передовые технологии бурения были успешно применены для преодоления возникающих проблем и на зарубежных проектах [9, 10]. Так, например, на газовом месторождении Khuff, характеризующемся аномально высокими давлениями и температурами, использовался интегрированный подход для обеспечения успешного строительства скважин [11].

Опыт применения интегрированного подхода при сопровождении скважин

На площадке компании ООО «Газпром-нефть НТЦ» поддержка бурения скважин с БОВ также проводится в формате интегрированного геологического, технологического и геомеханического сопровождения. На одном из проектов, где ранее не применялся интегрированный подход, не получилось успешно реализовать строительство скважины. По достижению проектного забоя первого ствола скважины в процессе спускоподъемных операций (СПО), при подъеме с обратной проработкой, по причине отсутствия свободного хождения инструмента фиксировались скачки давления и момента. Подъем компоновки низа бурильной колонны (КНБК) осуществлялся с циркуляцией и вращением, фиксировались затяжки и закупорки, при дальнейшем подъеме зафиксировали снижение веса, давления и потери сигнала забойной телесистемы. Осложнения, связанные с неустойчивостью стенок ствола скважины, нарастали, что в итоге привело к слому бурильного инструмента. Было принято решение о ликвидации открытого ствола, срезке и бурении нового ствола. По достижению проектного забоя перебуренного ствола, фиксировались многочисленные затяжки, закупорки и скачки момента во время подъема с обратной проработкой. Во время промежуточных промывок наблюдался обвальная шлам до 50 % от общего объема, представленный аргиллитом размерами 7–25 мм (рисунок 1).

После полного подъема КНБК был начат спуск эксплуатационной колонны (ЭК). В процессе спуска были зафиксированы многочисленные посадки. В результате был произведен подъем ЭК в связи с непрохождением колонны. Попытки пройти интервал посадки с циркуляцией, в том числе с вращением колонны, к положительному результату не привели. Было принято решение о срезке и бурении нового ствола и применении интегриро-

Рисунок 1. Фотография шлама во время промывки: глина 50 %, обвальная аргиллит 50 %, обломки 7–25 мм

ванного подхода к формированию мероприятий по преодолению осложнений.

Интегрированный подход сопровождения бурения вызван необходимостью учета множества факторов, от которых зависит успех бурения:

- геологией — приразломные участки с неконсолированными трещиноватыми породами;
- траекторией скважины — наличие протяженных участков с зенитным углом 30–60°;
- выбором оптимальной плотности бурового раствора, обеспечивающей отсутствие притока пластовых флюидов, сохранение устойчивости стенок ствола и в то же время отсутствие поглощений;
- эффективностью очистки ствола скважины и наличием обвальной шлама на выходе;
- технологическими параметрами в процессе бурения и СПО.

На предбуровом этапе в процессе геомеханического сопровождения третьего ствола скважины выдавались рекомендации на обход предполагаемого дизъюнктивного нарушения. Предлагалось рассмотреть смещение точки входа в пласт «А» на северо-восток для максимально возможного отхода от выделенного нарушения, т.к. вероятное направление падения дизъюнктивного нарушения соответствовало направлению от северо-востока к юго-западу, и в случае, если нарушение продолжилось бы с увеличением глубины, то сохранялся бы высокий риск пересечения скважиной данного нарушения. По результатам анализа была принята к реализации траектория, которая позволяла обойти выделенное дизъюнктивное нарушение на расстоянии ~200 м (рисунок 2).

Рисунок 2. Положение траекторий пробуренных стволов относительно дизъюнктивного нарушения

В процессе бурения в режиме реального времени проводилось обновление геологической и геомеханической моделей на основании данных с прибора каротажа в процессе бурения (гамма-каротажа, нейтронно-плотностного каротажа, удельного электрического сопротивления) и данных прибора акустического каротажа, передаваемых в реальном времени через систему сбора и передачи информации.

Также велись отслеживание и анализ параметров режима бурения и случаев появления обвального шлама, выносимого на поверхность. На основании всех данных в режиме реального времени проводилось обновление модели устойчивости, формировались своевременные корректирующие мероприятия, оптимальные значения по плотности бурового раствора и пределы по ЭЦП.

Основные интервалы с осложнениями были приурочены к глинистым интервалам с градиентом обрушения $1,35\text{--}1,50\text{ г/см}^3$. При бурении секции 311,2 мм плановая плотность бурового раствора составляла $1,30\text{--}1,40\text{ г/см}^3$, согласно модели устойчивости, такая плотность обеспечивала стабильность ствола скважины, однако в интервалах 2100–2200 м, 2350–2410 м, 2520–2850 м, 2920–3260 м ожидалось слабоустойчивые породы, в которых возможны обрушения до 10 % от номинального диаметра ствола. По этой причине в вышеуказанных интервалах было рекомендовано

контролировать выход обвального шлама и, в случае появления признаков обвалообразования, производить дополнительный цикл промывки.

Расположение слабоустойчивых интервалов в разрезе уточнялось и корректировалось согласно геонавигационной привязке в процессе бурения (рисунок 3).

Службой геомеханического сопровождения было рекомендовано бурение секции с плотностью бурового раствора не менее $1,45\text{ г/см}^3$ для обеспечения устойчивости стенок. В интервале секции ЭК бурение велось с плотностью бурового раствора $1,44\text{--}1,45\text{ г/см}^3$, ЭЦП изменялась от 1,47 до $1,52\text{ г/см}^3$. В процессе бурения обвальный шлам не наблюдался, критических отклонений не отмечалось. На постоянной основе проводился анализ эффективности очистки ствола. Понимание эффективности очистки ствола также является одним из основных факторов предотвращения проблем при бурении [12–14]. В процессе бурения степень очистки ствола оценивалась не менее 75 %. На финальный забой степень очистки достигала 85 % (рисунок 4). За время проведения СПО эффективность очистки увеличилась с 85 % до 92 %.

Учитывая данные геомеханической модели, где процент обрушений ствола скважины достигает 5 % от номинального диаметра ствола при текущих параметрах бурового раствора, существовала необходимость

Рисунок 3. Геолого-геомеханическое сопровождение скважины

Рисунок 4. Анализ очистки ствола скважины в процессе бурения

дополнительной промывки скважины с целью очистки и обеспечения свободного хождения инструмента.

Промывка на проектном забое контролировалась путем мониторинга значений ЭЦП и анализом шлама на выходе. Данные ЭЦП по времени показали снижение значений, характерное для выхода волны шлама. По данным службы ГТИ, в этот период отмечался обильный выход шлама на поверхности. Была рекомендована дополнительная промывка на текущем забое не менее 1,5–2 ч до выхода второй волны шлама на поверхность.

При дополнительной промывке при мониторинге ЭЦП во времени отмечалось сниже-

ние ЭЦП через 49 мин после начала промывки, что свидетельствовало о выходе второй пачки шлама из скважины. Выход шлама на ситах был зафиксирован и коррелировался с интервалами падения ЭЦП в обоих случаях (рисунок 5).

Скорость СПО оказывает влияние на вероятность возникновения осложнений. Так, в интервалах каверн 2110–2205 м, 2330–2400 м, 2520–2845 м, 2930–3250 м рекомендовалось снижать скорость СПО, т.к. в кавернах возможно присутствие остаточного шлама, в результате прессования которого могут возникнуть посадки, закупорки, затяжки. Также

Рисунок 5. Изменение ЭЦП в зависимости от времени промывки перед подъемом

при спуске ОК рекомендовалось проходить данные интервалы с пониженной скоростью до 0,05 м/с.

Спуск ОК был проведен до плановой глубины. При этом в процессе спуска наблюда-

лись посадки. Следует отметить, что интервалы посадок и затяжек коррелировали с проблемными интервалами согласно модели устойчивости ствола скважины (рисунок 6).

Рисунок 6. Модель устойчивости транспортной секции 311,2 мм

Выводы

Особенностью рассматриваемой скважины является наличие протяженного (более 2000 м) участка с зенитным углом 30–60°, наиболее проблематичного с точки зрения очистки ствола скважины. Негативное влияние на стабильность стенок скважины оказы-

вает подъем с вращением бурового инструмента с циркуляцией, который проводится по причине отсутствия свободного хождения. Как следствие, наблюдаются скачки давления, скачки момента, затяжки и посадки. Для профилактики осложнений, связанных с неустойчивостью стенок, необходимо обеспечить

качественную очистку ствола скважины — подобрать такие параметры бурового раствора и операций в скважине, которые обеспечат стабильность стенок скважины и очистку ствола скважины от шлама, но при этом не приведут к поглощению бурового раствора.

В настоящее время выделяется несколько возможных факторов, которые могут привести к осложнениям:

- высокий зенитный угол атаки при прохождении неустойчивого интервала, ухудшающий стабильность стенок скважины;
- возможное пересечение траекторией дизъюнктивного нарушения;
- наличие протяженных участков с зенитным углом 30–60°, которые наиболее проблематичны с точки зрения очистки ствола;
- плотность бурового раствора для поддержания стабильности ствола ограничивается минимальными значениями градиентами начала раскрытия трещин и гидроразрыва пласта.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Aadnoy B.S., Chenevert M.E. Stability of Highly Inclined Boreholes (Includes Associated Papers 18596 and 18736) // SPE Drilling Engineering. 1987. Vol. 2. Issue 4. P. 333–337. DOI: 10.2118/16052-PA.
2. Каюров Н.К., Донцов Э.Н., Людиновец А.М., Гадзулин А.Э., Прохоршин А.С., Еремин В.Н., Коробейников А.Ю., Ульянов В.Н. Новосибирский НТЦ: Интегрированное техническое и технологическое сопровождение с применением геофизических и геомеханических исследований в процессе бурения в Нижневартовском районе // ROGTEC Российские нефтегазовые технологии. 2018. № 52. С. 100–109.
3. Торопецкий К.В., Каюров Н.К., Еремин В.Н., Лукьянов Э.Е., Ульянов В.Н., Шевцов Г.В. Технология сопровождения строительства скважин // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2017. № 12. С. 4–15.
4. Торопецкий К.В., Каюров Н.К., Ульянов В.Н., Борисов Г.А. Геомеханическое сопровождение бурения горизонтальной скважины в Восточной Сибири // ROGTEC Российские нефтегазовые технологии. 2017. № 48. С. 76–87.
5. Chettykbayeva K., Petrakov Y., Sobolev A., Tatur O., Zozulya A., Kalinin V., Miletsky M. The Strategic and Tactical Value of Geomechanics for Drilling Operational Excellence of ERD Well in Uzen Field // Russian Petroleum Technology: Materials of SPE Conference. Moscow, Russia. 2018. URL: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-191632-18RPTC-MS> (дата обращения: 19.01.2020). DOI: 10.2118/191632-18RPTC-MS.
6. Bogdanov S., Deliia S., Latsin D., Akhmetov M., Gagaev Y., Udodov A. Drilling World-Class ERD Wells in the North Caspian Sea // Russian Oil and Gas Exploration and Production Technical: Materials of SPE Conference and Exhibition. Moscow, Russia. 2012. URL: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-162099-MS> (дата обращения: 20.01.2020). DOI: 10.2118/162099-MS.

Таким образом, интеграция методов геомеханики и геонавигации при сопровождении бурения скважины с БОВ обеспечила успешное завершение строительства скважины. В процессе строительства скважины, основываясь на геолого-геомеханическом моделировании, были предприняты меры, направленные на снижение рисков осложнений, такие как:

- точное определение расположения слабобустойчивых интервалов в геологическом разрезе;
- отход от дизъюнктивных нарушений — пересмотр траектории;
- повышение плотности бурового раствора во всем интервале секции;
- оценка эффективности очистки ствола скважины;
- выполнение дополнительных промывок вне неустойчивых интервалов во время СПО.

[onepetro.org/conference-paper/SPE-162099-MS](https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-162099-MS) (дата обращения: 20.01.2020). DOI: 10.2118/162099-MS.

7. Valisevich A., Shtun S., Zvyagin V., Golenkin M., Sadykov L., Korelskiy E., Ocheretyanyy A., Khakov A., Golubtsov R. The Evolution of Geomechanics Application in the Korchagina Field, North Caspian Sea // Annual Caspian Technical Conference and Exhibition: Materials of SPE. Baku, Azerbaijan. 2015. URL: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-177401-MS> (дата обращения: 20.01.2020). DOI: 10.2118/177401-MS.

8. Dobrokhleb P., Ablav A., Chetverikov D., Zavarigin S., Inyushina A., Petrakov Y., Sobolev A., Zadvornov D., Tarasov O., Milushkin A., Milenkiy A., Grigoryev M., Sidorov D. Best Practice of Horizontal Well Construction Operations for the Challenging, High-Pressure Achimov Formation — Urengoyское Field // Russian Oil and Gas Exploration and Production Technical: Materials of SPE Conference and Exhibition. Moscow, Russia. 2014. URL: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-171265-MS> (дата обращения: 21.01.2020). DOI: 10.2118/171265-MS.

9. AlBahrani H., Al-Yami A. Drillstring Vibrations and Wellbore Quality: where Drillstring Design Meets Geomechanics // Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference: Materials of SPE. Abu Dhabi, UAE. 2018. URL: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-193253-MS> (дата обращения: 21.01.2020). DOI: 10.2118/193253-MS.

10. Hamid O., Qahtani A., Alamer S., Sherbeny W. Mitigating Wellbore Stability Risks through Geomechanical Solutions // Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference: Materials of SPE. Abu Dhabi, UAE. 2018. URL: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-192872-MS> (дата обращения: 21.01.2020). DOI: 10.2118/192872-MS.

11. Sajjad A., Khaqan K., Peter I. O., Azly A., Mujahed A., Anurag S.Y., Mohammad A.M. An Integrated Drilling and Geomechanics Approach Helps to Successfully Drill Wells along the Minimum Horizontal Stress Direction in Khuff Reservoirs // Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference: Materials of SPE. Abu Dhabi, UAE, 2014. URL: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-171755-MS> (дата обращения: 22.01.2020). DOI: 10.2118/171755-MS.

12. Al-Rubaii M., Gajbhiye R., Al-Yami A., Alshalan M., Al-Awami M. Automated Evaluation of Hole Cleaning Efficiency while Drilling Improves Rate of Penetration // International Petroleum Technology Conference: Materials of IPTC. Dhahran, Kingdom of Saudi Arabia, 2020. URL: <https://www.onepetro.org/conference-paper/IPTC-19809-MS> (дата обращения: 22.01.2020). DOI: 10.2523/IPTC-19809-MS.

13. Ford J.T., Peden J.M., Oyenein M.B., Gao E., Zarrouh R. Experimental Investigation of Drilled Cuttings Transport in Inclined Boreholes // Annual Technical Conference and Exhibition: Materials of SPE. New Orleans, Louisiana, USA, 1990. URL: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-20421-MS> (дата обращения: 23.01.2020). DOI: 10.2118/20421-MS.

14. Sifferman T.R., Becker T.E. Hole Cleaning in Full-Scale Inclined Wellbores // SPE Drilling Engineering. 1992. Vol. 7. P. 115–120. DOI: 10.2118/20422-PA.

REFERENCES

- Aadnoy B.S., Chenevert M.E. Stability of Highly Inclined Boreholes (Includes Associated Papers 18596 and 18736). *SPE Drilling Engineering*, 1987, Vol. 2, Issue 4, pp. 333–337. DOI: 10.2118/16052-PA.
- Kayurov N.K., Dontsov E.N., Lyudinovets A.M., Gadiulin A.E., Prokoshin A.S., Eremin V.N., Korobeinikov A.Yu., Ulyanov V.N. Novosibirskii NTTs: Integrirovannoe tekhnicheskoe i tekhnologicheskoe soprovozhdenie s primeneniem geofizicheskikh i geomekhanicheskikh issledovaniy v protsesse bureniya v Nizhnevartovskom raione [NNTC Research and Development Center: Integrated LWD, Mud Logging and Geomechanical Surveys while Drilling in the Nizhnevartovsk District]. *ROGTEC Rossiiskie neftegazovye tekhnologii — ROGTEC Oil and Gas Magazine*, 2018, No. 52, pp. 100–109. [in Russian].
- Toropetskii K.V., Kayurov N.K., Eremin V.N., Lukyanov E.E., Ulyanov V.N., Shevtsov G.V. Tekhnologiya soprovozhdeniya stroitel'stva skvazhin [Technology of Accommodation of Well Construction Maintenance]. *Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz' v neftyanoi promyshlennosti — Automation, Telemechanization and Communication in Oil Industry*, 2017, No. 12, pp. 4–15. [in Russian].
- Toropetskii K.V., Kayurov N.K., Ul'yanov V.N., Borisov G.A. Geomekhanicheskoe soprovozhdenie bureniya gorizontnoi skvazhiny v Vostochnoi Sibiri [Modeling Support for Horizontal Drilling in Eastern Siberia]. *ROGTEC Rossiiskie neftegazovye tekhnologii — ROGTEC Oil and Gas Magazine*, 2017, No. 48, pp. 76–87. [in Russian].
- Chettykbayeva K., Petrakov Y., Sobolev A., Tatur O., Zozulya A., Kalinin V., Miletsky M. The Strategic and Tactical Value of Geomechanics for Drilling Operational Excellence of ERD Well in Uzen Field. *Materials of SPE Conference «Russian Petroleum Technology»*. Moscow, Russia, 2018. Available at: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-191632-18RPTC-MS> (accessed 19.01.2020). DOI: 10.2118/191632-18RPTC-MS.
- Bogdanov S., Deliya S., Latsin D., Akhmetov M., Gagaev Y., Udodov A. Drilling World-Class ERD Wells in the North Caspian Sea. *Materials of SPE Conference and Exhibition «Russian Oil and Gas Exploration and Production Technical»*. Moscow, Russia, 2012. Available at: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-162099-MS> (accessed 20.01.2020). DOI: 10.2118/162099-MS.
- Valisevich A., Shtun S., Zvyagin V., Golenkin M., Sadykov L., Korelskiy E., Ocheretyanyy A., Khakov A., Golubtsov R. The Evolution of Geomechanics Application in the Korchagina Field, North Caspian Sea. *Materials of SPE «Annual Caspian Technical Conference and Exhibition»*. Baku, Azerbaijan, 2015. Available at: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-177401-MS> (accessed 20.01.2020). DOI: 10.2118/177401-MS.
- Dobrokhleb P., Ablaev A., Chetverikov D., Zavarigin S., Inyushina A., Petrakov Y., Sobolev A., Zadvornov D., Tarasov O., Milushkin A., Milenkiy A., Grigoryev M., Sidorov D. Best Practice of Horizontal Well Construction Operations for the Challenging, High-Pressure Achimov Formation — Urengoykskoe Field. *Materials of SPE Conference and Exhibition «Russian Oil and Gas Exploration and Production Technical»*. Moscow, Russia, 2014. Available at: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-171265-MS> (accessed 21.01.2020). DOI: 10.2118/171265-MS.
- AlBahrani H., Al-Yami A. Drillstring Vibrations and Wellbore Quality: where Drillstring Design Meets Geomechanics. *Materials of SPE «Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference»*. Abu Dhabi, UAE, 2018. Available at: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-193253-MS> (accessed 21.01.2020). DOI: 10.2118/193253-MS.
- Hamid O., Qahtani A., Alamer S., Sherbeny W. Mitigating Wellbore Stability Risks through Geomechanical Solutions. *Materials of SPE «Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference»*. Abu Dhabi, UAE, 2018. Available at: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-192872-MS> (accessed 21.01.2020). DOI: 10.2118/192872-MS.
- Sajjad A., Khaqan K., Peter I. O., Azly A., Mujahed A., Anurag S.Y., Mohammad A.M. An Integrated Drilling and Geomechanics Approach Helps to Successfully Drill Wells along the Minimum Horizontal Stress Direction in Khuff Reservoirs. *Materials of SPE «Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference»*. Abu Dhabi, UAE, 2014. Available at: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-171755-MS> (accessed 22.01.2020). DOI: 10.2118/171755-MS.
- Al-Rubaii M., Gajbhiye R., Al-Yami A., Alshalan M., Al-Awami M. Automated Evaluation of Hole Cleaning Efficiency while Drilling Improves Rate of Penetration. *Materials of IPTC «International Petroleum Technology Conference»*. Dhahran, Kingdom of Saudi Arabia, 2020. Available at: <https://www.onepetro.org/conference-paper/IPTC-19809-MS> (accessed 22.01.2020). DOI: 10.2523/IPTC-19809-MS.
- Ford J.T., Peden J.M., Oyenein M.B., Gao E., Zarrouh R. Experimental Investigation of Drilled Cuttings Transport in Inclined Boreholes. *Materials of SPE «Annual*

Technical Conference and Exhibition». New Orleans, Louisiana, USA, 1990. Available at: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-20421-MS> (accessed 23.01.2020). DOI: 10.2118/20421-MS.

14. Sifferman T.R., Becker T.E. Hole Cleaning in Full-Scale Inclined Wellbores. *SPE Drilling Engineering*, 1992, Vol. 7, pp. 115-120. DOI: 10.2118/20422-PA.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ ABOUT THE AUTHORS

Габитов Салават Илдарович, ведущий специалист, Центр управления бурением «ГеоНавигатор», ООО «Газпромнефть научно-технический центр», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Salavat I. Gabitov, Leading Specialist, Drilling Control Center «GeoNavigator», Gazpromneft-Science & Technology Center LLC, Saint-Petersburg, Russian Federation

e-mail: gsi94@yandex.ru, Gabitov.SI@gazpromneft-ntc.ru

Гоцуляк Андрей Сергеевич, главный специалист, Центр управления бурением «ГеоНавигатор», ООО «Газпромнефть научно-технический центр», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Andrey S. Gotsulyak, Chief Specialist, Drilling Control Center «GeoNavigator», Gazpromneft-Science & Technology Center LLC, Saint-Petersburg, Russian Federation

Чебышев Игорь Станиславович, главный специалист, Центр управления бурением «ГеоНавигатор», ООО «Газпромнефть научно-технический центр», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Igor S. Chebyshev, Chief Specialist, Drilling Control Center «GeoNavigator», Gazpromneft-Science & Technology Center LLC, Saint-Petersburg, Russian Federation

Мухамадиев Радик Вакилович, руководитель направления по геологическому сопровождению, ООО «Газпромнефть-ГЕО», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Radik V. Mukhamadiev, Discipline Head of Geological Modeling, Gazpromneft-GEO LLC, Saint-Petersburg, Russian Federation