



КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ГЕОДААННЫХ ВРЕМЕННОГО РЯДА ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОСЛОЖНЕНИЙ И АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ БУРЕНИИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

А.Н.Дмитриевский^{1,2}, Н.А.Еремин^{*1,2}, Е.А.Сафарова²,
Д.С.Филиппова², С.О.Бороздин¹

¹Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Россия;

²Институт проблем нефти и газа Российской Академии Наук (ИПНГ РАН), Москва, Россия

Qualitative Analysis of Time Series GeoData to Prevent Complications and Emergencies During Drilling of Oil and Gas Wells

A.N.Dmitrievsky^{1,2}, N.A.Eremin^{*1,2}, E.A.Safarova², D.S.Filippova², S.O.Borozdin¹

¹Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russia;

²Oil and Gas Research Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract

The purpose of the article is a systematic analysis of drilling data obtained from geological and technological measurement stations in real time, taking into account the geological characteristics of the area being drilled for further forecasting the possibility of complications and accidents during drilling and construction of oil and gas wells. Comprehensive analysis showed the lack of basic software for the recognition and prevention of complications and emergencies based on data obtained in real time. An equally important problem is the lack of reliable lithological and stratigraphic information on the description of sludge during geological and technological measurements. The list of geological and geophysical data required to solve the problem of preventing complications and accidents during the drilling of oil and gas wells has been determined. Geological and technological parameters along the wellbore depth obtained in real time were classified according to the degree of their applicability in machine learning methods.

Keywords:

Geological and technological research;
Prevention of accidents and troubles;
The formation of grooves in rocks;
Geological features; Sticking;
Artificial intelligence;
Automated system;
True vertical depth;
Well construction;
Data quality.

© 2020 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

Введение

Освоение труднодоступных глубокозалегающих и сверхглубоководных морских месторождений нефти и газа характеризуются сложными геологическими условиями разработки и необходимостью строительства высокотехнологичных нефтегазовых скважин. Мировой опыт показывает, что строительство скважин сопровождается осложнениями различного вида и характера. Проведен анализ состояния проблемы предотвращения осложнений и аварийных ситуаций в процессе строительства нефтяных и газовых скважин. Показано, что при бурении и строительстве скважин в среднем 20-25% от времени строительства уходит на борьбу с осложнениями и авариями. Установлено, что основными видами осложнений являются: прихваты бурильной колонны в результате осыпей и обрушений неу-

стойчивых пород; поглощения бурового раствора, газонефтеводопроявления. Доля основных осложнений составляет более 85% от общего числа фиксируемых осложнений; при этом, в годовом балансе доля затрат на их устранение составляет от 5 до 25% от стоимости строительства скважин. Снижение непроизводительного времени за счет сокращения количества осложнений и аварий в процессе бурения скважин позволяет сэкономить значительные финансовые и материальные ресурсы предприятия, снизить экологические и репутационные риски, повысить безопасность персонала. Одним из ключевых показателей эффективности для буровых компаний является соотношение производительного и непроизводительного времени. Статистика показывает, что доля скрытого непроизводительного времени бурения в разных компаниях и регионах составляет от 5 до 20%.

Вопросы влияния геологических особенностей разбуриваемой площади на качество принима-

*E-mail: ermn@mail.ru

<http://dx.doi.org/10.5510/OGP20200300442>

емых решений, основанных на использовании автоматизированных систем бурения реального времени, привлекают внимание многих исследователей. В работах Эфендиева Г.М., Брауна Д.Ф. и других ученых рассмотрены вопросы качества информации, получаемой при бурении, изучены закономерности и распределения событий, которые сопровождают процесс, проведен кластерный анализ, позволяющий принимать решения во время осложнений. Для развития новых подходов по повышению качества предоставляемой информации со станций геолого-технологических измерений и ее практическому применению в процессе бурения предлагается внедрение систем прогнозирования осложнений и аварий на основе искусственного интеллекта [1-4]. Такого рода системы прогнозирования могут найти применения при цифровой модернизации нефтегазового производства и в роботизированных буровых комплексах [5-8]. Точность алгоритмов работы машинного обучения существенно зависит от качества входных данных. Геолого-технологические исследования (ГТИ или Surface Logging) — это интегрированные исследования, которые позволяют осуществлять как контроль за процессом бурения так и сбор геологической информации о вскрываемой горной породе. На станции ГТИ регистрируется информация, поступающая со всех этапов строительства скважины (проводка - крепление - заканчивание - освоение). Измерительные комплексы, входящие в состав станций ГТИ, служат для определения состава углеводородов в промысловой жидкости; литолого-минералогического состава; фильтрационно-емкостных свойств шлама и измерения параметров бурения. Технологические параметры режима бурения включают в себя нагрузку на долото, давление на забое, скорость проходки и вращения долота, крутящий момент, плотность, вязкость и расход бурового раствора. Ознакомление с геологическим строением месторождения и зонами возможных осложнений, а также четкое представление особенностей бурения литолого-стратиграфических горизонтов могут способствовать предупреждению наиболее распространенных видов аварий. Именно наличие точной информации об особенностях бурения на конкретной площади способствует наиболее верному прогнозированию буровой бригадой вероятности того или иного события, опираясь на данные для конкретного участка. Отмечена проблема в необходимости предварительной подготовки данных станции геолого-технологических измерений для их дальнейшего анализа [9-14]. Для работы с данными из различных источников необходимо привести их к единому стандарту (стандартизация) и следующим шагом нормализовать массив данных. Нормализацию технологических параметров станции геолого-технологических измерений необходимо проводить с учетом особенностей геологического разреза, характеристик скважины, бурового оборудова-

ния и бурового раствора. Применение разработанных критериев распознавания осложнений помогло отсеять некачественные данные, обучить нейросетевую модель и повысить точность работы алгоритмов прогнозирования.

Цифровизация процессов бурения

В настоящее время происходит цифровизация многих процессов бурения, что, в свою очередь, помогает применять знания бурового мастера для программирования нейросети, которая будет способствовать более эффективному предсказанию возможных аварий и осложнений, минимизировать влияние человеческого фактора, а значит и возможные потери, вплоть до полного их исключения. В последние годы отмечается отток высококвалифицированных специалистов со станций ГТИ из-за сокращения эксплуатационных затрат на бурение. Оператор ГТИ в силу человеческой природы не может выделять аномалии и скрытые закономерности по 160 регистрируемым параметрам в режиме реального времени. Технология нефтегазового блокчейна, используемая в автоматизированной системе, нацелена на повышение прозрачности и сохранности получаемых данных со станций ГТИ.

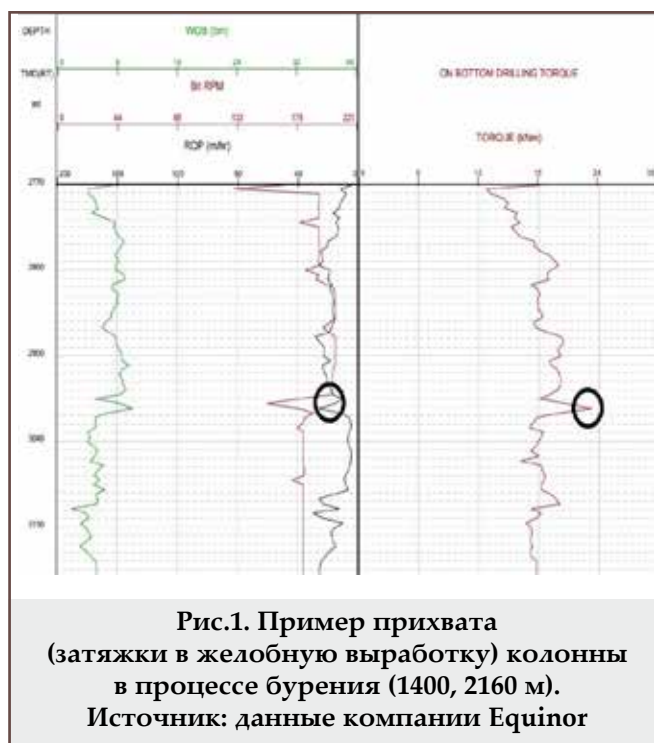
Нейросеть – это обучаемая система. Она действует не только в соответствии с заданным алгоритмом и формулами, но и на основании прошлого опыта. Из определения следует, что нейронную сеть после ее математического обоснования и программирования следует обучить, но тут-то и начинаются проблемы. Информация со станции ГТИ записывается с высокой частотой 50 Гц (50 записей в одну секунду), и представляется в современном формате WITSML (Wellsite Information Transfer Standard Markup Language). Для повышения качества прогнозирования осложнений в автоматизированной системе совместно интерпретируются данные ГТИ в масштабе глубин и времени по каждому рейсу. Информация по рейсам важна для учета влияния типоразмера долота и его износа на интерпретацию геолого-технологической информации. Качество регистрации, сбора, хранения и передачи данных зависит от уровня цифровизации, работоспособности, стабильности электропитания и обеспеченности ГТИ запасными частями. Необходима предварительная подготовка данных ГТИ до стадии нейросетевого моделирования. Обучать нейронную сеть на множестве выбитых или аномальных точек некорректно. Система, в таком случае, будет неверно предсказывать осложнения и аварии [10-18].

В рамках выполнения работ по соглашению с Министерством науки и высшего образования РФ по теме: «Разработка высокопроизводительной автоматизированной системы предотвращения осложнений и аварийных ситуаций в процессе строительства нефтяных и газовых скважин на основе постоянно действующих геолого-технологических моделей месторождений с

применением технологии искусственного интеллекта и индустриального блокчейна для снижения рисков проведения геолого-разведочных работ, в т.ч. на шельфовых проектах» проводилось изучение открытых данных из буровых журналов выведенного ранее из эксплуатации Норвежского нефтяного месторождения Volve в Северном море [19-21]. Доступные данные Volve содержали: эксплуатационные данные, данные проектирования скважин, проектирования колонны, сейсмические данные, каротажи скважин (петрофизические и буровые), геологические и стратиграфические данные. Из отчета по бурению получены основные характеристики скважины 15/9-F-4, пробуренной самоподъемной буровой установкой «Maersk Inspirer». Формация Hordaland (средний-поздний эоцен) на глубине 1062-2265 м представлена преимущественно глинистыми породами.

Для глинистых пород этой формации характерны желобообразование. На рисунке 1 отражено осложнение типа «Прихват» в виде затяжки в желобную выработку в формации Hordaland (средний-поздний эоцен).

Данное явление нередко надолго задерживает процесс углубления скважины, не позволяет довести скважину до проектной глубины, в исключительных случаях приводит к необходимости ликвидации. Желобные выработки образуются в результате одностороннего разрушения горной породы под действием усилий, прижимающих колонну труб к стенке скважины на участках искривления, преимущественно за счет истирания и резания замками бурильных труб. Механизмы и интенсивность этого процесса обусловлены геологическими и технологиче-



**Рис.1. Пример прихвата (затяжки в желобную выработку) колонны в процессе бурения (1400, 2160 м).
Источник: данные компании Equinor**

скими факторами. Геологическими факторами, относящимися к так называемой «неуправляемой» группе факторов, являются анизотропия, структура и текстура горных пород, углы наклона пластов [4]. Осложнения можно проследить по таблице параметров геолого-технологических измерений (рис.2). Из рисунка видно отсутствие газонефтеводопроявлений по колонке «Tot Gas».

Внедрение технологий искусственного интеллекта предполагает возможность лицам, принимающим решения, предоставить точную оперативную информацию с учетом скорости и

| Depth m | TVD m | ROP m/hr | WOB tons | Torque kNm | RPm rpm | SPP bar | Flow pumps l/mn | Tot Gas % | mW IN kg/l | D Exp |
|------------|----------|-------------|-------------|---------------|------------|------------|--------------------|--------------|---------------|---------------|
| 2135 | 2057.77 | 38.81 | 5.92 | 23.30 | 179 | 259.4 | 4455 | 0.28 | 1.40 | 0.69 |
| 2140 | 2062.72 | 36.75 | 5.73 | 22.66 | 179 | 259.6 | 4455 | 0.35 | 1.40 | 0.70 |
| 2145 | 2067.67 | 38.43 | 5.10 | 23.05 | 179 | 258.1 | 4455 | 0.36 | 1.39 | 0.68 |
| 2150 | 2072.62 | 26.79 | 3.09 | 20.28 | 157 | 221.1 | 3985 | 0.33 | 1.39 | 0.71 |
| 2155 | 2077.57 | 28.63 | 3.21 | 21.53 | 178 | 233.5 | 4149 | 0.20 | 1.39 | 0.66 |
| 2160 | 2082.52 | 28.65 | 1.09 | 28.47 | 179 | 242.8 | 4267 | 0.19 | 1.38 | 0.55 |
| 2165 | 2087.48 | 44.73 | 5.21 | 37.65 | 172 | 261.1 | 4456 | 0.18 | 1.39 | 0.66 |
| 2170 | 2092.43 | 43.76 | 5.06 | 37.61 | 170 | 261.8 | 4456 | 0.14 | 1.39 | 0.65 |
| 2175 | 2097.38 | 45.46 | 8.79 | 37.66 | 179 | 263.3 | 4456 | 0.21 | 1.39 | 0.74 |
| 2180 | 2102.33 | 46.68 | 8.53 | 38.42 | 179 | 264.9 | 4456 | 0.25 | 1.39 | 0.72 |
| 2185 | 2107.28 | 48.72 | 8.04 | 36.36 | 179 | 264.9 | 4456 | 0.23 | 1.39 | 0.71 |
| 2190 | 2112.23 | 47.93 | 8.08 | 37.15 | 179 | 264.6 | 4455 | 0.24 | 1.39 | 0.71 |
| 2195 | 2117.18 | 47.96 | 8.28 | 37.20 | 179 | 264.9 | 4455 | 0.25 | 1.39 | 0.71 |
| 2200 | 2122.13 | 47.79 | 8.37 | 37.35 | 179 | 265.1 | 4455 | 0.24 | 1.40 | 0.71 |
| 2205 | 2127.08 | 42.76 | 9.21 | 33.77 | 174 | 262.6 | 4435 | 0.18 | 1.39 | 0.82 |
| 2210 | 2132.03 | 52.15 | 9.64 | 36.46 | 179 | 223.1 | 3978 | 0.19 | 1.39 | 0.72 |
| 2215 | 2136.97 | 50.34 | 9.50 | 37.41 | 179 | 247.4 | 4262 | 0.23 | 1.40 | 0.73 |
| 2220 | 2141.91 | 48.59 | 9.56 | 37.29 | 179 | 266.1 | 4456 | 0.22 | 1.40 | 0.73 |
| 2225 | 2146.85 | 38.15 | 10.52 | 31.54 | 179 | 266.3 | 4456 | 0.21 | 1.40 | 0.81 |
| 2230 | 2151.78 | 34.00 | 11.19 | 23.78 | 178 | 264.8 | 4456 | 0.19 | 1.40 | 0.83 |
| 2235 | 2156.72 | 35.32 | 11.07 | 24.33 | 179 | 264.6 | 4455 | 0.24 | 1.40 | 0.82 |

Рис.2. Итоговая таблица отчета (пример затяжки в желобной выработке)

масштабов развития ситуации, наилучшими компетенциями бурового персонала и инженерным опытом строительства месторождений. При этом одним из инновационных направлений для нефтегазовых компаний является интеграция организационных, технических и технологических решений на основе интерпретации геологических и геофизических данных на площадке удаленной от строительства, применения широкого круга ИТ-инструментов для проактивного управления процессом бурения, создания современных интерактивных сред для удаленной инженерной коммуникации экспертов по различным направлениям в режиме реального времени. С целью оптимизации затрат и сокращения сроков строительства высокотехнологичных скважин по косвенным параметрам уточняется геологическая характеристика вмещающей толщи и принимается решение о корректировке траектории бурения, чтобы все время оставаться в границах нефтегазового пласта. Для этого используют датчики, передающие информацию об окружающей породообразующей толще с датчиков бурового оборудования в научно-технический центр. В ходе изучения вопросов информационного обеспечения при бурении и строительстве нефтяных и газовых скважин рассматривалась возможность создания и применения лабораторий и мобильных комплексов. Данное оборудование позволит получить информацию о составе и характеристиках горных пород. Риски возможных осложнений и аварийных ситуаций также периодически переоцениваются. Модель горного массива может

быть простой или сложной в зависимости от доступной информации и требований к скважине. Для создания сложной модели горного массива требуются десятки итераций входных данных и их увязка, т.е. используется любая предметная информация из буровых рапортов, каротажных диаграмм или данных сейсмического зондирования соседних скважин, данных трехмерной сейсмической съемки и структурной интерпретации [1]. Результирующая механическая модель горного массива состоит из границ пластов, разломов, констант упругости, направлений напряжений и их изменений с глубиной, прочности пород и распределения пластового давления (рис. 3).

Модель горного массива включает в себя информацию о свойствах породы и ее поведении и используется на всех этапах строительства скважины, включая проектирование траектории и мер по сохранению устойчивости ее ствола, подбор долот и прогноз пластового давления, спуск и цементирование обсадных колонн, проектирование мер по предотвращению выноса песка и интенсификации притока или приемистости [1].

Бурение скважины производится согласно установленному плану. В процессе бурения проводят сбор информации, интерпретируют полученные данные и используют в дальнейшем для корректировки процесса бурения, траектории ствола скважины или самой модели горного массива. В результате внесения корректировок и обновлений, проект бурения скважины перестает быть статическим и обретает жизненную динамику.

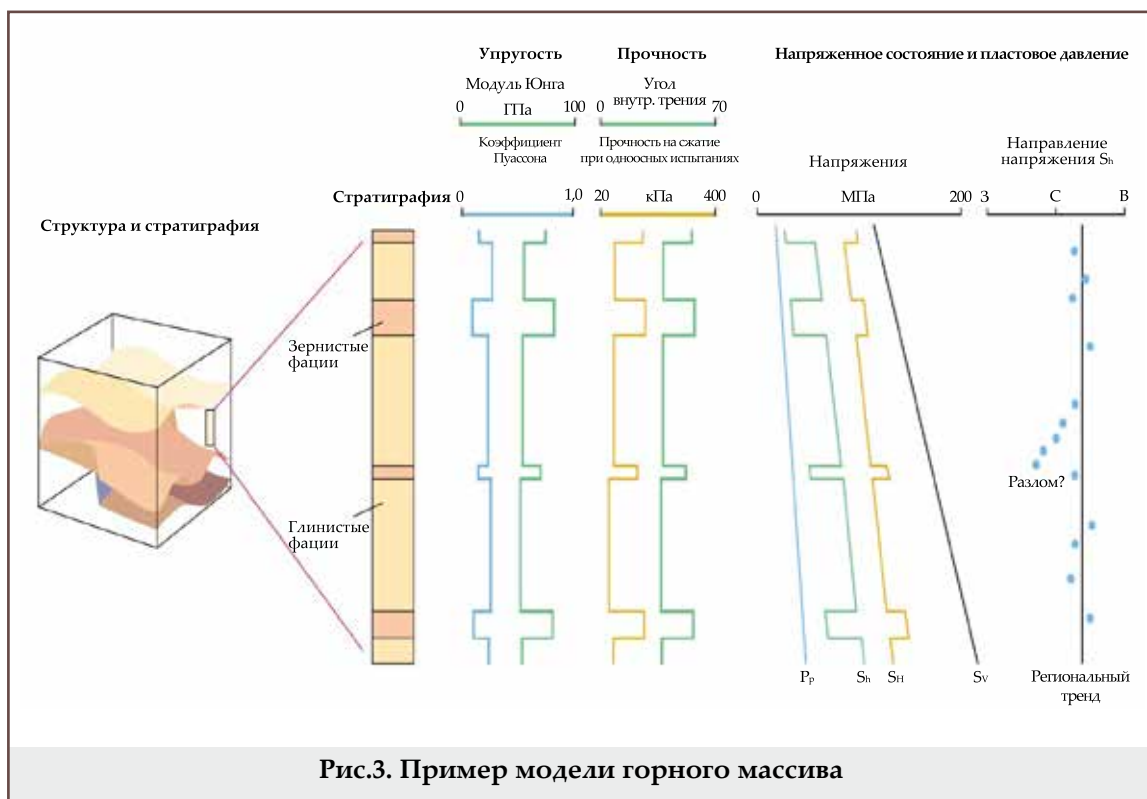


Рис.3. Пример модели горного массива

Выводы

Созданная автоматизированная система позволит осуществлять прогнозирование и ранее выявление опасных ситуаций в реальном времени и повысит эффективность работы оператора ГТИ и бурильщика. Описанные в данной статье подходы к качественному анализу геоданных позволяют добиться следующих ключевых результатов:

1. Улучшенное предсказание проявления осложнений, что дает буровой бригаде возможность для более раннего принятия ответственных решений.
2. Ускоренный доступ к большому объему данных за счет разметки и систематизации накопленной информации.
3. Уточнение предоставляемых буровых данных для повышения достоверности и точности расчетов.

Дальнейшая работа будет направлена на расширение наборов данных со станций геолого-технологических измерений, соответственно оценку на них точности предлагаемых моделей и их уточнение. Результаты проведенных исследований планируются к использованию по дальнейшему развитию созданной автоматизированной системы предотвращения осложнений и аварийных ситуаций в процессе строительства высокотехнологичных нефтяных и газовых скважин на основе постоянно действующих геолого-технологических моделей цифровых месторождений.

Статья подготовлена в рамках выполнения работ ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы» по теме: «Разработка высокопроизводительной автоматизированной системы предотвращения осложнений и аварийных ситуаций в процессе строительства нефтяных и газовых скважин на основе постоянно действующих геолого-технологических моделей месторождений с применением технологии искусственного интеллекта и индустриального блокчейна для снижения рисков проведения геолого-разведочных работ, в т.ч. на шельфовых проектах» по Соглашению с Министерством науки и высшего образования РФ о выделении субсидии в виде гранта от 22 ноября 2019 г. № 075-15-2019-1688, уникальный идентификатор проекта RFMEFI60419X0217.

Литература

1. Aldred, W., Plumb, D., Bradford, I., et al. (1999). Managing drilling risk. *Oilfield Review*, 11(2), 2-19.
2. Еремин, Н.А., Черников, А.Д., Сарданашвили, О.Н. и др. (2020). Цифровые технологии строительства скважин. Создание высокопроизводительной автоматизированной системы предотвращения осложнений и аварийных ситуаций в процессе строительства нефтяных и газовых скважин. *Деловой журнал «Neftegaz.Ru»*, 4(100), 38-50.
3. Дмитриевский, А.Н., Дуплякин, В.О., Еремин, Н.А., Капранов, В.В. (2019). Алгоритм создания нейросетевой модели для классификации в системах предупреждения осложнений и аварийных ситуаций при строительстве нефтяных и газовых скважин. *Датчики и системы*, 12(243), 3-10.
4. РД 39-0148369-519-88Р. (1988). Инструкция по технологии бурения наклонно-направленных скважин на нефтяных месторождениях Пермского Прикамья. *Пермь: ПермНИПИнефть*.
5. Ивлев, А.П., Еремин, Н.А. (2018). Петророботика: роботизированные буровые комплексы. *Бурение и нефть*, 2, 8-13.
6. Dmitrievsky, A.N., Eremin, N.A., Stolyarov, V.E. (2019). Digital transformation of gas production. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 700, 012052.
7. Абукова, Л.А., Дмитриевский, А.Н., Еремин, Н.А. (2017). Цифровая модернизация нефтегазового комплекса России. *Нефтяное хозяйство*, 11, 54-58.

References

1. Aldred, W., Plumb, D., Bradford, I., et al. (1999). Managing drilling risk. *Oilfield Review*, 11(2), 2-19.
2. Eremin, N.A., Chernikov, A.D., Sardanashvili, O.N. i dr. (2020). Cifrovye tekhnologii stroitel'stva skvazhin. Sozdanie vysokoproizvoditel'noj avtomatizirovannoj sistemy predotvrashcheniya oslozhnenij i avarijnyh situacij v processe stroitel'stva neftyanyh i gazovyh skvazhin. *Delovoj zhurnal «Neftegaz.Ru»*, 4(100), 38-50.
3. Dmitrievsky, A.N., Duplyakin, V.O., Eremin, N.A., Kapranov, V.V. (2019). Algorithm for creating a neural network model for classification in systems for preventing complications and emergencies in construction of oil and gas wells. *Sensors & Systems*, 12(243), 3-10.
4. RD 39-0148369-519-88R. (1988). Instruksiya po tekhnologii bureniya naklonno-napravlennyh skvazhin na neftyanyh mestorozhdeniyah Permskogo Prikam'ya. *Perm: PermNIPIneft'*.
5. Ivlev, A., Eremin, N., (2018). Petrobotics: robotic drilling systems. *Drilling and Oil*, 2, 8-13.
6. Dmitrievsky, A.N., Eremin, N.A., Stolyarov, V.E. (2019). Digital transformation of gas production. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 700, 012052.
7. Abukova, L.A., Dmitrievsky, A.N., Eremin, N.A. (2017). Digital modernization of Russian oil and gas complex. *Oil Industry*, 11, 54-58.

8. Еремин, Н.А., Столяров, В.Е. (2020). О цифровизации процессов газодобычи на поздних стадиях разработки месторождений. *SOCAR Proceedings*, 1, 059-069.
9. Лоерманс, Т. (2017). Расширенные геолого-технические исследования скважин: первые среди равных. *Георесурсы*, 19(3), 1, 216-221.
10. Линд, Ю.Б., Мулюков, Р.А., Кабилова, А.Р., Мурзагалин, А.Р. (2013). Оперативное прогнозирование осложнений при бурении. *Нефтяное хозяйство*, 2, 55-57.
11. Alotaibi, B., Aman, B., Nefai, M. (2019, March). Real-time drilling models monitoring using artificial intelligence. SPE-194807-MS. In *SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference*. Society of Petroleum Engineers.
12. Brown, D.F., Cuddy, S.J., Garmendia-Doval, A.B., MC Call, J.A.W. (2000, July). The prediction of permeability in oil-bearing strata using genetic algorithms. In *Third IASTED International Conference Artificial Intelligence and Soft Computing*.
13. Efendiyev, G., Mammadov, P., Piriverdiyev, I., Mammadov, V. (2018). Estimation of the lost circulation rate using fuzzy clustering of geological objects by petrophysical properties. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(81), 28–33.
14. Efendiyev, G.M., Mammadov, P.Z., Piriverdiyev, I.A. (2019, August). Modeling and evaluation of rock properties based on integrated logging while drilling with the use of statistical methods and fuzzy logic. In *10th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions, ICSCCW-2019*. Vol. 1095, 503-511.
15. Gurina, E., Klyuchnikov, N., Zaytsev, A., et al. (2020). Application of machine learning to accidents detection at directional drilling. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 184, 106519.
16. Kanfar, R., Shaikh, O., Yousefzadeh, M., Mukerji, T. (2020, January). Real-time well log prediction from drilling data using deep learning. IPTC-19693-MS. In *International Petroleum Technology Conference*.
17. Mayani, M.G., Baybolov, T., Rommetveit, R., et al. (2020, February). Optimizing drilling wells and increasing the operation efficiency using digital twin technology. SPE-199566-MS. In *IADC/SPE International Drilling Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
18. Noshi, C.I., Schubert, J.J. (2018, October). The role of machine learning in drilling operations. A review. SPE-191823-18ERM-MS. In *SPE/AAPG Eastern Regional Meeting*. Society of Petroleum Engineers.
19. Дмитриевский, А.Н., Еремин, Н.А., Филиппова, Д.С., Сафарова, Е.А. (2020). Цифровой нефтегазовый комплекс России. *Георесурсы*, Спецвыпуск, 32–35.
20. Архипов, А.И., Дмитриевский, А.Н., Еремин, Н.А. и др. (2020). Анализ качества данных станции геолого-технологических исследований при распознавании поглощений и газонефтеводопроявлений для повышения точности прогнозирования нейросетевых алгоритмов. *Нефтяное хозяйство*, 8, 63-67.
21. Chernikov, A.D., Eremin, N.A., Stolyarov, V.E., et al. (2020). Application of artificial intelligence methods for detecting and predicting complications in the construction of oil and gas wells, problems and main solutions. *Georesources*, 22(3), 90-99.
8. Eremin, N.A., Stolyarov, V.S. (2020). On the digitalization of gas production in the late stages of field development. *SOCAR Proceedings*, 1, 059-069.
9. Loermans, T. (2017). AML (advanced mud logging): first among equals. *Georesources*, 19(3), 1, 216-221.
10. Lind, Yu.B., Mulyukov, R.A., Kabirova, A.R., Murzagalin, A.R. (2013). Online prediction of troubles in drilling process. *Oil Industry*, 2, 55-57.
11. Alotaibi, B., Aman, B., Nefai, M. (2019, March). Real-time drilling models monitoring using artificial intelligence. SPE-194807-MS. In *SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference*. Society of Petroleum Engineers.
12. Brown, D.F., Cuddy, S.J., Garmendia-Doval, A.B., MC Call, J.A.W. (2000, July). The prediction of permeability in oil-bearing strata using genetic algorithms. In *Third IASTED International Conference Artificial Intelligence and Soft Computing*.
13. Efendiyev, G., Mammadov, P., Piriverdiyev, I., Mammadov, V. (2018). Estimation of the lost circulation rate using fuzzy clustering of geological objects by petrophysical properties. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(81), 28–33.
14. Efendiyev, G.M., Mammadov, P.Z., Piriverdiyev, I.A. (2019, August). Modeling and evaluation of rock properties based on integrated logging while drilling with the use of statistical methods and fuzzy logic. In *10th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions, ICSCCW-2019*. Vol. 1095, 503-511.
15. Gurina, E., Klyuchnikov, N., Zaytsev, A., et al. (2020). Application of machine learning to accidents detection at directional drilling. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 184, 106519.
16. Kanfar, R., Shaikh, O., Yousefzadeh, M., Mukerji, T. (2020, January). Real-time well log prediction from drilling data using deep learning. IPTC-19693-MS. In *International Petroleum Technology Conference*.
17. Mayani, M.G., Baybolov, T., Rommetveit, R., et al. (2020, February). Optimizing drilling wells and increasing the operation efficiency using digital twin technology. SPE-199566-MS. In *IADC/SPE International Drilling Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
18. Noshi, C.I., Schubert, J.J. (2018, October). The role of machine learning in drilling operations. A review. SPE-191823-18ERM-MS. In *SPE/AAPG Eastern Regional Meeting*. Society of Petroleum Engineers.
19. Dmitrievsky, A.N., Eremin, N.A., Filippova, D.S., Safarova, E.A. (2020). Digital oil and gas complex of Russia. *Georesources*, Special Issue, 32–35.
20. Arkhipov, A.I., Dmitrievsky, A.N., Eremin, N.A., et al. (2020). Data quality analysis of the station of geological and technological researches in recognizing losses and kicks to improve the prediction accuracy of neural network algorithms. *Oil Industry*, 8, 63-67.
21. Chernikov, A.D., Eremin, N.A., Stolyarov, V.E., et al. (2020). Application of artificial intelligence methods for detecting and predicting complications in the construction of oil and gas wells, problems and main solutions. *Georesources*, 22(3), 90-99.

Качественный анализ геоданных временного ряда для предупреждения осложнений и аварийных ситуаций при бурении нефтяных и газовых скважин

*А.Н.Дмитриевский^{1,2}, Н.А.Еремин^{1,2}, Е.А.Сафарова²,
Д.С.Филиппова², С.О.Бороздин¹*

¹Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М.Губкина, Москва, Россия; ²Институт проблем нефти и газа Российской Академии Наук (ИПНГ РАН), Москва, Россия

Реферат

Целью статьи является системный анализ буровых данных, получаемых со станций геолого-технологических измерений в режиме реального времени, с учетом геологических особенностей разбуриваемой площади для дальнейшего прогноза возможности возникновения осложнений и аварийных ситуаций при бурении и строительстве нефтяных и газовых скважин. Комплексный анализ показал отсутствие базового программного обеспечения для распознавания и предупреждения осложнений и аварийных ситуаций на основе данных, получаемых в режиме реального времени. Не менее важной проблемой является отсутствие достоверной литолого-стратиграфической информации по описанию шлама при проведении геолого-технологических измерений. Определен перечень геолого-геофизических данных, необходимый для решения задачи предупреждения осложнений и аварийности при бурении и строительстве нефтяных и газовых скважин. Геолого-технологические параметры по глубине ствола скважины, получаемые в режиме реального времени, были классифицированы по степени их применимости в методах машинного обучения.

Ключевые слова: качество данных; геологические особенности; геолого-технологические исследования; прихват; желобообразование; предотвращение аварий и осложнений; искусственный интеллект; автоматизированная система; строительство скважин; вертикальная глубина забоя скважины.

Neft və qaz quyularının qazılması zamanı mürəkkəbləşmə və qəza vəziyyətlərinin qarşısının alınması üçün zaman sırası üzrə geoloji məlumatların keyfiyyətli təhlili

*A.N.Dmitriyevskiy^{1,2}, N.A.Eremin^{1,2}, E.A.Safarova²,
D.S.Filippova², S.O.Borozdin¹*

¹İ.M. Qubkin adına Rusiya Dövlət Neft və Qaz Universiteti (ETU), Moskva, Rusiya;
²REA-nın Neft və Qaz Problemləri İnstitutu, Moskva, Rusiya

Xülasə

Məqalənin məqsədi neft və qaz quyularının qazılması və tikintisi zamanı mürəkkəbləşmə və qəza vəziyyətlərinin baş vermə ehtimallarının proqnozlaşdırılması üçün qazılan ərazinin geoloji xüsusiyyətlərinin nəzərə alınması ilə geoloji-texnoloji ölçmə stansiyalarından real vaxt rejimində alınan qazma məlumatlarının sistemli şəkildə təhlilindən ibarətdir. Aparılan kompleks təhlil nəticəsində real vaxt rejimində alınan məlumatlar əsasında mürəkkəbləşmə və qəza vəziyyətlərinin müəyyənləşdirilməsi və qarşısının alınması üçün baza proqram təminatının olmadığı müəyyən edilmişdir. Geoloji-texnoloji ölçmələrin aparılması zamanı şlamların təsvirinə əsasən etibarlı litoloji-stratigrafik məlumatların olmaması da eyni dərəcədə vacib problemlərdəndir. Neft və qaz quyularının qazılması və tikintisi zamanı mürəkkəbləşmə və qəzaların qarşısının alınması məsələlərinin həlli üçün zəruri geoloji-geofiziki məlumatların siyahısı müəyyən edilmişdir. Quyu lüləsinin dərinliyi üzrə real vaxt rejimində alınan geoloji-texnoloji parametrlər maşın öyrənmə üsulları vasitəsilə tətbiq dərəcələrinə görə təsnif edilmişdir.

Açar sözlər: məlumatların keyfiyyəti; geoloji xüsusiyyətlər; geoloji-texnoloji tədqiqatlar; tutulma; novəmələgəlmə; mürəkkəbləşmə və qəzaların qarşısının alınması; süni intellekt; avtomatlaşdırılmış sistem; quyu tikintisi; quyudibinin şaquli dərinliyi.