

УДК 622.245

**Исследование фактической информации по креплению скважин
с применением машинного обучения и нейронных сетей**

**Д. В. Шаляпин^{1, 2}, Д. Л. Бакиров^{1, 2}, М. М. Фаттахов², А. Д. Шаляпина^{1*},
В. Г. Кузнецов¹**

¹Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

²Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть», г. Тюмень, Россия

*e-mail: shaljpinaad@tyuiu.ru

Аннотация. В отечественной и мировой практике, несмотря на применяемые и разрабатываемые меры по повышению качества крепления скважин, существует проблема возникновения негерметичности конструкции почти в 50 % законченных скважин. Исследование фактических данных с использованием классических методов статистического анализа (регрессионный и дисперсионные анализы) не позволяет моделировать процесс с достаточной точностью, что требует разработки нового подхода к изучению процесса крепления. Предлагается применение методов машинного обучения и нейросетевого моделирования для выявления наиболее значимых параметров и их синергетического воздействия на целевые переменные, влияющие на качество крепления скважин. Определены формулы, необходимые для перевода численных значений результатов акустической и гамма-гамма цементометрии в категориальные переменные для повышения качества вероятностных моделей. Сформирована база данных, состоящая из 93 параметров по 934 скважинам месторождений, расположенных в Западной Сибири. Проведен анализ результатов крепления эксплуатационных колонн горизонтальных скважин четырех стратиграфических сводов, установлены наиболее весомые переменные и закономерности их влияния на целевые показатели. На основании полученных результатов вычислительного эксперимента были сформулированы предложения, позволяющие повысить качество крепления скважин путем корректировки наиболее важных параметров.

Ключевые слова: крепь скважины; цементирование; нейронные сети; машинное обучение

**Research of actual information on well casing using machine learning
and neural networks**

**Denis V. Shalyapin^{1, 2}, Daniyar L. Bakirov^{1, 2}, Marsel M. Fattahov²,
Adelya D. Shalyapina^{1*}, Vladimir G. Kuznetsov¹**

¹Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

²KogalymNIPIneft Branch of LUKOIL-Engineering LLC, Tyumen, Russia

*e-mail: shaljpinaad@tyuiu.ru

Abstract. In domestic and world practice, despite the measures applied and developed to improve the quality of well casing, there is a problem of leaky structures in almost 50 % of completed wells. The study of actual data using classical methods of statistical analysis (regression and variance analyses) doesn't allow us to model the process with sufficient accuracy that requires the development

of a new approach to the study of the attachment process. It is proposed to use the methods of machine learning and neural network modeling to identify the most important parameters and their synergistic impact on the target variables that affect the quality of well casing. The formulas necessary for translating the numerical values of the results of acoustic and gamma-gamma cementometry into categorical variables to improve the quality of probabilistic models are determined. A database consisting of 93 parameters for 934 wells of fields located in Western Siberia has been formed. The analysis of fastening of production columns of horizontal wells of four stratigraphic arches is carried out, the most weighty variables and regularities of their influence on target indicators are established. Recommendations are formulated to improve the quality of well casing by correcting the effects of acoustic and gamma-gamma logging on the results.

Key words: well support; cementing; neural networks; machine learning

Введение

Нарушение целостности крепи скважины является актуальной проблемой в мировой практике строительства нефтяных и газовых скважин на суше и на море. Так, более 8 000 скважин в Мексиканском заливе, примерно 50 % скважин месторождения Белый Тигр и более 40 % эксплуатационных скважин в России имеют конструкцию крепи с нарушенной герметичностью, что становится причиной преждевременного коррозионного износа обсадных колонн, образования грифонов и неуправляемых фонтанов [1].

На устранение последствий возникновения негерметичности конструкции скважины тратится большое количество производственного времени компаний. Так, по оценкам экспертов, на сегодняшний день более 900 законсервированных и подлежащих ликвидации скважин в России имеют межколонные перетоки, на 3 600 подобных скважинах необходимо повторно проводить мероприятия по ликвидации, поскольку они представляют экологическую угрозу [2–4]. Согласно «Правилам безопасности в нефтяной и газовой промышленности»¹ при обнаружении заколонных перетоков эксплуатация скважины должна быть прекращена. Таким образом, повышение герметичности крепи скважины — задача, которую проблематично решить существующими технологиями [5, 6].

Для решения проблемы необходим комплексный подход, включающий в себя как натурные эксперименты, так и проведение статистического анализа для установления наиболее весомых факторов с целью их дальнейшей корректировки. Методы машинного обучения и нейросетевого моделирования получили широкое распространение в мировой практике анализа данных в нефтегазовой сфере (идентификация типа горной породы под долотом, прогноз возникновения осложнений и т. д.), поскольку показали эффективность в задачах с информацией, полученной от измерительных приборов, то есть с реальными данными, описание которых требует нахождения сложных взаимосвязей, не подчиняющихся линейным законам [7–9].

¹ Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности № 534: утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/573230594>.

Объект исследования

Объектом исследования является процесс крепления скважин.

Методика исследования

Для повышения точности математического моделирования процесса крепления скважин предлагается использовать новую методику, в основе которой — машинное обучение и нейронные сети. Для достижения этой цели использованы два метода машинного обучения: «Лес случайных решений» — нахождение наиболее важных параметров и определения их синергетического воздействия на качество крепления; а также метод Байеса для проведения анализа влияния каждой переменной на вероятность получения нужного результата [10]. Также предполагается применение двух типов нейронных сетей: сеть Кохонена для кластеризации общей базы данных, состоящей из месторождений, территориально расположенных в Западной Сибири, и сети прямого распределения для прогнозирования результатов крепления скважин. Данные средства математического анализа позволяют анализировать с высокой точностью фактическую информацию, изменения которой имеют вероятностный характер [11].

Этапы проведения анализа.

1. Перед началом проведения математических расчетов формируется база данных таким образом, чтобы количество рассматриваемых случаев было больше минимум в 10 раз, чем количество исследуемых факторов. После чего применяется алгоритм сетей Кохонена для кластеризации данных — разделения информации по объединяющим признакам (стратиграфия, целевые пласты, абсолютные глубины пластов и т. д.) [12].

2. После подготовки информации непрерывные целевые переменные переводятся в категориальный вид (табл. 1) и с помощью логических формул [13]. Необходимость в этом обуславливается наличием большого количества скважин с идентичным качеством цементирования.

Логическая формула для гамма-гамма каротажа:

- «повышенное» качество — однородное заполнение затрубного пространства больше 60 % по результатам селективного гамма-дефектомера-толщиномера (СГДТ);
- «удовлетворительное» качество — неоднородное заполнение затрубного пространства больше 50 % или процент неоднородного заполнения больше одностороннего по результатам СГДТ;
- «низкое» качество — одностороннее заполнение затрубного пространства больше 50 % или процент одностороннего заполнения больше неоднородного по результатам СГДТ.

3. Далее определяются наиболее важные параметры с помощью алгоритма «Лес случайных решений», после устанавливается их синергетическое воздействие на результат крепления скважины [14].

4. На следующем этапе используется метод Байеса для индивидуального анализа важных параметров путем установки необходимых величин апостериорных вероятностей исследуемых переменных.

5. После анализа входных параметров с помощью алгоритмов машинного обучения формируются рекомендации по их корректировке. Влияние измененных предикторов проверяется с помощью нейронных сетей прямого распределения [15].

Таблица 1

Критерии оценки качества крепления по результатам акустического каротажа

Показатель качества цементирования	Оценка	Примечание
Степень сцепления цементного камня с обсадной колонной и горными породами	$K_k > 0,6$	Качество крепления «Повышенное»
	$0,4 \leq K_k < 0,6$	Качество крепления «Удовлетворительное»
	$K_k < 0,2$	Качество крепления «Низкое»

Расчетная часть

В качестве примера применения предложенной методики рассмотрены данные 504 скважин Сургутского свода, полученные после кластеризации. В результате применения алгоритма «Лес случайных решений» установлены наиболее важные параметры, влияющие на результаты акустической и гамма-гамма цементометрии, которые являются оценочными геофизическими методами исследования скважин данного свода (табл. 2).

Таблица 2

Наиболее важные параметры

Акустическая цементометрия по оценке контакта с эксплуатационной колонной	Акустическая цементометрия по оценке контакта с горной породой	Гамма-гамма цементометрия
1. Длина скважины 2. Средний зенитный угол 3. Интервал стабилизации 4. Плотность бурового раствора 5. Вязкость бурового раствора 6. Время подготовки ствола скважины к спуску эксплуатационной колонны 7. Фильтрация бурового раствора 8. Давление в конце продавки 9. Время спуска эксплуатационной колонны 10. Эксцентриситет скважины 11. Давление «СТОП»; 12. Зенитный угол входа в пласт 13. Пластовое давление 14. Давление при промывке перед спуском эксплуатационной колонны 15. Количество центраторов 16. pH бурового раствора 17. Расход бурового раствора при промывке 18. Фильтрация тампонажного раствора (ПЦТ) 19. Предел прочности на изгиб ПЦТ	1. Фильтрация бурового раствора 2. Глубина кондуктора 3. Давление в конце цементирования 4. Глубина скважины 5. Средний зенитный угол 6. pH бурового раствора 7. Время подготовки ствола скважины 8. Вязкость бурового раствора 9. Статическое напряжение сдвига (СНС) бурового раствора 10. Количество центраторов 11. Расход бурового раствора перед спуском 12. Плотность бурового раствора 13. Время спуска эксплуатационной колонны 14. Предел прочности на изгиб ПЦТ 15. Давление «СТОП»	1. Эксцентриситет 2. Длина скважины 3. Длина интервала стабилизации 4. Глубина кондуктора 5. Пластовое давление 6. Количество добавок в тампонажный раствор 7. Давление в конце промывки 8. Количество центраторов 9. Средний зенитный угол 10. Время подготовки ствола скважины 11. Зенитный угол входа в пласт 12. Вязкость бурового раствора 13. Давление «СТОП» 14. СНС бурового раствора 15. Время спуска эксплуатационной колонны 16. Плотность бурового раствора 17. pH бурового раствора 18. Давление промывки 19. Фильтрация тампонажного раствора

Установлено синергетическое воздействие путем построения «деревьев решений» (рис. 1), в основании которых лежат наиболее важные параметры.

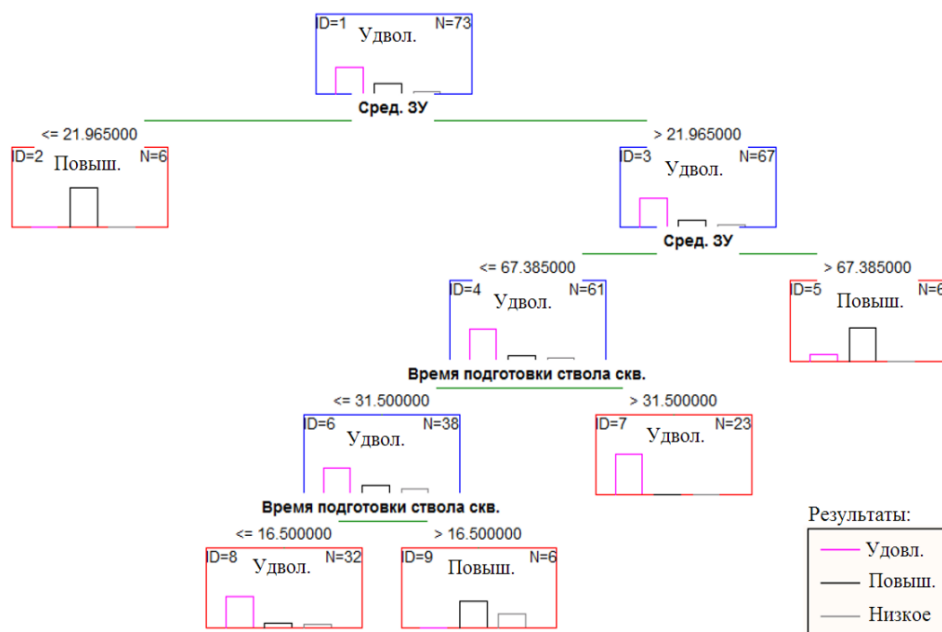


Рис. 1. Пример воздействия параметров на крепление скважины

Затем для анализа индивидуального влияния каждого фактора был применен Байесовский классификатор. В результате получены графики воздействия изменения переменных на вероятность получения необходимого результата [16, 17]. После определения наиболее важных параметров был применен Байесовский классификатор для анализа индивидуального влияния каждого предиктора, получены графики воздействия изменения переменных на вероятность получения необходимого результата [16, 17].

Например, результаты акустической цементометрии по оценке контакта цемента с эксплуатационной колонной принимают худшее значение при величине давления промывки, равного 7 МПа, повышение вероятности проведения качественного цементирования скважины происходит при увеличении давления выше 7 МПа (рис. 2).

В результате анализа воздействия важных параметров на результаты акустической цементометрии по оценке контакта с горными породами сортымской, георгиевской и васюганской свит Сургутского свода выявлено, например, что давление в конце цементирования имеет оптимальный интервал варьирования в пределах 6–16 МПа, выход за который влечет резкое уменьшение вероятности «Повышенного» результата (рис. 3).

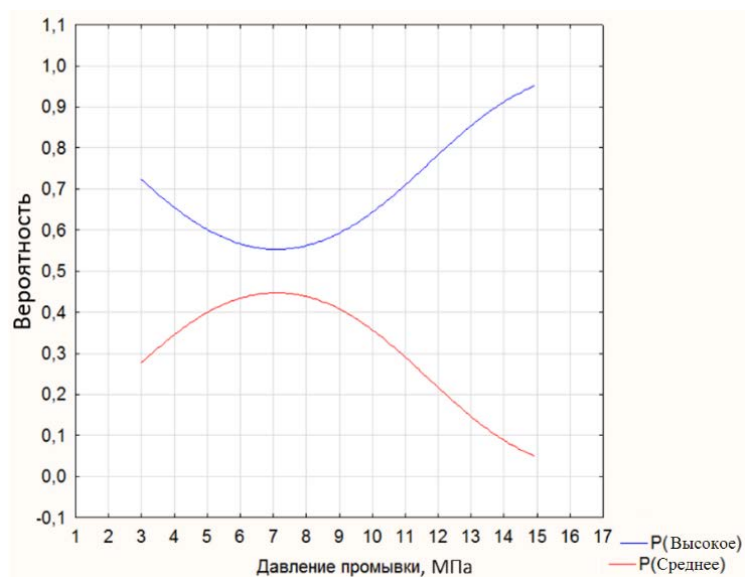


Рис. 2. Влияние давления промывки на результаты акустической цементометрии по оценке контакта с эксплуатационной колонной

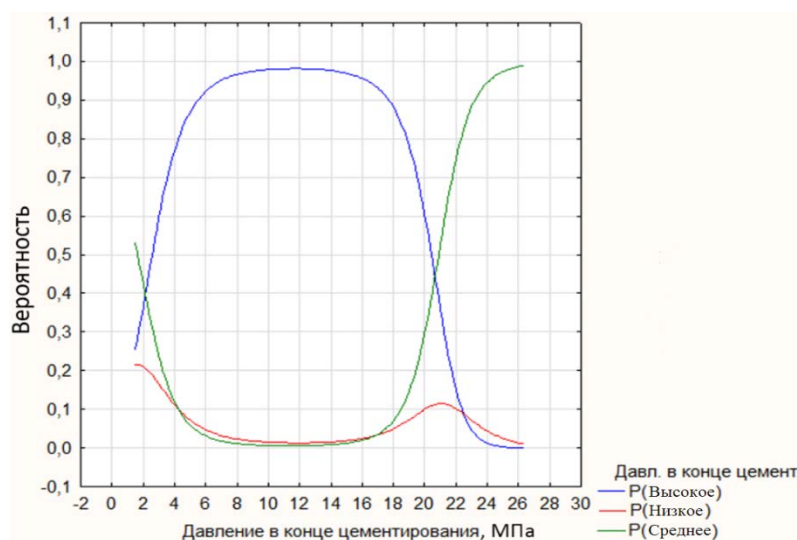


Рис. 3. Влияние давления в конце цементирования на результаты акустической цементометрии по оценке контакта с горной породой

Эксцентриситет эксплуатационной колонны является наиболее важным фактором, оказывающим влияние на селективный гамма-дефектомер-толщиномер [18]. Так, при величине значения эксцентриситета в интервале 0,12–0,14 достигается наибольшая вероятность «Повышенного» результата, дальнейшее увеличение показателя ведет к уменьшению вероятности «Повышенного» и «Удовлетворительного» результатов (рис. 4).

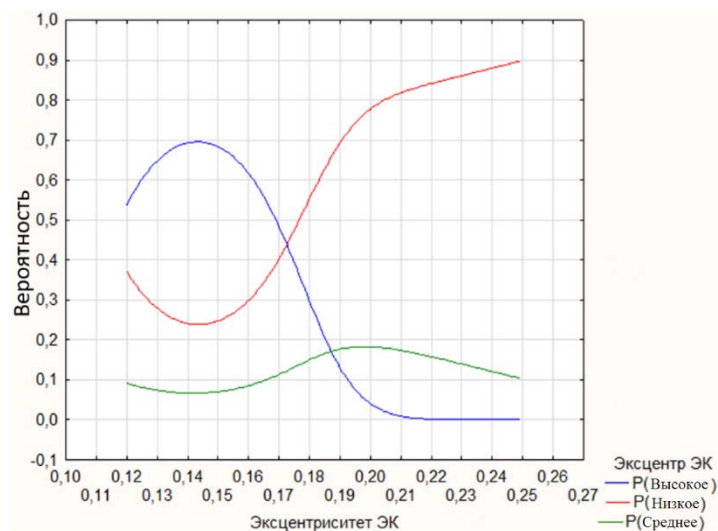


Рис. 4. Влияние эксцентриситета эксплуатационной колонны на результат исследования селективного гамма-дефектомера-толщиномера

Далее были разработаны три нейросетевые модели для каждого геофизического исследования (табл. 2). Установлено, что наилучшей функцией ошибки является алгоритм кросс-энтропии (логарифмическая функция потерь), функцией активации скрытых нейронов — обратная гипербола, функцией активации выходных нейронов — логическая и экспоненциальная функции [19, 20].

Таблица 2

Параметры нейронных сетей

Название сети	Точность обучающей выборки	Точность тестовой выборки	Точность проверочной выборки	Функция ошибки	Функция активации скрытых нейронов	Функция активации выходных нейронов
Акустическая цементометрия по оценке контакта с эксплуатационной колонной	85,64	84,6	86,7	Кросс-энтропия	Обратная гипербола	Софтмакс
Акустическая цементометрия по оценке контакта с горной породой	86,87	85,29	88,23	Кросс-энтропия	Обратная гипербола	Софтмакс
Селективный гамма-дефектомер-толщиномер	86,01	90,00	86,67	Кросс-энтропия	Экспоненциальная	Экспоненциальная

Выводы

1. Разработан подход к анализу фактической информации, позволяющий описывать процесс крепления скважин с высокой точностью, что недостижимо использованием классических методов статистического анализа.

2. Определено, что алгоритм «Лес случайных решений» позволяет установить синергетическое воздействие входных параметров на качество крепления скважин. С помощью метода Байеса возможна точечная корректировка наиболее важных предикторов.

3. Разработаны формулы для перевода численных значений результатов акустической цементометрии и СГДТ в категориальные переменные для повышения качества моделирования процесса крепления скважин.

4. В результате применения разработанной методики сформулированы следующие общие выводы:

- Эксцентриситет оказывает существенное влияние на результаты радиоактивного плотностного каротажа. Снижение данного показателя ведет к повышению качества крепления по результатам СГДТ (оптимальное значение в интервале 0,1–0,25 ед.).

- При проектировании профиля скважины интервал стабилизации ствола скважины необходимо планировать в пределах 800–1 500 м.

- Увеличение зенитного угла на участке стабилизации до значений свыше 45–50° увеличивает вероятность получения неудовлетворительного результата.

- Время спуска эксплуатационной колонны должно быть меньше 30 часов для улучшения контакта цементного камня с горной породой и с обсадной колонной.

- Зенитный угол входа в пласт оказывает положительное влияние при значениях в пределах 84–88°.

- Увеличение предела прочности ПЦТ на изгиб свыше 7,6 МПа ведет к повышению качества крепления скважины.

На основании полученных выводов были сформулированы предложения по корректировке технологических параметров (геометрия ствола скважины, реология буровых и тампонажных растворов, время промывки и спуска обсадной колонны и др.) с целью повышения качества крепления:

- Общая протяженность скважины до точки входа в пласт должна проектироваться таким образом, чтобы максимальное значение было в интервале 3 300–3 600 м. Это позволит увеличить вероятность получения сплошной адгезии цементного камня с колонной и с горной породой на 10 %.

- Значение фильтрации бурового раствора было установлено в пределах 2–3 см³/30 мин, что уменьшило вероятность «Низкого» результата крепления скважины по результатам акустической цементометрии по оценке контакта цемента с эксплуатационной колонной до уровня 1–3 %.

- Вероятность получения «Удовлетворительного» результата вырастает до 50 % при количестве центраторов в количестве 55–65 шт. на скважину.

Библиографический список

1. Горбачева, О. А. Разработка и внедрение методов контроля и исследований скважин с межколонными давлениями на Астраханском ГКМ : специальность 25.00.17 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Горбачева Ольга Анатольевна ; ГУП Институт проблем транспорта энергоресурсов. – Уфа, 2012. – 26 с. – Место защиты : Институт проблем транспорта энергоресурсов. – Текст : непосредственный.
2. К вопросу оценки качества крепления скважин / Д. Л. Бакиров, В. А. Бурдыга, М. М. Фаттахов, Г. Н. Грицай. – DOI 10.30713/0207-2351-2019-9(609)-10-13. – Текст : непосредственный // Нефтепромысловое дело. – 2019. – № 9 (609). – С. 10–13.
3. Эффективность внедрения технологии строительства многозабойных скважин с горизонтальным окончанием на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» / Д. Л. Бакиров, М. М. Фаттахов, Л. С. Бондаренко [и др.]. – Текст : непосредственный // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2014. – № 10. – С. 42–45.
4. Геомеханическое моделирование для решения задач строительства скважин на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» (на примере Ватъеганского месторождения) / Д. В. Малютин, Д. Л. Бакиров, Э. В. Бабушкин, Д. С. Святухов. – Текст : непосредственный // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – Москва : ОАО «ВНИИОЭНГ». – 2016. – № 11. – С. 23–26.
5. Совершенствование технологии строительства боковых стволов с горизонтальным окончанием в сложных геолого-технических условиях / Д. Л. Бакиров, Г. В. Мазур, Э. В. Бабушкин [и др.]. – DOI 10.24887/0028-2448-2019-8-40-43. – Текст : непосредственный // Нефтяное хозяйство. – 2019. – № 8. – С. 40–43.
6. Повышение устойчивости крепи скважины динамическому воздействию / Д. Л. Бакиров, В. А. Бурдыга, М. М. Фаттахов [и др.]. – DOI 10.30713/0207-2351-2020-1(613)-65-70. – Текст : непосредственный // Нефтепромысловое дело. – 2020. – № 1. – С. 65–70.
7. Самсоненко, Н. В. Пути повышения качества крепления скважин / Н. В. Самсоненко. – Текст : непосредственный // Булатовские чтения : сборник статей. – Краснодар, 2020. – Т. 3 – С. 331–335.
8. Белоусов, Г. А. Особенности крепления наклонно направленных и горизонтальных стволов скважин / Г. А. Белоусов, Б. М. Скориков, И. В. Майгуров. – Текст : непосредственный // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2007. – № 4. – С. 47–50.
9. Николаев, Н. И. Повышение качества крепления скважин с горизонтальными участками / Н. И. Николаев, Е. В. Кожевников. – Текст : непосредственный // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое горное дело. – 2014. – Т. 3, № 11. – С. 29–37.
10. Data-driven model for the identification of the rock type at a drilling bit / N. Klyuchnikov, A. Zaytsev, A. Gruzdev [et al.]. – DOI 10.1016/j.petrol.2019.03.041. – Direct text // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2019. – Vol. 178. – P. 506–516.
11. Toward Drilling Automation : On the Necessity of Using Sensors That Relate to Physical Models / E. Cayeux, B. Daireaux, E. W. Dvergsnes, F. Florence. – DOI 10.2118/163440-PA. – Direct text // SPE Drilling & Completion. – 2014. – Vol. 29, Issue 02. – P. 236–255.
12. Chen, T. XGBoost : A scalable tree boosting system / T. Chen, C. Guestrin – Direct text // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. – 2016. – P. 785–794.
13. Downton, G. C. Challenges of Modeling Drilling Systems For the Purposes of Automation and Control / G. C. Downton. – DOI 10.3182/20120531-2-NO-4020.00054. – Direct text // IFAC Proceedings Volumes. – 2012. – Vol. 45, Issue 8. – P. 201–210.
14. Detournay, E. A phenomenological model for the drilling action of drag bits / E. Detournay, P. Defoigny. – DOI 10.1016/0148-9062(92)91041-3. – Direct text // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics. – 1992. – Vol. 29, Issue 1. – P. 13–23.
15. Применение методов машинного обучения для повышения качества крепления скважин / Д. В. Шаляпин, Д. Л. Бакиров, М. М. Фаттахов [и др.]. – DOI 10.31660/0445-0108-2020-5-81-93. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2020. – № 5. – С. 81–93.

16. Шаляпин, Д. В. Перспективы разработки математической модели для повышения качества крепления скважин на месторождениях Западной Сибири / Д. В. Шаляпин, А. Д. Бакирова, В. Г. Кузнецов. – Текст : непосредственный // Состояние, тенденции и проблемы развития нефтегазового потенциала Западной Сибири : материалы докладов Международной академической конференции. – Тюмень, 2020. – С. 142–146.
17. Шаляпин, Д. В. Разработка технологических решений по подготовке ствола скважины к цементированию и повышению качества крепления с использованием искусственного интеллекта для Пяяхинского месторождения / Д. В. Шаляпин, А. Д. Бакирова. – Текст : непосредственный // Проблемы геологии и освоения недр : труды XXIV Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. – Томск, 2020. – С. 436–437.
18. Шаляпин, Д. В. Применение методов математического анализа для повышения качества крепления скважин / Д. В. Шаляпин, Э. В. Бабушкин, А. Д. Шаляпина. – Текст : непосредственный // Нефть и газ: технологии и инновации : материалы Национальной научно-практической конференции. В 3 томах / Отв. ред. Н. В. Гумерова. – Тюмень, 2020. – С. 107–110.
19. Шаляпин, Д. В. Разработка для Пяяхинского месторождения технологических решений по подготовке ствола скважины к цементированию и повышению качества крепления с использованием искусственного интеллекта / Д. В. Шаляпин, А. В. Щербаков, А. Д. Бакирова. – Текст : непосредственный // Булатовские чтения : сборник статей. Т. 3. – Краснодар, 2020. – С. 372–376.
20. Шаляпин, Д. В. Исследование и разработка технико-технологических решений по строительству скважин в условиях Большехетской впадины / Д. В. Шаляпин, А. Д. Бакирова, В. Г. Кузнецов. – Текст : непосредственный // Новые технологии — нефтегазовому региону : материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых : в 2 томах. Том 1 / Отв. ред. П. В. Евтин. – Тюмень, 2020. – С. 53–55.

References

1. Gorbacheva, O. A. (2012). Razrabotka i vnedrenie metodov kontrolya i issledovaniy skvazhin s mezhkolonnymi davleniyami na Astrakhanskom GKM. Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Ufa, 26 p. (In Russian).
2. Bakirov, D. L., Burdyga, V. A., Fattakhov, M. M., & Gritsay, G. N. (2019). To the problem of the assessment of wells cementing quality. Oilfield Engineering, (9), pp. 10-13. (In Russian). DOI: 10.30713/0207-2351-2019-9(609)-10-13
3. Bakirov, D. L., Fattakhov, M. M., Bondarenko, L. S., Malyutin, D. V., & Bagaev, P. A. (2014). Technology implementation efficiency of construction of multilateral wells with horizontal ending at the fields of "LUKOIL-THE WESTERN SIBERIA, LTD.". Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields, (10), pp. 42-45. (In Russian).
4. Malyutin, D. V., Bakirov, D. L., Babushkin, E. V., & Svyatukhov, D. S. (2016). Geomechanical modeling to solve the problem of wells construction in LLC "LUKOIL-WESTERN SIBERIA" (on the example of Vategansky deposit). Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanyh i gazovyh mestorozhdeniy, (11), pp. 23-26. (In Russian).
5. Bakirov, D. L., Mazur, G. V., Babushkin, E. V., Bagaev, P. A., & Ovchinnikov, V. P. (2019). Improving technology of horizontal sidetracking in complicated geological-technical conditions. Oil Industry, (8), pp. 40-43. (In Russian). DOI: 10.24887/0028-2448-2019-8-40-43
6. Bakirov, D. L., Burdyga, V. A., Fattakhov, M. M., Gritsay, G. N., & Antonov, V. V. (2020). Increase of a well cementing stability to dynamic influence. Oilfield Engineering, (1), pp. 65-70. (In Russian). DOI: 10.30713/0207-2351-2020-1(613)-65-70
7. Samsonenko, N. V. (2020). Ways to improve well attachment quality. Bulatovskie chteniya - Readings name of A. I. Bulatov, (3), pp. 331-335. (In Russian).
8. Belousov, G. A., Skorikov, B. M. & Maygurov, I. V. (2007). Osobennosti krepleniya naklonno napravlennykh i gorizontol'nykh stvolov skvazhin. Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea, (4), pp. 47-50. (In Russian).
9. Nikolaev, N. I. & Kozhevnikov, E. V. (2014). Enhancing the cementing quality of the well with horizontal profile. Vestnik PNIPU. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo, 3(11), pp. 29-37. (In Russian).

10. Klyuchnikov, N., Zaytsev, A., Gruzdev, A., Ovchinnikov, G., Antipova, K., Ismailova, L., & Koroteev, D. (2019). Data-driven model for the identification of the rock type at a drilling bit. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, (178), pp. 506-516. (In Russian). DOI: 10.1016/j.petrol.2019.03.041
11. Cayeux, E., Daireaux, B., Dvergsnes, E. W. W., & Florence, F. (2014). Toward Drilling Automation: On the Necessity of Using Sensors That Relate to Physical Models. *SPE Drilling & Completion*, 29(02), pp. 236-255. (In English). DOI: 10.2118/163440-PA
12. Chen, T. & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 785-794. (In English). DOI: 10.1145/2939672.2939785
13. Downton, G. C. (2012). Challenges of Modeling Drilling Systems For the Purposes of Automation and Control. *IFAC Proceedings Volumes*, 45(8), pp. 201-210. (In English). DOI: 10.3182/20120531-2-NO-4020.00054.
14. Detournay, E. & Defourny, P. (1992). A phenomenological model for the drilling action of drag bits. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 29(1), pp. 13-23. (In English). DOI: 10.1016/0148-9062(92)91041-3
15. Shalyapin, D. V., Bakirov, D. L., Fattakhov, M. M., Shalyapina, A. D., Melekhov, A. V., Sherbakov, A. V., & Kuznetsov, V. G. (2020). The applying of machine learning methods to improve the quality of well casing. *Oil and Gas Studies*, (5), pp. 81-93. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2020-5-81-93
16. Shalyapin, D. V., Bakirova, A. D., & Kuznetsov, V. G. (2020). Perspektivy razrabotki matematicheskoy modeli dlya povysheniya kachestva krepleniya skvazhin na mestorozhdeniyakh Zapadnoy Sibiri. Sostoyanie, tendentsii i problemy razvitiya neftegazovogo potentsiala Zapadnoy Sibiri: materialy dokladov Mezhdunarodnoy akademicheskoy konferentsii, pp. 142-146. (In Russian).
17. Shalyapin, D. V. & Bakirova, A. D. (2020). Razrabotka tekhnologicheskikh resheniy po podgotovke stvola skvazhiny k tsementirovaniyu i povysheniyu kachestva krepleniya s ispol'zovaniem iskusstvennogo intellekta dlya Pyakyakhinskogo mestorozhdeniya. Problemy geologii i osvoeniya nedr: trudy XXIV Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M. A. Usova studentov i molodykh uchenykh, posvyashchennogo 75-letiyu Pobedy v Velikoy Otechestvennoy voyne, pp. 436-437. (In Russian).
18. Shalyapin, D. V. Babushkin, E. V. & Shalyapina, A. D. (2020). Primenenie metodov matematicheskogo analiza dlya povysheniya kachestva krepleniya skvazhin. Neft' i gaz: tekhnologii i innovatsii: materialy Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. V 3 tomakh, pp. 107-110. (In Russian).
19. Shalyapin, D. V., Shcherbakov, A. V. & Bakirova, A. D. (2020). Razrabotka dlya Pyakyakhinskogo mestorozhdeniya tekhnologicheskikh resheniy po podgotovke stvola skvazhiny k tsementirovaniyu i povysheniyu kachestva krepleniya s ispol'zovaniem iskusstvennogo intellekta. Bulatovskie chteniya - Readings name of A.I. Bulatov, 3, pp. 372-376. (In Russian).
20. Shalyapin, D. V., Bakirova, A. D., & Kuznetsov, V. G. (2020). Issledovanie i razrabotka tekhniko-tekhnologicheskikh resheniy po stroitel'stvu skvazhin v usloviyakh Bol'shekhetskoy vpadiny. Novye tekhnologii — neftegazovomu regionu : materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh: v 2 tomakh. Tom 1, pp. 53-55. (In Russian).

Сведения об авторах

Шалыпин Денис Валерьевич, аспирант, Тюменский индустриальный университет, инженер 2 категории управления мониторинга строительства скважин, филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть», г. Тюмень

Бакиров Данияр Лябинович, к. т. н., и.о. заведующего базовой кафедры ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени, заместитель директора филиала, филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть», г. Тюмень

Information about the authors

Denis V. Shalyapin, Postgraduate, Industrial University of Tyumen, Engineer of 2nd grade of the Well Construction Monitoring Department, KogalymNIPIneft Branch of LUKOIL-Engineering LLC

Daniyar L. Bakirov, Candidate of Engineering, Acting Head of the Basic Department of KogalymNIPIneft Branch of LUKOIL-Engineering LLC in Tyumen, Assistant Director of Branch, KogalymNIPIneft Branch of LUKOIL-Engineering LLC, Tyumen

Фаттахов Марсель Масалимович,
начальник отдела буровых и тампонажных
растворов, филиал ООО «ЛУКОЙЛ-
Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть»,
г. Тюмень

Шалыпина Аделя Данияровна, аспи-
рант, ассистент кафедры бурения нефтя-
ных и газовых скважин, Тюменский инду-
стриальный университет, г. Тюмень, e-mail:
shaljapinaad@tyuiu.ru

Кузнецов Владимир Григорьевич, д. т. н.,
профессор кафедры бурения нефтяных
и газовых скважин, Тюменский индусти-
альный университет, г. Тюмень

Marsel M. Fattahov, Head of the Depart-
ment of Drilling and Cement Muds,
KogalymNIPIneft Branch of LUKOIL-
Engineering LLC, Tyumen

Adelya D. Shalyapina, Postgraduate, As-
sistant at the Department of Drilling Oil and
Gas Wells, Industrial University of Tyumen,
e-mail: shaljapinaad@tyuiu.ru

Vladimir G. Kuznetsov, Doctor of Engi-
neering, Professor at the Department of Drilling
Oil and Gas Wells, Industrial University
of Tyumen