

– толщина усиливающих колец смесительных отверстий и люков может быть соответствующим образом увеличена для снижения концентрации напряжений в отверстиях.

*Авторы выражают признательность китайской компании «Daqing Petroleum» за оказанную помощь при проведении данного исследования.*

#### **Литература**

1. Тунчжу, У. Обзор разработки больших вертикальных нефтяных резервуаров / У Тунчжу // Технология нефтехимического оборудования. – 2004. – № 25 (3). – С. 56–58.
2. Чжоу Шуся Знакомство с химическими контейнерами / Чжоу Шуся, Чжан Хуцзе, Лу Чуньцин // Нефтехимическая промышленность Внутренней Монголии. – 2006. – № 17 (8). – С. 63–64.
3. Ши Минсянь. Развитие и перспективы технологии химического технологического оборудования в моей стране / Ши Минсянь // Современная нефтехимическая промышленность. – 2005. – № 13 (12). – С. 3–7.
4. Ван Тунъюань. Вопросы классификации сосудов под давлением / Ван Тунъюань // Qilu Petrochemical Industry. – 1995. – № 5. – С. 51–52.
5. Ши Юцинъ Текущее состояние и прогресс в проектировании больших резервуаров для хранения нефти / Ши Юцинъ, Чжоу Хунмей // Нефтяные машины. – 2006. – № 7 (1). – С. 41–42.
6. Шимановский, А. Моделирование перетекания жидкости в резервуаре с использованием программных комплексов ANSYS и STAR-CD / А. Шимановский, А. Пуятто // Вестник Уральского государственного технического университета. – 2005. – № 11. – С. 130–110.

УДК 681.5:553.98:622.24:543.06

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗА АВАРИЙ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН**

**О. В. Захаров, И. В. Захаров**

*Общество с ограниченной ответственностью  
«Научно-производственное объединение «Союзнефтегазсервис»,  
г. Москва, Российская Федерация*

**Н. В. Бочаров**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

*Приведен опыт применения предиктивной аналитики и глубокого обучения для выявления и предотвращения осложнений и аварийных ситуаций при строительстве нефтяных и газовых скважин. Представлены разработанные программные продукты для формирования наборов данных и обучения моделей по Методике прогнозирования аварийности. На примерах показаны шаги, анализ которых позволил разработать и опробовать на реальных примерах Методику версии 2.0. Исходя из результатов установлено, что использование таких технологий увеличивает уровень безопасности и сокращает объем непроизводительного времени при строительстве нефтяных и газовых скважин.*

**Ключевые слова:** машинное обучение, прогнозирование аварийных ситуаций, геолого-технологические исследования, цифровая платформа «Унофактор®».

## APPLICATION OF PREDICTIVE ANALYTICS AND MACHINE LEARNING TO FORECAST ACCIDENTS IN THE PROCESS OF DRILLING OIL AND GAS WELLS

O. V. Zakharov, I. V. Zakharov

*NPO SNGS, the Russian Federation*

N. V. Bocharov

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

*The paper presents experience in applying predictive analytics and deep learning to identify and prevent complications and emergencies in the construction of oil and gas wells. The developed software products for generating data sets and training models according to the Accident Prediction Methodology are presented. The examples show the steps analysed to develop and test the Methodology version 2.0 on real examples. The results show that the use of such technologies increases the level of safety and reduces the amount of non-productive time in the construction of oil and gas wells.*

**Keywords:** machine learning, well accident forecasting, well logging, Unofactor digital platform.

Освоение труднодоступных месторождений нефти и газа, сложные геологические условия разработки и бурения современных нефтегазовых скважин (в особенности – при морской разработке), наличие в разрезе проницаемых пластов с аномально высокими и низкими пластовыми давлениями – все это вместе с другими факторами диктует необходимость постоянного совершенствования нефтегазосервисных технологий добычи углеводородов и строительства скважин. Однако даже при использовании современных достижений в области конструирования и технологии сооружения нефтегазовых скважин зачастую не удается избежать осложнений и аварий в процессе их строительства, обусловленных рядом геологических и технико-технологических факторов [1, 2].

Данные проблемы приводят к длительным простоям и значительным финансово-организационным затратам на их устранение и ликвидацию. Поэтому своевременное их прогнозирование и предупреждение является крайне важной и актуальной задачей, требующей применения современных инженерных методов и подходов.

Цель данной работы – разработка методики прогнозирования осложнений и аварий при бурении нефтегазовых скважин с помощью предиктивной аналитики и глубокого обучения и ее практическое применение.

**Объекты и методики исследований.** В данной работе описано использование данных геолого-технологических исследований (ГТИ) как одного из основных источников данных для разработки прогнозных моделей машинного обучения, и глубокого обучения, в частности [3].

Для удобного управления потоком данных была разработана так называемая ETL-система Uno.Dataset. Данный инструмент предназначен для объединения потоков каротажной информации из различных баз данных, включая данные с предоставленными кодами операций строительства скважины, и формирования на их основе наборов данных, затем анализируемых и подготавливаемых для обучения моделей глубокого обучения. Обучение моделей выполнялось на серверном инструменте компании под названием Uno.NeuralNetwork, одной из немаловажных целей которого является снижение порога вхождения для неспециалиста с предоставлением подсказок по подбору параметров и архитектуры моделей.

На сегодняшний день одним из основных решений, обеспечивающих безаварийное бурение нефтегазовых скважин, является планирование оптимальных организационных и технологических решений, направленных на минимизацию вероятности возникновения аварийных ситуаций. В этой связи одна из основных задач – это создание не только качественных проектов строительства скважин, но и их оперативная корректировка за минимальное время с учетом актуальных и достоверных данных в целях осуществления безаварийного ведения буровых работ [4–6].

Для решения данной задачи специалистами Научно-производственного объединения «Союзнефтегазсервис» были задействованы первичная геофизическая информация, получаемая со станций ГТИ в рамках агрегатора ГТИ, и разработаны инструменты, адаптированные для нефтегазовой отрасли и реализованные в технологиях искусственного интеллекта и предиктивного анализа данных. Инструментом цифровизации является отраслевая Система интерактивного управления жизненным циклом нефтегазовых месторождений «Унофактор®» (Unofactor®), позволяющая интегрировать различные программные и программно-аппаратные компоненты в единый технологический процесс.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Результатом постоянной актуализации разработанных решений с использованием предиктивной аналитики является обновленная методика прогнозирования аварийности при бурении нефтегазовых скважина. В новой версии каждый «главный» параметр ГТИ, так или иначе участвующий в выработке той или иной аварии или осложнения, прогнозируется отдельно от остальных. Имеющаяся обширная база обработанных цифровой платформой данных позволила создать одну модель для прогноза сразу восьми каротажных кривых. Эта особенность дала возможность уйти от создания определенной модели под каждую аварийную ситуацию – поглощение, НГВП, подклинивания или прихват буровой колонны. В то же время это увеличило требовательность к качеству новых данных (отсутствие пропусков, аномальных значений и пр.), которые подаются на вход обученной модели.

Полученные результаты спрогнозированных (или экстраполированных) значений выбранных параметров позволили применить к ним специальные алгоритмы определения аварий. Этот подход представляет собой гибридный метод прогнозирования, заключающийся в экстраполяции параметров ГТИ с помощью модели глубокого обучения с последующей подачей результирующих значений на вход специально разработанных алгоритмов под каждый вид аварии или осложнения. Также в обязательном порядке данные алгоритмы согласовываются с Заказчиками, чтобы они отражали их требования и руководящие документы. Данное решение отличается от решений прочих конкурентов тем, что можно подстраивать его «на лету», без необходимости длительного по времени переобучения моделей на множестве скважинных данных.

Результат применения этого подхода обновленной методики под задачу прогнозирования интенсивности поглощений бурового раствора при бурении на одном из шельфовых месторождений представлен на рис. 1. На графике видны два пика, характеризующие интенсивность поглощения: синим цветом выделено фактическое значение поглощенного объема, оранжевым – прогноз модели за час до данного события. Всего таких пиковых значений в данных оказалось 5 – три из них были определены для обучения модели, которое, несмотря на их малое количество, дало результат. При этом немаловажно, что модель не показала всплески там, где их быть не должно. И это свидетельствует о перспективности дальнейшего развития методики.

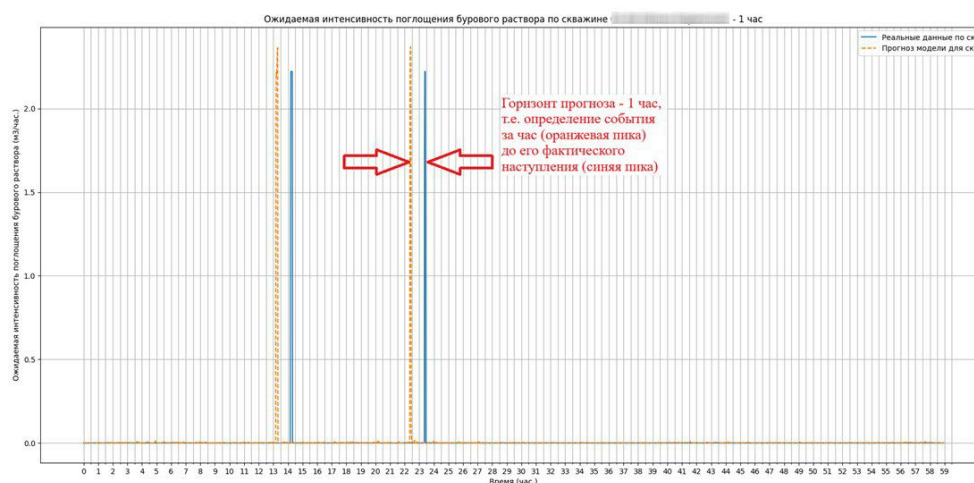


Рис. 1. Результаты прогноза интенсивности поглощения за час до события

Как один из частных примеров апробации данной методики рассматривается оповещение о возможных аварийных событиях не только в посекундном формате данных, а и почасовом. На выходе из алгоритма выдавалось telegram-оповещение с идентификационной информацией скважины и прогнозное значение интенсивности поглощения – ожидается ли поглощение бурового раствора или нет. И здесь полученные результаты применительно к прогнозированию бурового раствора позволяют говорить о перспективности применения разработанной методологии и ее дальнейшего расширения относительно прогнозируемых аварий и осложнений при бурении нефтяных и газовых скважин.

Таким образом, машинное обучение демонстрирует высокую точность и надежность в анализе данных, что способствует повышению эффективности процессов бурения и снижению рисков возникновения аварийных событий. Для выполнения качественного прогноза требуется и качественная разметка данных и их подготовка. Для повышения качества продукта алгоритмы методики при определении аварийности необходимы актуализация и вариативность в зависимости от требований заказчика, чтобы учитывать новые требования отрасли и расширение круга прогнозируемых аварий и осложнений. И поэтому в дальнейших планах – разработать алгоритмы для определения затяжек инструмента, обвалов и осыпей.

#### Литература

1. Применение методов искусственного интеллекта для выявления и прогнозирования осложнений при строительстве нефтяных и газовых скважин: проблемы и основные направления решения / А. Д. Черников, Н. А. Еремин, В. Е. Столяров [и др.] // Георесурсы. – 2020. – Т. 22, № 3. – С. 87–96. – DOI 10.18599/grs.2020.3.87-96
2. Бочаров, Н. В. Особенности цифровизации бурения скважин (на примере нефтяных месторождений Припятского прогиба) / Н. В. Бочаров, В. М. Ткачев, Т. В. Аткинговская // Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем : сб. науч. тр. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Ун-т им. Аджинкья Д. Я. Патила ; под ред. М. Н. Андриянчиковой. – Гомель, 2023. – С. 93–96.
3. Бочаров, Н. В. К вопросу применения агрегатора цифрового бурения для оценки эффективности строительства скважин (на примере скважин месторождений Припятского прогиба) / Н. В. Бочаров, Т. В. Аткинговская, Д. С. Матвеев // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 27–28 апр. 2023 г. : в 2 ч. /

М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель, 2023. – Ч. 2. – С. 35–38.

4. Предупреждение и ликвидация газонефтеводопроявлений и открытых фонтанов скважин. ВЕРСИЯ 1.0 : Стандарт Компании ОАО «НК» Роснефть. ПЗ-05С-0257.
5. Руководство по предупреждению и ликвидации газонефтеводопроявлений при строительстве и ремонте скважин : СТО Газпром 2-3.2-193-2008.
6. Документы нормативные для строительства скважин. Руководство по предупреждению аварий, осложнений и брака при строительстве скважин : СТО Газпром 7.4-007-2011.

УДК 622.279.3

## **ЦИФРОВОЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ МЕХАНИЗИРОВАННОГО ФОНДА СКВАЖИН**

**В. В. Фролов**

*Нефтегазодобывающее управление «Речицанефть»  
РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»*

**А. Б. Невзорова**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

*Показано, что для улучшения прогнозирования режима работы механизированного фонда скважин необходимо проводить непрерывный мониторинг и анализ отклонений их текущего состояния от плановых показателей с учетом изменения технологических параметров пласта. Целью проводимых исследований является разработка статистической цифровой модели прогнозирования оптимального режима работы скважин со штанговыми глубинными насосами. Предложен алгоритм анализа скважины на основе динамограмм в реальном времени и прогнозирование режима их дальнейшей эксплуатации.*

**Ключевые слова:** динамограмма, штанговый глубинный насос, механизированный фонд.

## **DIGITAL ANALYSIS OF THE OPERATION OF THE MECHANIZED WELL FUND**

**V. V. Frolov**

*Rechitsaneft Oil and Gas Production Departament  
RUE "Production Assotiation "Belorusneft"*

**A. B. Nevzorova**

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

*To improve the forecasting of the operating mode of the mechanized well stock, it is necessary to continuously monitor and analyze deviations of their current state from planned indicators, taking into account changes in the technological parameters of the reservoir. The purpose of the research is to develop a statistical digital model for predicting the optimal mode of operation of wells with rod depth pumps. An algorithm for analyzing wells based on dynamograms in real time and predicting the mode of their further operation is proposed.*

**Keywords:** dynamogram, rod depth pump, mechanized fund.

Оперативный контроль работы фонда нефтяных скважин со штанговыми глубинными насосами на месторождении проводится круглосуточно для своевременного обнаружения отклонений от прогнозных показателей по фактическим данным,