

# О созданной в ИПНГ РАН интеллектуальной системе предупреждения осложнений при строительстве скважин на суше и на море

Алали Валид<sup>1</sup>, Еремин Н.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Россия, <sup>2</sup>Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия  
walidalali@gubkin.ru

## Аннотация

В статье представлено описание интеллектуальной системы предупреждения осложнений при строительстве скважин на суше и на море, созданной в ИПНГ РАН. Уникальная интеллектуальная система предотвращения осложнений при бурении скважин предназначена для предупреждения буровых аварий и возможности нарушения штатного режима бурения. Интеллектуальная система помогает повысить продуктивное время и экономическую эффективность бурения нефтяных и газовых скважин. Большие объемы геоданных со станций геологических и технологических измерений во время бурения варьируются от десятков до сотен терабайт соответственно на суше и на море. Создание программных компонентов нейросетевого моделирования направлено на выявление скрытых закономерностей в наборах больших данных со станций геологических и технологических измерений в режиме реального времени.

## Материалы и методы

При создании системы были использованы наборы больших объемов данных со станций геолого-технологических измерений в России и за рубежом. Для каждого вида осложнения были проведены процедуры нормализации и маркировки больших объемов геоданных. Откорректированные исторические большие геодатасеты послужили основой обучения нейронных сетей на новых наборах геоданных. Использован инновационный подход к сбору разнородных геоданных. Основные этапы подхода были следующими: сбор больших геоданных, полученных с помощью датчиков, встроенных в буровую установку; формирование наборов симуляционных данных с использованием бурового тренажера; использование геолого-геофизических данных, полученных при геолого-разведочных работах; создание тестовых и обучающих наборов геоданных параметров бурения; разработка алгоритмов очистки

больших наборов геоданных с использованием программного модуля предварительной обработки от зашумленных, пропущенных геоданных; кластеризация и визуализация больших геоданных (вес на крюке, скорость проходки, расход буровой жидкости, крутящий момент и др.). Библиотеки Python и Pandas стали эффективными инструментами для построения сложных статистических моделей, которые позволяют эффективно и точно прогнозировать, диагностировать, анализировать большие геоданные в целях повышения производительности строительства скважин.

## Ключевые слова

методы искусственного интеллекта, искусственные нейронные сети, бурение скважин, безопасное строительство скважин, предотвращение осложнений, геологическая и технологическая информация, большие геоданные, интеллектуальная система

## Для цитирования

Алали Валид, Еремин Н.А. О созданной в ИПНГ РАН интеллектуальной системе предупреждения осложнений при строительстве скважин на суше и на море // Экспозиция Нефть Газ. 2023. № 1. С. 27–32. DOI: 10.24412/2076-6785-2023-1-27-32

Поступила в редакцию: 30.11.2022

DRILLING

UDC 622.24:681.518 | Original Paper

## About the intellectual system of prevention of complications in the construction of wells on land and at sea created at OGRI RAS

Alali Walid<sup>1</sup>, Eremin N.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gubkin University, Moscow, Russia, <sup>2</sup>Oil and gas research institute RAS, Moscow, Russia  
walidalali@gubkin.ru

## Abstract

The article describes an intelligent system for preventing complications during the construction of wells on land and at sea, created at the OGRI RAS. Intelligent systems for preventing complications when drilling wells are designed to warn the driller in advance about the possibility of violating the normal drilling regime. Intelligent systems to prevent complications during the construction of wells help to increase the productive time and economic efficiency of drilling oil and gas wells. Large volumes of geodata from geological and technological measurement stations during drilling vary from tens to hundreds of terabytes, respectively, on land and at sea. The creation of neural network modeling software components is aimed at identifying hidden patterns in big data sets from geological and technological measurement stations in real time.

## Materials and methods

When creating the system, sets of big volumes of data from geological and technological measurement stations in Russia and abroad were used. For each type of complication, procedures were carried out for normalization and labeling of big volumes of geodata. The corrected historical Big geodatasets served as the basis for training neural networks on new geodatasets. An innovative approach to the collection of heterogeneous geodata was used. The main stages of the approach were as follows: the collection of big geodata obtained using sensors built into the drilling rig; formation of simulation data sets using

a drilling simulator; use of geological and geophysical data obtained during geological exploration; creation of test and training sets of geodata of drilling parameters; development of algorithms for cleaning Big sets of geodata using a pre-processing software module from noisy, missed geodata; clustering and visualization of large geodata (hook weight, penetration rate, drilling fluid consumption, torque, etc.). Python and Pandas libraries have become effective tools for building complex statistical models that allow you to efficiently and accurately predict, diagnose, analyze big geodata in order to improve well construction productivity.

## Keywords

artificial intelligence methods, artificial neural networks, well drilling, safe well construction, prevention of complications, geological and technological information, big geodata, intelligent system

## For citation

Alali Walid, Eremin N.A. About the intellectual system of prevention of complications in the construction of wells on land and at sea created at OGRl RAS. Exposition Oil Gas, 2023, issue 1, P. 27–32. (In Russ). DOI: 10.24412/2076-6785-2023-1-27-32

Received: 30.11.2022

## Введение

Основными векторами современного развития бурения скважин являются создание современных интерактивных сред для сбора, систематизации и анализа всей оперативной информации в режиме реального времени и обеспечение на этой основе проактивного управления процессом строительства скважин на суше и на море; автоматизация производственных процессов бурения на основе внедрения новых инструментов машинного обучения для увеличения продуктивного времени строительства скважин. При бурении скважин непродуктивное время составляет в среднем 20–25 % от общего времени строительства скважин, чаще всего оно уходит на борьбу с осложнениями и аварийными ситуациями. Установлено, что основными видами осложнений являются:

прихваты бурильной колонны в результате осыпей и обрушений неустойчивых пород; поглощения бурового раствора, газонефтеводопроявления. Стоимость бурения скважин имеет тенденцию к повышению. Сокращение потерь рабочего времени на устранение осложнений и их последствий является одной из возможностей увеличения продуктивного времени строительства скважин [1–20].

Методы машинного обучения являются одним из эффективных инструментов предупреждения осложнений и аварийных ситуаций при строительстве нефтяных и газовых скважин (табл. 1) [1, 4, 8, 10, 12, 14, 16].

Принятие необходимых мер по предотвращению аварийных ситуаций возможно при достоверном прогнозировании их наступления на основе анализа результатов

геолого-технологических измерений параметров процессов строительства скважин.

## Методика

Интеллектуальная система должна выполнять программную обработку результатов измерений в реальном масштабе времени, прогнозирование возникновения возможных осложнений и выдачу предупреждающих сообщений. При этом в большинстве случаев возникновение осложнений при строительстве скважин определяется сложной совокупностью геолого-геофизических и технологических параметров и не может быть выявлено в результате визуальных наблюдений оператором. Для эффективного функционирования интеллектуальная система предупреждения осложнений при строительстве скважин (ИС ПОАС), с учетом специфики

Табл. 1. Методы искусственного интеллекта, применяемые на различных этапах строительства скважин  
Tab. 1. Artificial intelligence methods applied at various stages of well construction

Операционный результат	Приложение/применение	Применяемые методы искусственного интеллекта
Проектирование скважины	Выбор долота Предварительная оценка крутизны уклона Прогноз разрушения обсадной колонны Качество цемента / оценка производительности Выбор морской буровой платформы  Геонавигация	Искусственная нейронная сеть (ANN) Обобщенно-регрессионная нейронная сеть Нейронная сеть с обратным распространением Искусственная нейронная сеть (ANN) Гибрид (нейронная сеть с обратным распространением) Методы машинного обучения на основе прецедентов (CBR-системы)
Методическое определение оптимальных характеристик	Мониторинг компоновки низа бурильной колонны Контроль износа долота Прогнозирование прихвата и нагрузки Контроль вибрации Очистка ствола от шлама	Искусственная нейронная сеть (ANN) Искусственная нейронная сеть (ANN) Искусственная нейронная сеть (ANN) Искусственная нейронная сеть (ANN) Нейронная сеть с обратным распространением / множественная линейная регрессия
Стабильность скважины	Мониторинг гидравлического удара, потери и размера утечек	Искусственная нейронная сеть (ANN)
Поддержка принятых решений в проблемных ситуациях	Контроль и устранение неисправностей	Нейронная сеть с обратным распространением / (Искусственная нейронная сеть-GA) гибрид
Распознавание осложнений, оценка рисков	Оценка рисков при бурении в реальном времени Состояние бурового оборудования	Методы машинного обучения на основе прецедентов (CBR-системы) Искусственная нейронная сеть (ANN)
Принятие решений в критических ситуациях	Определение допустимых операций согласно условиям бурения	Методы машинного обучения на основе прецедентов (CBR-системы)

сценариев возникновения различных типов осложнений, должна включать в свой состав интегрированный комплекс технологий машинного обучения, объединяющий, как правило, вспомогательные методы и классификационные нейросетевые модели. При этом архитектура системы должна быть открытой на всех уровнях организации: структурном, функциональном, организации данных и интерфейсом. Определяющими факторами для построения ИС ПОАС на базе современных технологий искусственного интеллекта являются сбор и организация информации, формирование интегрированной базы технических, технологических и геолого-геофизических данных.

Для обмена данными между различными службами и организациями, работающими в нефтегазовой отрасли, широко применяется международный открытый стандарт

WITSML (Wellsite Information Transfer Standard Markup Language), основанный на открытых интернет-стандартах и имеющий свой открытый интерфейс прикладных программ.

Для расширения области исходных данных и ее кластеризации использовались специально подготовленные симуляционные данные, сформированные по результатам моделирования типовых ситуаций возникновения осложнений заданных типов на буровом тренажере.

Подготовка исходных данных для построения моделей проведения нейросетевых расчетов состоит из формирования и разметки наборов временных или поглубинных данных (WITSLM Realtime drilling data) и данных буровых журналов (WITSLM Daily drilling reports) в формате WITSML (WITSLM Data Standards), содержащих информацию об осложнениях. Такие наборы могут быть сформированы как

с использованием имеющейся информации по конкретной скважине, так и на основе архивных данных, содержащих информацию о ранее пробуренных скважинах со схожими геологическими характеристиками.

Для работы с данными в формате WITSML и формирования исходных наборов для построения моделей выявления и прогнозирования осложнений разработан программный модуль подготовки данных, состоящий из набора сервисных процедур и клиентской части (рис. 1).

Модуль подготовки данных обеспечивает выполнение следующих процедур:

- интерактивного разбора структуры данных буровых журналов Daily Drilling Reports WITSML Data;
- выбора по заданным критериям записей по аномальным и аварийным ситуациям;
- просмотра и предварительного анализа WITSLM Realtime drilling data по каждой из скважин и выбора скважин для использования в дальнейших расчетах;
- просмотра записей по литологиям для каждой скважины.

На рисунке 2 приведено графическое представление параметрической информации, содержащейся в файлах Realtime Drilling.

## Результаты

В результате сбора и подготовки больших данных со станций геолого-технологических измерений создаются хранилища неразмеченных и размеченных по результатам экспертизы, формируются конфигурационные массивы для формирования и обучения моделей, а также тестовые массивы для их валидации, структурируются и хранятся различные виды геолого-геофизической, технологической и контекстной информации, образующие в своей совокупности интегрированную базу данных ИС ПОАС. Модуль формирования и обучения моделей реализован на языке Python (Keras: The Python Deep Learning library, LightGBM. Python API) и обеспечивает

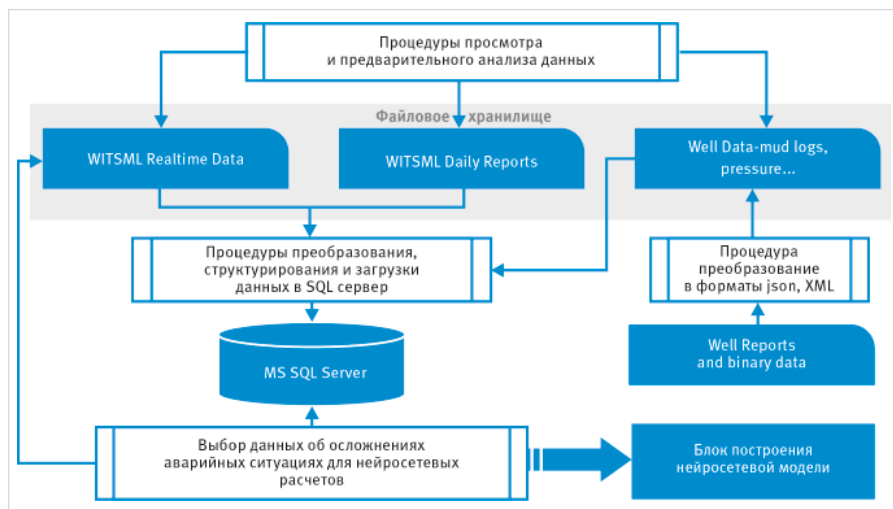


Рис. 1. Программный модуль подготовки данных, состоящий из набора сервисных процедур и клиентской части

Fig. 1. Data preparation software module, consisting of a set of service procedures and a client part

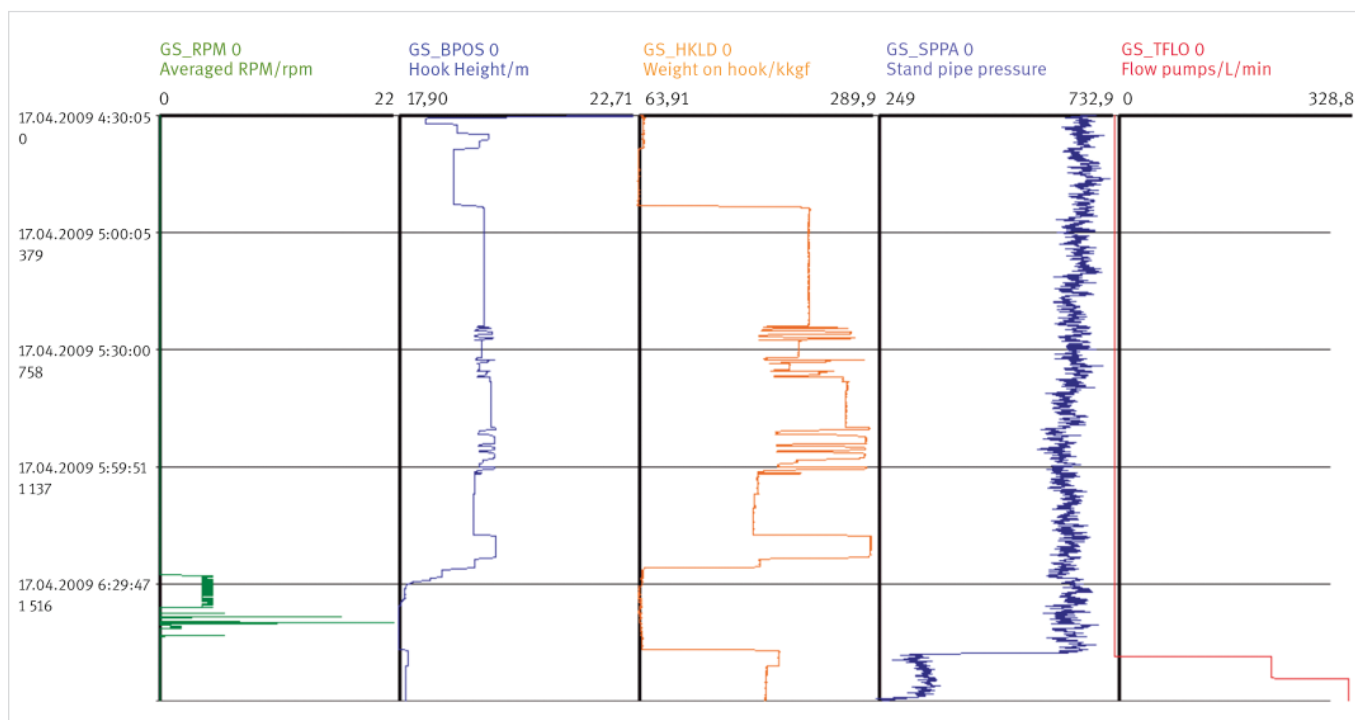


Рис. 2. Графическое представление параметрической информации

Fig. 2. Graphical representation of parametric information

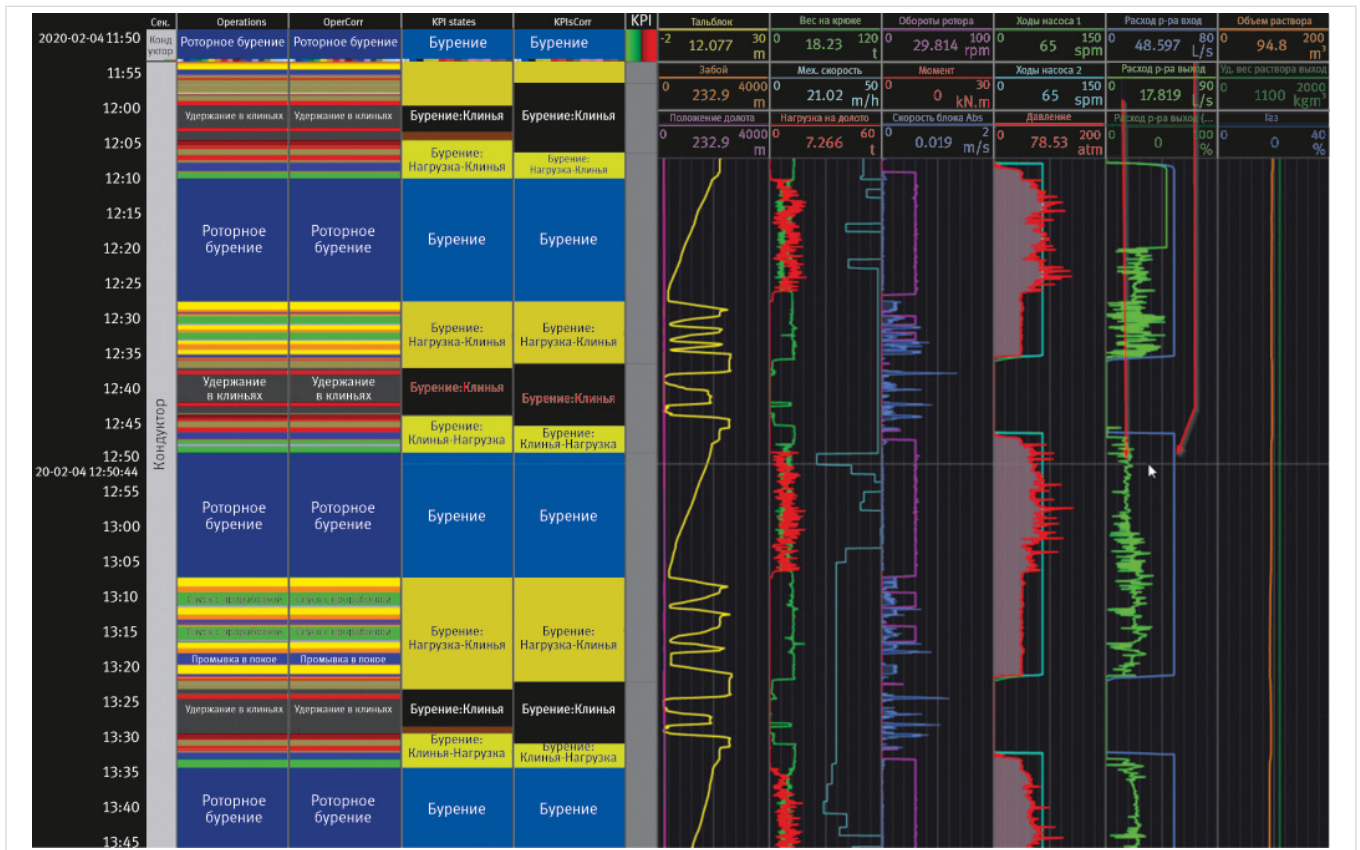


Рис. 3. Интерфейс оператора интеллектуальной системы предупреждения осложнений и аварий при строительстве скважин для детального параметрического анализа причин возникновения осложнений типа «Поглощение»  
 Fig. 3. Interface of the operator of the intelligent system for preventing complications and accidents during well construction for a detailed parametric analysis of the causes of the occurrence of complications of the “Absorption” type

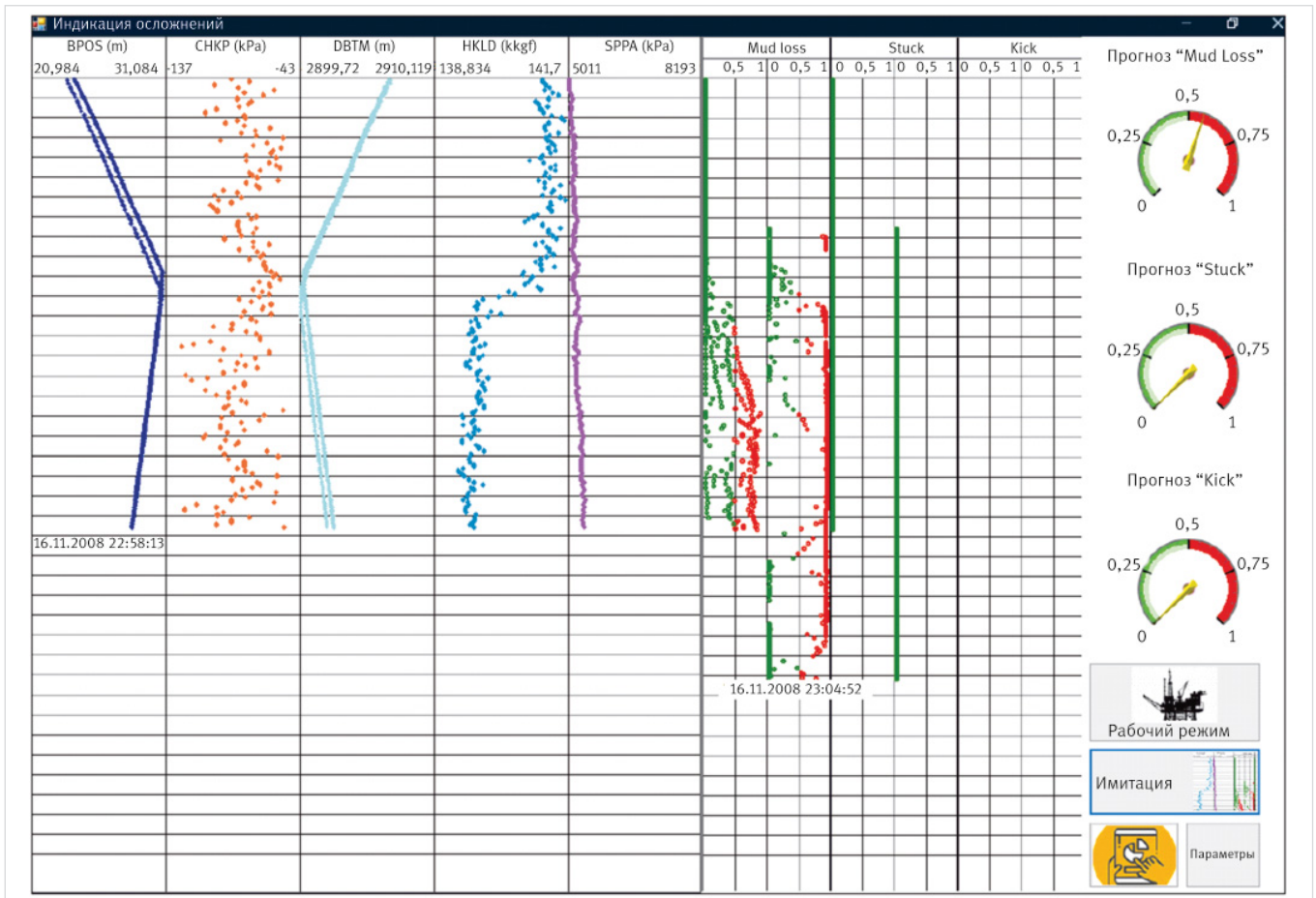


Рис. 4. Упрощенный интерфейс бурильщика с автоматическим определением прогнозных вероятностей возникновения осложнений  
 Fig. 4. Simplified driller interface with automatic determination of predictive probabilities of occurrence of complications

подготовку моделей, применяемых для прогнозирования и предупреждения аварийных ситуаций в системах поддержки процесса бурения. В модуле реализованы функции сборки классификационных нейросетевых моделей. Сформированная топология нейронной сети ИС ПОАС состоит из трех основных слоев:

- первый слой представляет собой многослойный перцептрон (Multilayered perceptron, MLP);
- затем идет рекуррентный слой, состоящий из четырех нейронов управляемого рекуррентного блока (Gated Recurrent Units, GRU);
- выходной слой для решения классификационной задачи состоит из двух нейронов с активационной функцией софтмакс (softmax).

Модели формируются и обучаются в соответствии с заданными конфигурационными файлами, что позволяет менять гиперпараметры моделей без внесения изменений в код модуля. В качестве выходных данных выступают обученные модели, которые сохраняются в виде отдельных файлов со своим именем в формате hdf5 и включают в себя следующую структуру:

- топология модели, позволяющая воспроизвести обученную модель;
- настроенные весовые коэффициенты модели;
- состояние оптимизатора.

Модуль обработки реально-временных данных обеспечивает интеграцию моделей в ИС ПОАС и выполняет следующие функции:

- загрузка обученных моделей предсказания аварийных ситуаций и параметров предобработки в соответствии с конфигурационными файлами;
- передача полученных векторов параметров в модуль обработки реальных данных и получение прогнозных значений моделей по накопленному окну параметров;
- логирование (запись системной информации) работы моделей.

Интерфейс оператора ИС ПОАС для детального параметрического анализа причин возникновения осложнений типа «Поглощение» при проведении операции бурения представлен на рисунке 3.

В левой части экрана отображается временная шкала и выполняемые технологические операции и режимы, а в правой — графическое представление изменения во времени параметров для выявления заданных типов осложнений. Для бурильщика разработан упрощенный интерфейс с автоматическим определением прогнозных вероятностей возникновения осложнений при строительстве скважин и выводом на экран предупреждающих сообщений, сигнализации в случае превышения их значений заданного порога (рис. 4).

В левой части экрана в реальном масштабе времени отображаются значения технологических параметров, а в правой — значения вероятностей возникновения осложнений, рассчитанные по прогнозным и фактическим параметрам геолого-технологических исследований (ГТИ). По результатам тестирования классификационной нейросетевой модели получены следующие точности прогнозирования различных видов осложнений: «ГНВП» — 96%; «Поглощение» — 79%; «Прихват» — 87%.

## Заключение

Нефтяная и газовая промышленность достигли значительных успехов в улучшении производительности бурения за счет

высокотехнологичных скважинных инструментов, модернизации процедур бурения, использования современных наземных и морских буровых установок, внедрения технологий искусственного интеллекта для моделирования и обработки больших данных со станций геолого-технологических измерений в реальном времени. Оснащение бурильщика программно-аппаратными комплексами подготовки решений в режиме реального времени является ключом к повышению операционной эффективности, снижению затрат при строительстве нефтяных и газовых скважин, обеспечению производственной и экологической безопасности.

## Итоги

По результатам работ создана уникальная система предупреждения осложнений и аварий при строительстве скважин. Получены первые в России и за рубежом два патента, и зарегистрировано шесть свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

## Выводы

Интеллектуальная система предупреждения осложнений типа «прихват», «поглощение» при строительстве скважин позволяет выявлять возможные нештатные ситуации заблаговременно, чтобы бурильщик смог в режиме реального времени совершить своевременные действия по их предотвращению или же минимизации возможных последствий. Система способствует увеличению продуктивного времени бурения скважин и минимизирует риски возникновения осложнений и аварий при строительстве скважин на суше и на море.

## Литература

1. Дмитриевский А.Н., Дуплякин В.О., Еремин Н.А., Капранов В.В. Алгоритм создания нейросетевой модели для классификации в системах предупреждения осложнений и аварийных ситуаций при строительстве нефтяных и газовых скважин // Датчики и системы. 2019. № 12. С. 3–10.
2. Линд Ю.Б., Мулюков Р.А., Кабирова А.Р., Мурзагалин А.Р. Оперативное прогнозирование осложнений при бурении // Нефтяное хозяйство. 2013. № 2. С. 55–57.
3. Еремин Н.А. Моделирование месторождений углеводородов методами нечеткой логики. М.: Наука, 1994. 462 с.
4. Еремин Н.А., Черников А.Д., Сарданашвили О.Н., Столяров В.Е., Архипов А.И. Цифровые технологии строительства скважин. Создание высокопроизводительной автоматизированной системы предотвращения осложнений и аварийных ситуаций в процессе строительства нефтяных и газовых скважин // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2020. № 4. С. 38–50.
5. Ивлев А.П., Еремин Н.А. Петророботика: роботизированные буровые комплексы. Бурение и нефть, 2018. № 2. С. 8–12.
6. Лоерманс Т. Расширенные геолого-технические исследования скважин: первые среди равных // Георесурсы. 2017. Т. 19. № 3. С. 216–221.
7. Cornel S., Vazquez G. Use of big data and machine learning to optimise operational performance and drill bit design. SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition, Virtual, November 2020.

SPE-202243-MS. (In Eng).

8. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Сафарова Е.А., Филиппова Д.С., Бороздин С.О. Качественный анализ геоданных временного ряда для предупреждения осложнений и аварийных ситуаций при бурении нефтяных и газовых скважин // SOCAR Proceedings. 2020. № 3. С. 31–37.
9. Paulinus Abhyudaya Bimastianto; Shreepad Purushottam Khambete; Hamdan Mohamed Alsaadi; Suhail Mohammed Al Ameri; Erwan Couzigou; Adel A/Rahman Al-Marzouqi; Fahed Salem Al Ameri; Said Aboulaban; Husam Khater; Philippe Herve. Application of Artificial Intelligence and Machine Learning to Detect Drilling Anomalies Leading to Stuck Pipe Incidents. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, Abu Dhabi, UAE, November 2021. SPE-207987-MS. (In Eng).
10. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Черников А.Д., Наумов А.В., Грязнов А.В., Молошиков И.А., Бороздин С.О., Сафарова Е.А. Об увеличении продуктивного времени бурения нефтегазовых скважин с использованием методов машинного обучения // Георесурсы. 2020. Т. 22. № 4. С. 79–85.
11. Rassenfoss S. A robot takes over the drilling floor. URL: <https://jpt.spe.org/a-robot-takes-over-the-drilling-floor>. (In Eng).
12. Черников А.Д., Еремин Н.А., Столяров В.Е., Сбоев А.Г., Семенова-Чачина О.К., Фицнер Л.К. Применение методов искусственного интеллекта для выявления и прогнозирования осложнений при строительстве нефтяных и газовых скважин: проблемы и основные направления решения // Георесурсы. 2020. Т. 22. № 3. С. 87–96.
13. Rakhimov R.R., Zhdaneev O.V., Frolov K.N., Babich M.P. Stuck pipe early detection on extended reach wells using ensemble method of machine learning. SPE Russian petroleum technology conference, Virtual, October 2021. SPE -206516-MS. (In Eng).
14. Архипов А.И., Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Черников А.Д., Бороздин С.О., Сафарова Е.А., Сейнароев М.Р. Анализ качества данных станции геолого-технологических исследований при распознавании поглощений и газонефтеводопроявлений для повышения точности прогнозирования нейросетевых алгоритмов // Нефтяное хозяйство. 2020. № 8. С. 63–67.
15. Othman E.B., Gomes D., Tengku B., Tengku E.B., Meor H., Meor M.H., Yusoff M.H., Arriffin M.F., Rohaizat G. Application of machine learning to augment wellbore geometry-related stuck pipe risk identification in real time. Offshore technology conference Asia, Virtual and Kuala Lumpur, Malaysia, March 2022. OTC-31695-MS. (In Eng).
16. Borozdin S., Dmitrievsky A., Eremin N., Arkhipov A., Sboev A., Chashchina-Semenova O., Fitzner L., Safarova E. Drilling problems forecast system based on neural network. SPE annual Caspian technical conference, 2020. SPE-202546-MS. (In Eng).
17. Zhu Qi. Treatment and prevention of stuck pipe based on artificial neural networks analysis. Offshore technology conference Asia, Virtual and Kuala Lumpur, Malaysia, March 2022, OTC-31693-MS. (In Eng).

18. Bahlany, Salah, Maharbi, Mohammed, Zakwani, Saud, Busaidi, Faisal, and Ferrante Benvenuti. STEP change in preventing stuck pipe and tight hole events using machine learning. Abu Dhabi international petroleum exhibition & conference, Abu Dhabi, UAE, November 2021, SPE-207823-MS. (In Eng).
19. Romberg E., Fisher A., Mazza J., Niedz C., Wehner B., Zhou A. Predicting trouble stages with geomechanical measurements and machine learning: a case study on southern midland basin horizontal completions. SPE annual technical conference and exhibition, Virtual, October 2020, SPE-201699-MS. (In Eng).
20. Iversen F.P., Thorogood J.L., Macpherson J.D., Macmillan R.A. Business models and kpis as drivers for drilling automation. Paper presented at the SPE Intelligent Energy International Conference and Exhibition, Aberdeen, Scotland, UK, September 2016, SPE-181047-MS. (In Eng).

## ENGLISH

### Results

An intelligent system for preventing complications such as “sticking”, “absorption” during well construction allows you to identify possible emergency situations in advance so that the driller can take timely actions in real time to prevent them or minimize possible consequences. The system contributes to an increase in the productive time of drilling and wells and minimizes the risks of complications and accidents during the construction of wells onshore and offshore.

### Conclusions

Based on the results of the work, a unique system was created to prevent complications and accidents during well construction. The first two patents in Russia and abroad were received, and six certificates of registration of computer programs were registered.

### References

- Dmitrievsky A.N., Duplyakin V.O., Eremin N.A., Kapranov V.V. 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*, 2019, issue 12, P. 3–10. (In Russ).
- Lind Yu.B., Mulyukov R.A., Kabirova A.R., Murzagalin A.R. Online prediction of troubles in drilling process. *Oil industry*, 2013, issue 2, P. 55–57. (In Russ).
- Eremin N.A. Modeling of hydrocarbon deposits by fuzzy logic methods. Moscow: Nauka, 1994, 462 p. (In Russ).
- Eremin N.A., Chernikov A.D., Sardanashvili O.N., Stolyarov V.E., Arkhipov A.I. Digital well construction technologies. Creation of a high-performance automated system for preventing complications and emergencies during the construction of oil and gas wells. *Neftegaz.RU*, 2020, issue 4, P. 38–50. (In Russ).
- Ivlev A.P., Eremin N.A. Petrobotics: robotic drilling systems. *Drilling and Oil*, 2018, issue 2, P. 8–12. (In Russ).
- Loermans T. AML (advanced mud logging): first among equals. *Georesursy*, 2017, Vol. 19, issue 3, P. 216–221. (In Russ).
- Cornel S., Vazquez G. Use of big data and machine learning to optimise operational performance and drill bit design. SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition, Virtual, November 2020. SPE-202243-MS. (In Eng).
- Dmitrievsky A.N., Eremin N.A., Safarova E.A., Filippova D.S., Borozdin S.O. Qualitative analysis of time series GeoData to prevent complications and emergencies during drilling of oil and gas wells. *SOCAR proceedings*, 2020, issue 3, P. 31–37. (In Russ).
- Paulinus Abhyudaya Bimastianto, Shreepad Purushottam Khambete, Hamdan Mohamed Alsaadi, Suhail Mohammed Al Ameri, Erwan Couzigou, Adel A/Rahman Al-Marzouqi, Fahed Salem Al Ameri, Said Aboulaban, Husam Khater, Philippe Herve. Application of Artificial Intelligence and Machine Learning to Detect Drilling Anomalies Leading to Stuck Pipe Incidents. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, Abu Dhabi, UAE, November 2021. SPE-207987-MS. (In Eng).
- Dmitrievsky A.N., Sboev A.G., Eremin N.A., Chernikov A.D., Naumov A.V., Gryaznov A.V., Moloshnikov I.A., Borozdin S.O., Safarova E.A. On increasing the productive time of drilling oil and gas wells using machine learning methods. *Georesursy*, Vol. 22, issue 4, P. 79–85. (In Russ).
- Rassenfoss S. A robot takes over the drilling floor. URL: <https://jpt.spe.org/a-robot-takes-over-the-drilling-floor>. (In Eng).
- Chernikov A.D., Eremin N.A., Stolyarov V.E., Sboev A.G., Semenova-Chashchina O.K., Fitsner L.K. Application of artificial intelligence methods for identifying and predicting complications in the construction of oil and gas wells: problems and solutions. *Georesursy*, Vol. 22, issue 3, P. 87–96. (In Russ).
- Rakhimov R.R., Zhdaneev O.V., Frolov K.N., Babich M.P. Stuck pipe early detection on extended reach wells using ensemble method of machine learning. SPE Russian petroleum technology conference, Virtual, October 2021. SPE-206516-MS. (In Eng).
- Arkhipov A.I., Dmitrievsky A.N., Eremin N.A., Chernikov A.D., Borozdin S.O., Safarova E.A., Seinaroev M.R. 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*, 2020, issue 8, P. 63–67. (In Russ).
- Othman E.B., Gomes D., Tengku B., Tengku E.B., Meor H., Meor M.H., Yusoff M.H., Arriffin M.F., Rohaizat G. Application of machine learning to augment wellbore geometry-related stuck pipe risk identification in real time. Offshore technology conference Asia, Virtual and Kuala Lumpur, Malaysia, March 2022. OTC-31695-MS. (In Eng).
- Borozdin S., Dmitrievsky A., Eremin N., Arkhipov A., Sboev A., Chashchina-Semenova O., Fitzner L., Safarova E. Drilling problems forecast system based on neural network. SPE annual Caspian technical conference, 2020. SPE-202546-MS. (In Eng).
- Zhu Qi. Treatment and prevention of stuck pipe based on artificial neural networks analysis. Offshore technology conference Asia, Virtual and Kuala Lumpur, Malaysia, March 2022, OTC-31693-MS. (In Eng).
- Bahlany, Salah, Maharbi, Mohammed, Zakwani, Saud, Busaidi, Faisal, and Ferrante Benvenuti. STEP change in preventing stuck pipe and tight hole events using machine learning. Abu Dhabi international petroleum exhibition & conference, Abu Dhabi, UAE, November 2021, SPE-207823-MS. (In Eng).
- Romberg E., Fisher A., Mazza J., Niedz C., Wehner B., Zhou A. Predicting trouble stages with geomechanical measurements and machine learning: a case study on southern midland basin horizontal completions. SPE annual technical conference and exhibition, Virtual, October 2020, SPE-201699-MS. (In Eng).
- Iversen F.P., Thorogood J.L., Macpherson J.D., Macmillan R.A. Business models and kpis as drivers for drilling automation. Paper presented at the SPE Intelligent Energy International Conference and Exhibition, Aberdeen, Scotland, UK, September 2016, SPE-181047-MS. (In Eng).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Алали Валид**, аспирант, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Россия  
**Для контактов:** [walidalali@gubkin.ru](mailto:walidalali@gubkin.ru)

**Еремин Николай Александрович**, д.т.н., г.н.с., заведующий аналитическим центром экономической политики и безопасности, Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия

**Alali Walid**, postgraduate student, Gubkin University, Moscow, Russia  
**Corresponding author:** [walidalali@gubkin.ru](mailto:walidalali@gubkin.ru)

**Eremin Nikolai Alexandrovich**, doctor of technical sciences, chief research officer, head of the analytical center for economic policy and security, Oil and gas research institute RAS, Moscow, Russia