

№5-6(92) декабрь 2021

НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

БЕК

Влияние ставки НДПИ на инвестиции.
Экспертные оценки полноты извлечения
полезных ископаемых

ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ
УГЛЕВОДОРОДНОЕ СЫРЬЕ
ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ



НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

XXI ВЕК

Научно-технический журнал

Nedropolzovanie XXI vek

Межотраслевой
научно-технический журнал

№ 5-6 декабрь 2021

Издается с ноября 2006

12+

УЧРЕДИТЕЛЬ

Ассоциация организаций в области недропользования
«Национальная ассоциация по экспертизе недр»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Д.Б. Бурдин, главный геолог ФБУ «ГКЗ», заместитель председателя
ЦКР-ТПИ Роснедра, канд. экон. наук

ПАРТНЕР ЖУРНАЛА

Ассоциация по координации деятельности недропользователей
«Научно-технический центр инновационного недропользования», www.tcin.ru

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ЭКСПЕРТНОГО СОВЕТА

А.А. Гермаханов, директор Департамента государственной политики и
регулирования в области геологии и недропользования Минприроды России.

ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

Н.Н. Андреева, профессор ГУНГ им. И.М. Губкина, д-р техн. наук
С.Ю. Глазьев, академик РАН
И.С. Гутман, профессор ГУНГ им. И.М. Губкина, канд. геол.-мин. наук
А.Н. Дмитриевский, академик РАН, д-р геол.-минерал. наук
И.С. Закиров, председатель совета директоров ООО «ПЕТЕК»
Е.И. Петров, руководитель Федерального агентства по недропользованию
О.С. Каспаров, заместитель руководителя Федерального агентства по
недропользованию
А.В. Третьяков, директор АООН «НАЭН»
С.Г. Кашуба, председатель НП «Союз золотопромышленников»
Е.А. Козловский, вице-президент РАЕН, профессор ГГ У, д-р техн. наук
А.Э. Конторович, академик РАН, д-р геол.-минерал. наук
М.Ф. Корнилов, генеральный директор ООО «Новая сырьевая компания»
Давид МакДональд, вице-президент по запасам British Petroleum, Председатель
экспертной группы по ресурсным классификациям (EGRC) при ЕЭК ООН
Ю.Н. Малышев, почетный президент НП «Горнопромышленники России»,
президент Академии горных наук, академик РАН
П.Н. Мельников, генеральный директор ФГБУ «ВНИГНИ», канд. геол.-минерал. наук
С.М. Мионов, депутат ГД, руководитель фракции партии «Справедливая
Россия» в ГД
Р.Х. Муслимов, консультант президента республики Татарстан по вопросам
разработки нефтяных и нефтегазовых месторождений, д-р геол.-минерал. наук,
профессор КФУ, академик АН РТ
Д.Л. Никишин, заместитель директора по правовым вопросам ФГКУ
«Росгеолэкспертиза», канд. юрид. наук, заместитель главного редактора
А.В. Пак, заместитель генерального директора ООО «Интернедра Менеджмент»
(управляющая компания ЗАО «ОГК Групп» и дочерних обществ)
К.Н. Трубецкой, главный научный сотрудник УРАН ИПКОН РАН, академик РАН
П.П. Повзжик, заместитель генерального директора ПО «Беларуснефть», канд. техн. наук

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

А.А. Герт, директор ООО «Сибирский НТЦ нефти и газа», д-р экон. наук, профессор
А.И. Черных, генеральный директор ЦНИГРИ, канд. геол.-минерал. наук
В.М. Аленичев, главный научный сотрудник Института горного дела УрО РАН,
профессор, д-р техн. наук
Т.В. Башлыкова, директор НВП Центр – ЭСТАго
А.А. Романченко, действительный член, заместитель руководителя, научно-
технический консультант Академии Горных Наук, генеральный директор ООО
«ЕМС-майнинг», канд. техн. наук
Н.А. Еремин, д-р техн. наук, заместитель директора по инновационной работе ИПНГ РАН
В.И. Воропаев, главный геолог ФБУ «ГКЗ»
Н.Д. Вержанская, первый заместитель генерального директора ООО «Сентябрь»
Р.Г. Джамалов, зав. лабораторией Института водных проблем РАН, д-р геол.-мин.
наук, академик РАЕН
В.М. Зуев, заместитель начальника аналитического управления ПАО АК «Алроса»
А.Б. Лазарев, начальник управления запасов ТПИ – главный геолог ФБУ «ГКЗ»
Т.П. Линде, ученый секретарь ФБУ «ГКЗ», канд. экон. наук
Е.С. Ловчева, начальник отдела подземных вод ФБУ «ГКЗ»
Н.С. Пономарев, руководитель Тимано-Печерской нефтегазовой секции ЦК Роснедра по
УВС, заместитель руководителя Центральной нефтегазовой секции ЦКР Роснедра по УВС
И.Ю. Рассказов, директор ИГД ДВО РАН, д-р техн. наук
М.И. Саакян, старший Вице-президент Заместитель Директора Филиала
«ДеГольер энд МакНотон», канд. геол.-минерал. наук
Н.А. Сергеева, начальник управления по недропользованию ПАО
Сургутнефтегаз, канд. экон. наук
Н.И. Толстых, вице-президент НОУ «Школа Право ТЭК»
С.В. Шаклеин, ведущий научный сотрудник Федерального исследовательского
центра угля и углехимии СО РАН, д-р техн. наук
А.Н. Шандрыгин, начальник отдела ИТЦ ООО ООО «Газпром
геологоразведка», д-р техн. наук

ПРЕДСТАВИТЕЛИ:

От Федеральных округов РФ

Центральный федеральный округ
С.С. Серый, ФГУП ВООГЕМ, заместитель директора по науке,
канд. техн. наук, lggt@mail.ru

Северо-Западный федеральный округ

С.В. Лукичев, начальник отдела Горного института КНЦ РАН, д-р техн. наук,
lu24@goi.kolasc.net.ru

Приволжский федеральный округ

А.К. Вишняков, заведующий лабораторией ЦНИИГеолнеруд, канд. геол.-мин. наук,
root@geolnerud.net, Technology-geolnerud@yandex.ru

Южный федеральный округ

И.И. Сендецкий, генеральный директор ООО Южный центр Экспертизы недр,
канд. геол.-мин. наук, yug-ekspertiza@mail.ru

Уральский федеральный округ

А.В. Гальянов, профессор кафедры маркшейдерии Уральского
государственного горного университета, д-р техн. наук, sgimd@mail.ru

Сибирский федеральный округ

С.В. Костюченко, заместитель директора ООО СИАМ-Инжиниринг, д-р техн. наук,
KostuchenkoSV@siamoil.ru

В зарубежных государствах

Австралийский Союз

М.В. Середкин, ведущий геолог CSA Global, Maxim.Seredkin@csaglobal.com

Азербайджанская республика

И.С. Гулиев, вице-президент Национальной Академии наук
Азербайджана, академик НАНА, iguliyev@gia.az, ant@azdata.az

Кыргызская республика

И.К. Чунуев, профессор Кыргызского государственного университета
геологии, горного дела и освоения природных ресурсов, канд. техн. наук,
ichunuiev@gmail.com

А.В. Рогольский, исполнительный директор Кыргызского общества экспертов недр
О.В. Ким, управляющий директор Kazakhstan mineral company, канд. геол.-мин.
наук, okim@wkmk.kz

Республика Армения

Ю.А. Агабалиян, профессор Государственного инженерного университета
Армении, д-р техн. наук, aghabalyan@mail.ru

Республика Беларусь

Я.Г. Грибик, заведующий лабораторией геотектоники и геофизики Института
природопользования НАН Беларуси, канд. геол.-мин. наук, yaroslavgribik@tut.by

Республика Казахстан

В.В. Данилов, технический директор Kazakhstan mineral company, vdanilov@wkmk.kz

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Руководитель – Денис Бурдин, burdin@naen.ru, d.b.buridin@yandex.ru
Ведущий аналитик – Сергей Матвейчук, matvichuk@naen.ru
Ведущий редактор – Елена Поваренкова, e.povarenkova@yandex.ru
Верстка – Мария Даценко, mary-ast@mail.ru

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

115054, Москва, Б. Строченковский пер., 7, оф. 509

Тел.: +7 (495) 780-33-12

www.naen.ru

info@naen.ru, e.povarenkova@yandex.ru, matvichuk@naen.ru

Подписано в печать 15.06.2021

Формат 60x90/8, объем 19 п.л.

Печать: ООО «Ролликс»

Заявленный тираж 5000 экз.

Подписные индексы по каталогам:

«Роспечать» – 81974, «Книга Сервис» – 86297

«Недропользование XXI век», 2020.

Перепечатка материалов журнала «Недропользование XXI век» невозможна без
письменного разрешения редакции.

При цитировании ссылка на журнал «Недропользование XXI век» обязательна.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов.

Журнал по решению ВАК Министерства образования и науки РФ включен в
«Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть
опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых
степеней доктора и кандидата наук».

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС77-28159 от 25.05.2007.

ISSN 1998-4685

ТЕМА НОМЕРА

Влияние ставки НДС на инвестиции. Экспертные оценки полноты извлечения полезных ископаемых

№5-6

декабрь
2021**НАУКИ О ЗЕМЛЕ. СЫРЬЕВАЯ БАЗА И ГЕОЛОГОРАЗВЕДКА**

- 6 *А.Н. Дмитриевский, Н.А. Еремин, А. И. Архипов, А.Д. Черников, Л.И. Зинатуллина*
Применение методов искусственного интеллекта в задачах предотвращения аварийных ситуаций при строительстве скважин
- 16 *И.З. Мессерман, В.И. Яшина*
Вопросы оптимизации количественной оценки прогнозных ресурсов

ЭКОНОМИКА НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

- 22 *Г. М. Горкин, Т. М. Царегородцева Т.М.*
Влияние налоговой системы на развитие добывающей промышленности
- 26 *В.П. Иванов, К.В. Охотников*
Влияние ставки НДС на консолидацию инвестиций при разработке угольных запасов в границах лицензии недропользования
- 34 *А. Н. Лопатников, А. Ю. Румянцев*
Сырьевые суперциклы, инвестиции и горная аналитика

ЭКОЛОГИЯ

- 48 *М. М. Шац, В. Н. Макаров*
Экологические условия начального этапа освоения месторождения серебра Вертикальное (Северо-Восточная Якутия)

НАУКИ О ЗЕМЛЕ: СЕРВИС И ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ

- 56 *О.С. Каспаров, А.А. Гермаханов, А.А. Герт, О. А. Сергеев, И.В. Филимонова, Ю.М. Тонконогов*
Проблемы и перспективы использования новых технологий разведки и добычи нефти и газа малыми предприятиями (на примере Томской области)
- 64 *В. П. Дробаденко, О.А. Луконина, К.С. Некоз, И. Н. Салахов*
Повышение эффективности процесса гидротранспортирования путем контроля рациональных режимов работы грунтонасосов, измеряемых гидродинамическим расходомером переменного перепада давления

НОВОСТИ**ДИСКУССИОННЫЙ КЛУБ**

- 82 *М. А. Богуславский, Д. И. Вильданов*
Стратегия развития МСБ РФ до 2035 через призму работы Федерального агентства по недропользованию
- 90 *В.Н. Устьянцев*
Разломы как проводники волн энергии. Стационарные энергетические центры

ГОРНОЕ ПРАВО

- 94 *Р.О. Шамордин*
Актуальные вопросы реоформления лицензий на пользование недрами и внесения в них изменений и дополнений

ISSUE TOPIC

The impact of the MET rate on investments. Expert assessments of the completeness of mineral extraction

№5-6

December
2021**GEOSCIENCES: MINERAL RESOURCES BASE AND GEOLOGIC EXPLORATION**

- 6 *A.N. Dmitrievsky, N.A. Eremin, A.I. Arkhipov, A.D. Chernikov, L.I. Zinatullina*
Automated system for preventing accidents during well construction using artificial intelligence methods
- 16 *I.Z. Messman, V.I. Yashina*
Optimization of the quantitative assessment of forecast resources

SUBSOIL USE ECONOMICS

- 22 *G.M. Gorkin, T.M. Tsaregorodtseva*
Impact of the tax system on the development of the mineral-resource extraction industry
- 26 *V.P. Ivanov K.V. Okhotnikov*
Impact of the MET rate on the consolidation of investments in the development of coal reserves within the boundaries of a subsoil use license
- 41 *A.N. Lopatnikov, A.Yu. Rumyantsev*
Commodity Supercycles, Investments, and Mining Analytics

ECOLOGY

- 48 *M.M. Shatz, V.N. Makarov*
Ecological conditions of the initial stage of development of the Vertical deposit (East Yakutia)

GEOSCIENCES: SERVICE AND IMPORT SUBSTITUTION

- 56 *O.S. Kasparov, A.A. Germakhanov, A.A. Gert, O. A. Sergeev, I.V. Filimonova, Yu.M. Tonkonogov*
Problems and prospects for the use of new technologies for exploration and production of oil and gas by small enterprises (using the example of the Tomsk region)
- 64 *V.P. Drobachenko, O.A. Lukonina, K.S. Nekoz, I.N. Salakhov*
Improving the efficiency of the hydrotransportation process by monitoring and maintaining rational operating modes of dredge pumps, measured by a variable-volume pressure drop flowmeter

NEWS**DISCUSSION CLUB**

- 82 *M.A. Boguslavsky, D.I. Vildanov*
Strategy for the development of SMEs of the Russian Federation until 2035 through the prism of the Federal Agency for Subsoil Use
- 90 *V.N. Ustyantsev*
Faults as conductors of energy waves. Stationary energy centers

MINING LAW

- 94 *R.O. Shamordin*
Topical issues of renewal of licenses for the use of subsoil and amendments and additions to them



Дмитриевский А. Н.
академик РАН, д-р геол.-минерал.
Наук., ИПНГ РАН, профессор РГУ нефти
и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
a.dmitrievsky@ipng.ru



Еремин Н. А.
д-р техн. наук, зам. директора ИПНГ
РАН, профессор РГУ нефти и газа (НИУ)
имени И.М. Губкина,
ernn@mail.ru



Архипов А.И.
к.т.н, доцент РГУ нефти и газа (НИУ)
имени И.М. Губкина,
arhipov.ai@gubkin.ru



Черников А.Д.
к.т.н, ведущий научный сотрудник ИПНГ РАН,
cha60@mail.ru



Зинатуллина Л.И.
младший научный сотрудник ИПНГ РАН,
liya_zinatullina@mail.ru

Применение методов искусственного интеллекта в задачах предотвращения аварийных ситуаций при строительстве скважин

В статье приводится описание созданной автоматизированной системы предотвращения аварийных ситуаций при строительстве скважин с использованием методов искусственного интеллекта. В работе использовались большие объемы данных, получаемые в режиме реального времени со станций геолого-технологический измерений при бурении. В статье обоснован выбор оперативных и эффективных методов предотвращения осложнений и аварийных ситуаций при строительстве нефтяных и газовых скважин с применением методов искусственного интеллекта. Значительная часть работы была посвящена предварительной обработке данных, выбору системы признаков для каждого осложнения, нормировке и разметке входных больших данных. По результатам работы в течении 2019-2021 гг. были получены шесть свидетельств регистрации программ для ЭВМ и два патента на изобретение.

Ключевые слова: бурение нефтяных и газовых скважин, геолого-технологические исследования, большие данные, предотвращение аварий и осложнений, нейронные сети, искусственный интеллект, автоматизированная система, строительство скважин, нейросетевое моделирование.

На разрабатываемых нефтегазовых месторождениях главной частью основных фондов являются скважины. На строительство скважин приходится более 40% всех инвестиций в нефтегазодобычу. При бурении скважин в среднем 5-25% от времени строительства уходит на борьбу с осложнениями и авариями. Учитывая тенденцию к повышению стоимости бурения скважин, возникновение осложнений становятся все более нежелательными. Сокращение времени на борьбу с осложнениями и ликвидацию аварий является одной из первоочередной задачей для достижения технического предела при строительстве скважин.

В процессе строительства скважин по причинам возникают различного рода осложнения и аварии. Под осложнением понимается потеря времени, вызванная недостаточным знанием горно-геологических условий бурения. Осложнения или их различные сочетания нередко переходят в категорию аварий. Авария – это остановка процесса строительства скважины, вызванное поломкой оборудования или несоблюдением проектных технологических решений, для устранения которой требуется проведение специальных работ. Основными видами осложнений являются: поглощения бурового раствора (см. рис. 1 а), затажки буровой колонны (см. рис. 1 б) и газонефтеводопроявления (ГНВП) (см. рис. 1 в). Доля основных осложнений составляет более 85% от общего числа фиксируемых осложнений; при этом в годовом балансе непроизводительных затрат доля затрат на их устранение составляет от 5 до 25% стоимости строительства скважин.

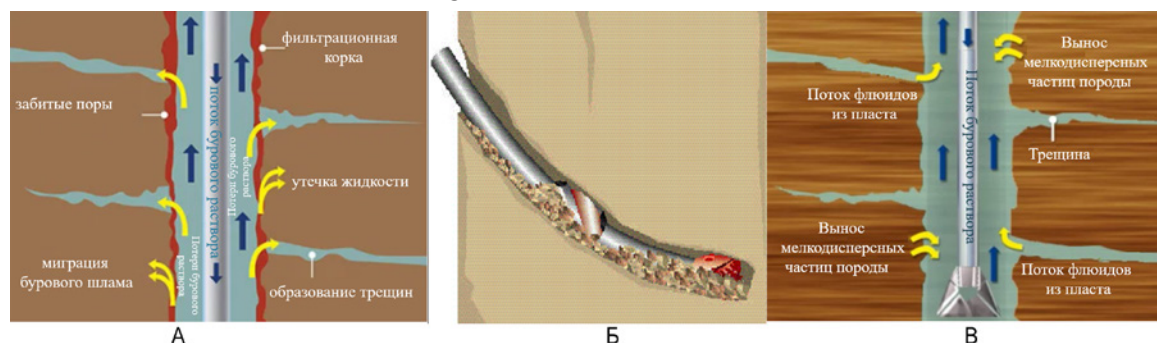
Поглощение бурового раствора может возникать как по причине естественной трещиноватости горной породы, так и по причине гидроразрыва пласта вследствие избыточного давления на стенки скважины. Вероятность вскрытия зоны частичного или катастрофического поглощения может быть очень высокой. При этом успешность применения традиционных технологий для ликвида-

ции поглощений зачастую составляет менее 30%. Затажки буровой колонны, произошедшие по различным причинам, могут являться предвестниками прихвата буровой колонны (см. рис. 1 б). Осложнения в виде газонефтеводопроявления – это неконтролируемое поступление пластовых флюидов по естественным или техногенным каналам (разломы, трещины) в ствол скважины, которые могут перейти в аварийные выбросы и открытое фонтанирование (см. рис. 1 в). Методы машинного обучения могут быть использованы для выявления различных осложнений на ранней стадии с целью предотвращения аварий и экологических катастроф, и в конечном итоге снижения общих затрат на строительство скважин.

Компании естественным образом стремятся сократить издержки на строительство скважин, в том числе применяя современные средства автоматизации. Так, неотъемлемой частью бурения нефтегазовых скважин является проведение геолого-технологических исследований (ГТИ). Передача больших массивов данных со станций ГТИ при бурении организуется с использованием современных каналов связи и протоколов обмена информацией типа (WITSML – Wellsite Information Transfer Standard Markup Language). Данный подход позволяет организовать в центре сопровождения бурения скважин непрерывный автоматический контроль процессов и качества бурения. Специализированные удаленные центры сопровождения бурения, такие как, Центр управления системой инжиниринга бурения скважин ПАО «НК «Роснефть», Центр управления бурением «ГеоНавигатор» группы компаний «Газпром нефть», Центр управления буровых работ ПАО «Татнефть», и другие, доказали высокую эффективность как в снижении стоимости работ, так минимизации календарного времени строительства скважин. При этом в качестве инструмента анализа поступающей информации и систем поддержки принятия решений все чаще применяются методы искусственного интеллекта.

Рис. 1.

Основные виды осложнений при бурении скважин, где, а – поглощения; б – затажки; в – газонефтеводопроявления. Источники: по AONG и Schlumberger.



Машинное обучение, искусственные нейронные сети (ИНН) и нечеткая логика, уже более 20 лет применяются при строительстве скважин [1-12]. Так, первая система диагностики буровых долот на основе применения нейронных сетей было создана еще в 1989 году. Решающее значение в повышении эффективности строительства скважин приобретает возможность быстрой и качественной обработки больших массивов геолого-технологической информации на основе применения современных высокопроизводительных вычислительных информационных технологий. В созданной автоматизированной системе предотвращения аварийных ситуаций при строительстве скважин с использованием методов искусственного интеллекта предложена распределенная по уровням структура контроля и управления процессом бурения [13-21]. Оперативное управление и краткосрочное прогнозирование режимов выполняются как непосредственно на буровой, так и удаленно в центре бурения скважин. Одним из способов повышения эффективности бурения и строительства является быстрое принятие решений по предотвращению аварийных ситуаций с помощью инструментов искусственного интеллекта по обработке стриминговых или потоковых данных бурения. Методы искусственного интеллекта используются для сокращения непроизводительных потерь времени при выполнении операций бурения и заканчивания скважин.

Одним из примеров такого подхода является созданный программно-аппаратный комплекс для прогнозирования и предотвращения осложнений в процессе бурения состоит из программных компонент (ПК): «Нефтегазовый блокчейн», «Нейросетевые расчеты – построение моделей прогноза осложнений и аварийных ситуаций при бурении и строительстве скважин», «Адаптация обобщенных нейросетевых моделей прогнозирования осложнений и аварийных ситуаций к геофизическим параметрам при бурении конкретной скважины», «Индикация прогноза осложнений и аварийных ситуаций при бурении и строительстве скважин», «Оркестровка» и «Обратная связь».

Программный компонент «Нефтегазовый блокчейн» предназначен для использования в автоматизированной системе предупреждения осложнений и аварийных ситуаций при строительстве нефтяных и газовых скважин в целях обеспечения целостности и безопасности передачи, распределения и сохранения технических и геолого-технологических данных с применением технологий индустриального блокчейна [22].

Программный компонент «Нейросетевые расчеты – построение моделей прогноза осложнений и аварийных ситуаций при бурении и

строительстве скважин» (ПKNP предназначен для принятия превентивных мер по предотвращению осложнений при бурении. Ситуация приближения к аномалии определяется совокупностью параметров и не может быть гарантированно выявлена в результате визуальных наблюдений. Для решения задачи прогнозирования осложнений используется бинарная классификация. Используемые алгоритмы: нейросеть (перцептрон) TensorFlow (Keras). Обобщенные модели прогнозирования осложнений и аварийных ситуаций типа «прихват», «поглощение» и «газо-нефтеводопроявление» в процессе бурения скважины формируются с использованием априорных данных со станций геолого-технологических измерений с других пробуренных скважин, близких по геологическим условиям [23].

Программный компонент «Адаптация обобщенных нейросетевых моделей прогнозирования осложнений и аварийных ситуаций к геофизическим параметрам при бурении конкретной скважины» предназначен для повышения точности прогноза возможных отклонений за счет коррекции (адаптации) исходных (обобщенных) моделей прогнозирования для конкретных скважин. Базовая (обобщенная) модель обобщает всю имеющуюся информацию по каждому типу осложнений по конкретному месторождению или по сумме месторождений с учетом их геологических данных, что расширяет ее общность и возможность адаптации к условиям конкретной скважины [24].

Программный компонент «Индикация прогноза осложнений и аварийных ситуаций при бурении и строительстве скважин» (ПК «Индикация») предназначен для формирования предупредительных сигналов о возможных осложнениях и выдачи рекомендаций для бурильщика по предотвращению последствий прогнозируемых осложнений [25].

Разработанный программный компонент «Оркестровка» организует взаимодействие программных компонентов и модулей, входящих в автоматизированную систему предотвращения осложнений и аварийных ситуаций в процессе строительства нефтяных и газовых скважин. Основным результатом работы данного программного компонента является предупреждение об аварии или осложнении в процессе строительства скважин [26].

Разработанный программный компонент «Обратная связь» выдает рекомендации инженеру-бурильщику в случае возникновения аварии или осложнения. При вероятности прогноза осложнения более 0.5 формируется рекомендация, соответствующая данной аварии или осложнению. Для формирования рекомендаций

разработан алгоритм выбора рекомендаций из базы знаний, содержащейся в основном хранилище данных [27].

Одной из ключевых проблем работы программно-аппаратного комплекса является необходимость работы с реальными промысловыми данными, качество которых зачастую требует большой предварительной обработки и разметки.

Набор данных для обучения должен удовлетворять нескольким критериям: репрезентативность – данные должны иллюстрировать истинное положение вещей в предметной области, и непротиворечивость – противоречивые данные в обучающей выборке приведут к плохому качеству обучения сети. Общее количество параметров, которые регистрируются станциями геолого-технологических исследований (ГТИ) в процессе бурения может составлять десятков и даже сотен. Из множества параметров ГТИ формируется подмножество входных ключевых параметров для моделей искусственных нейронных сетей (ИНС), которые используются для предотвращения осложнений и аварий при бурении. Подмножество входных ключевых параметров для ИНН включает в себя от 20 до 40 характеристик, в том числе синтетические. Высокочастотные данные при бурении скважин записываются в масштабе времени с средней частотой 3-10 сек⁻¹, а также по глубине в масштабе 0,1 м. Данные представляют собой XML файлы, сформированные в стандарте WITSML. Основной массив данных представляют собой временные последовательности (timeseries), что предполагает использование топологии ИНС на базе рекуррентных слоев. В рекуррентных нейронных сетях нейроны обмениваются информацией между собой, таким образом вместе с новыми данными нейрон получает информацию о предыдущем состоянии сети. Рекуррентную нейронную сеть можно описать следующими соотношениями:

$$A_t = f(Vx_t + Uh_{t-1} + b_n)$$

$$y_t = g(Wh_t + b_y)$$

где X_t – входной вектор номер t , h_t – состояние скрытого слоя для входа X_t , Y_t – выход сети для входа X_t , U – весовая матрица распределительного слоя, W – весовая матрица обратных связей скрытого слоя, b_n – вектор сдвигов скрытого слоя, V – весовая матрица выходного слоя, b_y – вектор сдвигов выходного слоя, f – функция активации скрытого слоя, g – функция активации выходного слоя.

Подготовка исходных данных для проведения нейросетевых расчетов состоит из формирования и разметки наборов реально-временных параметров, содержащих данные об аномальных

ситуациях. Модуль **WITSML DataUnit** предназначен для организации упорядоченного хранения данных о процессе бурения (реально-временная и поглубинная информация о технологических параметрах), преобразования (сериализации) данных в формат, предназначенный для использования в нейросетевых расчетах, а также анализа данных о процессе бурения для выбора временных последовательностей и последовательностей по глубине, содержащих информацию об осложнениях и аварийных ситуациях при бурении. Полученные в результате работы модуля данные сохраняются в файловом хранилище, а также в виде связанных таблиц в базе данных MS SQL Server 2019. Модуль использует Energistics Standards DevKit API и объекты данных Energistic для работы с данными в формате WITSML. WITSML – это международный открытый стандарт обмена данными между различными службами и организациями, работающими в нефтегазовой отрасли. WITSML основывается на открытых интернет-стандартах (W3C, SOAP, WSDL, XML) и имеет свой открытый интерфейс прикладных программ (Energistics DevKit API). Текущая рабочая версия – 2.0. Поддержка WITSML-стандарта реализована во всех основных комплексах программ известных производителей. Для работы с данными в формате WITSML и формирования исходных наборов для построения моделей обнаружения и прогнозирования аномалий разработан отдельный программный модуль, состоящий из набора сервисных процедур и клиентской части, написанных на языке C# (.Net Framework 4.7). Блок выбора реально-временной и поглубинной информации, относящейся к осложнениям и аварийным ситуациям, предназначен для выбора и записи фрагментов файлов из набора Realtime Drilling Data, содержащих информацию об осложнениях и аварийных ситуациях (прихват, поглощение и ГНВП). Выбранные фрагменты файлов используются как входные данные для построения моделей обнаружения и прогнозирования аномалий. Основная процедура блока **DailyReportAnalysis** – это процедура, позволяющая в интерактивном режиме просмотреть записи буровых журналов, содержащих информацию об осложнениях или аномальных ситуациях, для каждой скважины и выбрать реально-временные и поглубинные данные для заданных в буровом журнале диапазонов времени и глубины. Алгоритм работы процедуры, следующий: для выбранной скважины, отображается список записей буровых журналов, содержащих информацию о наличии осложнения или аномальной ситуации. Записи выбираются по параметру stateDetailActivity (значения: stuck equipment, mud loss, equipment failure, operation failed, circulation loss) и наличию ключевых слов,

содержащихся в комментариях. Поиск ключевых слов осуществляется с применением NLP (Natural Language Processing). Используются методы токенизации (разделения на предложения и слова), нормализации и лемматизации (приведения слов к канонической форме). Предусмотрена возможность изменения и дополнения набора ключевых слов. В результате просмотра и анализа выбранные данные, содержащие информацию о параметрах, индексированных по времени или глубине, сохраняются в файловом хранилище для дальнейшего использования в расчетах.

Программный компонент «Нейросетевые расчеты» (ПКНР) предназначен для решения задач обнаружения и прогнозирования осложнений при бурении скважин в составе автоматизированной системы предотвращения осложнений в процессе строительства нефтяных и газовых скважин (блоки, входящие в состав ПКНР, показаны на **рисунке 3**) [23]. Программный компонент использует данные ГТИ (реально-временные и поглубинные). ПК «Нейросетевые расчеты» реализует процесс обнаружения и прогнозирования наиболее распространенных и затратных по времени и средствам на ликвидацию осложнений: поглощения буровой промывочной жидкости, прихваты (затяжки) бурового инструмента и газонефтеводопроявления (ГНВП). Принятие необходимых мер, предотвращающих осложнения в работе, возможно при использовании автоматизированных систем, способных прогнозировать ситуацию на основе измерений параметров бурения. Построение такой системы требует решения следующих задач: разработка моделей осложнений при строительстве скважины, использующих регистрируемые данные от станций геолого-технологических измерений на буровой установке; обработка результатов измерений процесса бурения (массивов временных рядов) и прогнозирование их поведения на определенное время ΔT и подстановка спрогнозированных параметров в модель и определение вероятности осложнения. Для решения этих задач в ПКНР используются методы машинного обучения: ИНС (Keras, TensorFlow) и LightGBM для построения моделей осложнений, модель авторегрессионного скользящего среднего ARIMA для прогнозирования временных рядов. Программные средства построения моделей прогнозирования осложнений при бурении реализованы на языке программирования Python 3.6, Jupyter. Принципиальная структурная схема ПКНР, реализующего алгоритмы нейросетевого моделирования для выявления осложнений в процессе строительства нефтяных и газовых скважин, представлена на **рисунке 3**.

Программный компонент (ПК) «Оркестровка» предназначен для организации взаимодействия программных компонентов и модулей, входящих

в автоматизированную систему предотвращения осложнений и аварийных ситуаций в процессе строительства нефтяных и газовых скважин [26]. Программный компонент «Оркестровка» реализует топологию основных производственных процессов при работе автоматизированной системы предотвращения осложнений и аварийных ситуаций в процессе строительства нефтяных и газовых скважин, включающую в себя модули следующих взаимосвязанных операций: прогнозирование аномалий и осложнений в режиме реального времени, формирование предупреждающих сообщений о прогнозных осложнениях и предаварийных ситуациях, передача сформированной информации в программный компонент «Обратная связь» [27]; формирование обобщенных моделей по осложнениям типа «Прихват», «Поглощение» и «Газонефтеводопроявление» («ГНВП»): подготовка исходных данных, построение моделей с использованием модулей программного компонента «Нейросетевые расчеты», запись сформированных моделей в хранилище данных; адаптация моделей прогноза аномалий и осложнений в процессе бурения скважины: сбор и разметка данных, поступающих в режиме реального времени, перестроение модели с использованием модулей программного компонента «Дополнение моделей», запись скорректированных моделей в хранилище данных. Функциональная схема организации производственных процессов, реализуемая с помощью программного компонента «Оркестровка», представлена на **рисунке 4**.

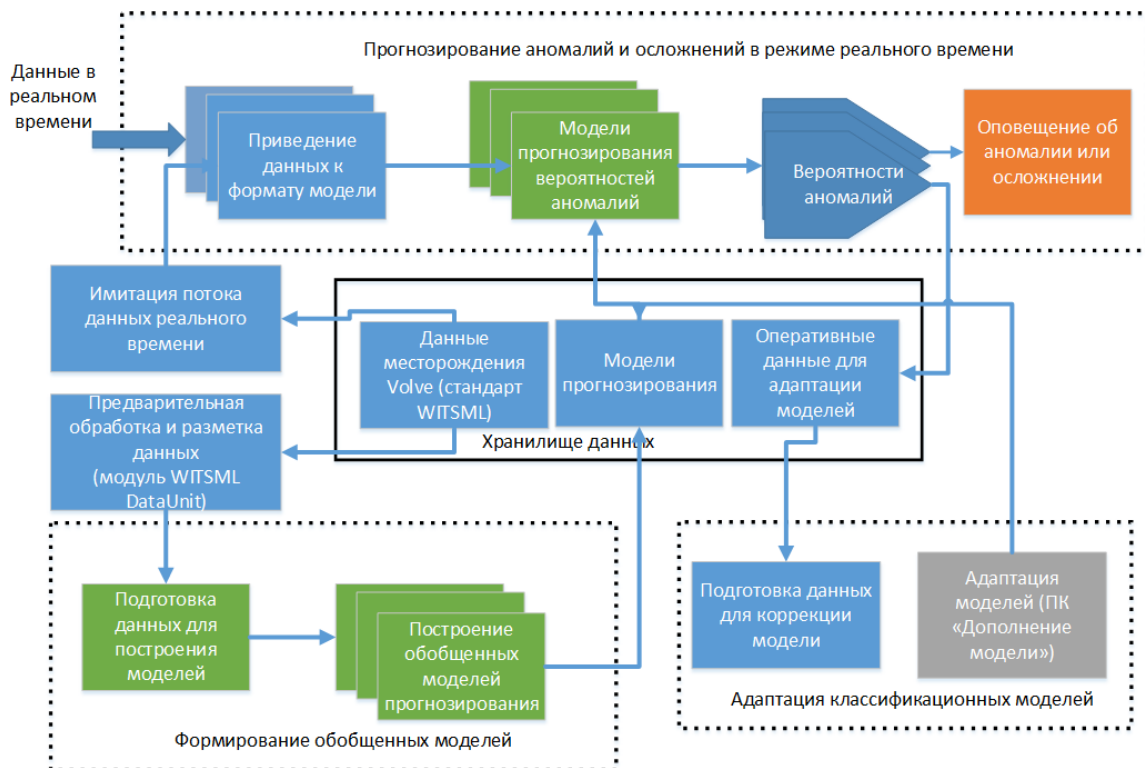
На **рисунке 4** синим цветом обозначены блоки, входящие в состав компонента «Оркестровка» [26], зеленым цветом – блоки, входящие в состав программного компонента «Нейросетевые расчеты» [23], серым цветом – блоки, входящие в состав программного компонента «Адаптация обобщенных нейросетевых моделей прогнозирования осложнений и аварийных ситуаций к геофизическим параметрам при бурении конкретной скважины» [24], и оранжевым цветом – блоки, входящие в состав программного компонента «Обратная связь» [27].

Прогнозирование осуществляется на основе N кадров предыдущей информации (по умолчанию $N=1000$) и прогноз по значениям параметров выдается на M (по умолчанию $M=150$) кадров вперед. Полученные в результате построения прогноза кадры информации используются для оценки вероятности осложнения с помощью моделей прогнозирования, и результаты оценки вероятности осложнений передаются в ПК «Обратная связь» [27]. Дополнительно эти результаты сохраняются (накапливаются) в хранилище данных и затем могут быть использованы в качестве входных данных для адаптации моде-



Рис. 3.
Принципиальная структурная схема ПКНР [23].

Рис. 4.
Функциональная схема организации производственных процессов, реализуемая программным компонентом «Оркестровка» [26].



лей прогнозирования. В блок прогнозирования вероятностей аномалий включены модули, входящие в состав ПК «Нейросетевые расчеты» [23] и выполняющие расчет вероятности возникновения аномалии на время ΔT с использованием актуальных моделей (обобщенных или адаптированных). Актуальные ML или ИНС модели считываются из хранилища данных при загрузке каждого модуля. Модули дополнены блоками, осуществляющими прием и отсылку сообщений с использованием библиотеки ZeroMQ.

Входными данными, используемыми для формирования обобщенных моделей, являются наборы реально-временных данных о процессе бурения, содержащие записи о произошедших осложнениях «Прихват», «Поглощение» и «ГНВП» с указанием момента времени начала осложнения. Процесс формирования обобщенных моделей реализует следующий алгоритм. Выбранные наборы параметров, содержащие записи об осложнениях, поступают в модуль подготовки исходных данных для построения моделей (например, Vorber, ПК «Нейросетевые расчеты» [23]), где производится предварительная обработка и формируется единый массив данных (Dataset), который дополняется разметкой (например, при решении задачи бинарной классификации: 0 – до начала осложнения и 1 – во время осложнения). Сформированный Dataset используется для формирования обобщенной модели с помощью выбранного модуля из ПК «Нейросетевые расчеты». Модули, входящие в состав ПК «Нейросетевые расчеты», реализуют решение задач бинарной классификации с использованием ИНС (Keras) и LightGBM («бустинг», Microsoft), а также реализуют регрессионный метод и метод одноклассовой классификации. Сформированные обобщенные модели прогнозирования аномалий сохраняются в хранилище данных. Блок управления реализует выполнение цепочки модулей для формирования обобщенной модели прогнозирования аномалии. Модуль «Выбор данных и топологии для формирования моделей» (Configure) позволяет выбрать и загрузить наборы данных из хранилища (используется процедура Load) и сформировать конфигурацию процесса, т.е. выбрать необходимые модули из ПК «Нейросетевые расчеты» [23] и определить последовательность их запуска. Блок управления отслеживает выполнение этой последовательности и запускает требуемые модули. Модели, сформированные в процессе работы модулей ПК «Нейросетевые расчеты» [23], записываются в файловую часть хранилища данных. Предусмотрена возможность развертывания модулей процесса формирования обобщенных моделей на вычислительном кластере из 5 узлов.

Адаптация обобщенных моделей [24] – это корректировка моделей с учетом особенностей конкретной скважины. Процесс адаптации моделей на основе данных о процессе бурения на конкретных скважинах реализует следующий алгоритм. В процессе работы блока прогнозирования вероятности аномалий на конкретной скважине идет накопление кадров входной информации для каждой модели прогнозирования. Эта информация распределено заполняет хранилище данных в виде отдельных файлов для каждой модели и скважины. После накопления более чем N кадров с помощью процедур блока адаптации моделей происходит формирование новой скорректированной модели для данной конкретной скважины. Далее производится оценка точности работы скорректированной модели, и по результатам этой оценки формируется сообщение с запросом о загрузке новой (адаптированной) модели в соответствующий модуль блока прогнозирования вероятности аномалий.

Хранилище данных сформировано с использованием файлового хранилища и SQL сервера 2019 (Microsoft). Внутри каждой папки находятся файлы с сохраненными данными обобщенных моделей. Дополнительно каждая из таких папок может содержать сохраненные адаптированные модели для конкретных скважин. Структура WITSML Real Time Drilling Data после предварительной обработки сохраняется в базе Microsoft SQL Server 2019 в виде набора связанных таблиц, содержащих информацию о скважинах и стволах (таблица WellBore), данных о реально-временных параметрах (таблица RT Files), данных о поглубинных параметрах (таблица MD Files), список параметров, регистрируемых в реально-временных и поглубинных записях (таблица LogCurveInfo). Также в виде набора связанных таблиц сохраняются в Microsoft SQL Server 2019 структура и основные данные буровых журналов (WITSML Daily Reports). Эти таблицы используются при анализе WITSML Real Time Data и формировании наборов данных, содержащих информацию об осложнениях/аномалиях.

Программный компонент «Обратная связь» [27] является завершающей частью процесса прогнозирования осложнений и аномалий в режиме реального времени и предназначен для формирования предупреждающих сигналов о возможных осложнениях и выдачи рекомендаций для бурильщика по предотвращению последствий прогнозируемых осложнений. В его состав входят следующие модули:

- 1) Основной модуль, осуществляющий отображение прогноза по осложнениям.
- 2) Модуль выбора параметров ГТИ, регистрируемых на конкретной скважине, или, в

случае режима имитации, выбираемых из записанного в виде WITSML файла набора параметров. Значения выбранных параметров будут отображаться одновременно с вероятностями прогноза осложнений.

3) Модуль формирования рекомендаций («матрица действий») при положительном прогнозе осложнения.

4) Пополняемая и расширяемая база знаний, позволяющая сформировать рекомендации на основе анализа основных параметров и характеристик скважины, в том числе, путем поиска ближайших аналогов по геофизическим условиям.

5) Модуль сбора и записи информации о получаемых прогнозах. Записанная информация сохраняется в хранилище данных для последующего просмотра и анализа.

Основной модуль – это модуль отображения информации в режиме реального времени. Структурная схема основного модуля и его взаимодействия с дополнительными модулями представлена на **рисунке 5**.

Основной модуль ПК «Обратная связь» [27] предназначен для работы в 2-х основных режимах:

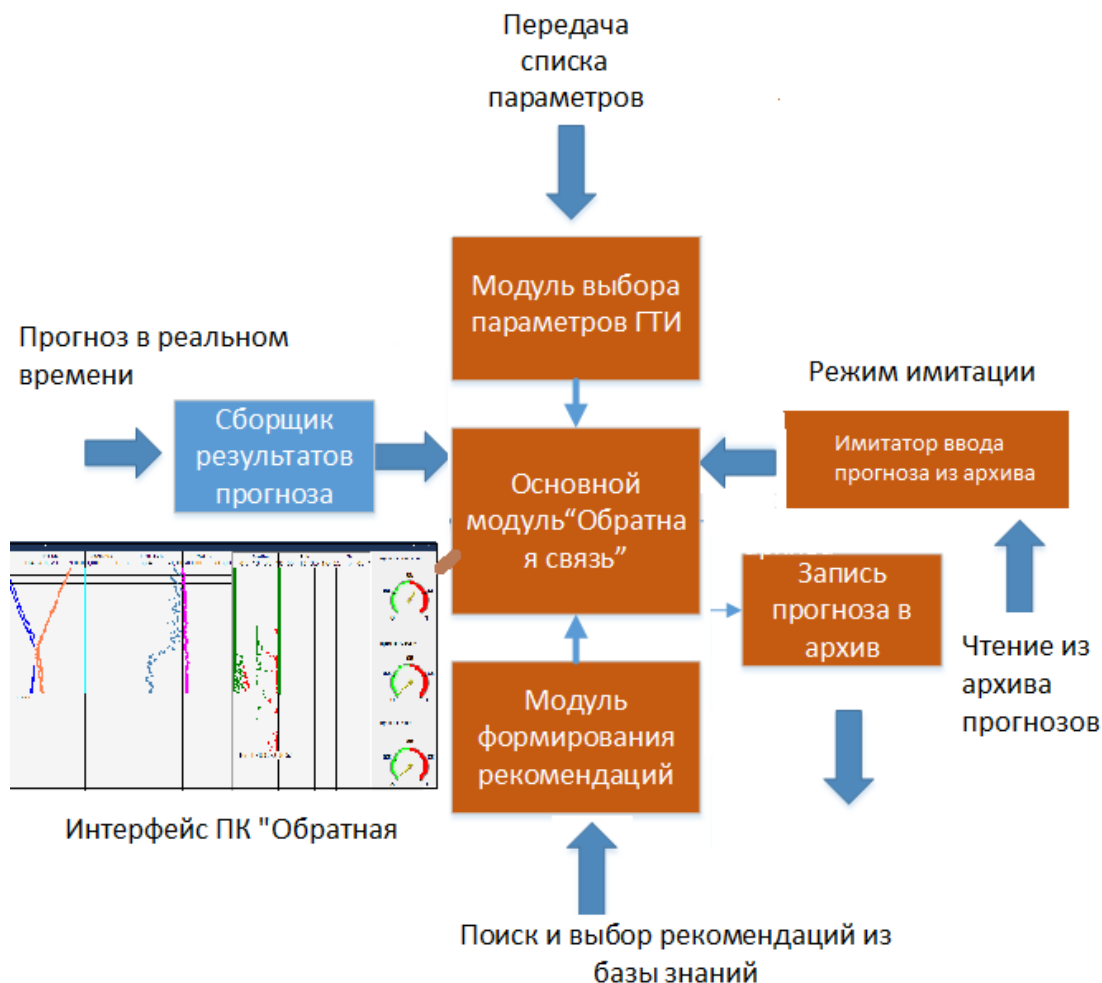
- отображение прогнозируемых осложнений и аномалий в режиме реального времени при работе на конкретной скважине. Результаты прогноза формируются и передаются в модуль с помощью процедуры «Сборщик результатов прогнозов» (входит в состав ПК «Оркестровка» [26]);
- режим имитации, предназначенный для просмотра и анализа записанных в архив прогнозов осложнений. Процедура «Имитатор ввода прогноза из архива» реализует чтение и пошаговый ввод значений параметров ГТИ и результатов прогноза осложнений, сохраненных в архиве.

Интерфейс основного модуля ПК «Обратная связь» [27] состоит из 3-х основных частей:

- 1 – панель отображения выбранных параметров ГТИ в режиме реального времени.
- 2 – панель отображения прогнозов вероятности осложнений. Панель разделена на 3 части по типу осложнений: «Прихват» («Stuck»), «Поглощение» («Mud Loss») и «ГНВП» («Kick»).

Рис. 5.

Структурная схема основного модуля ПК «Обратная связь» [27].



На каждой части панели отображаются в режиме реального времени вероятности прогноза осложнения по текущим параметрам (в левой половине) и по прогнозируемым на N кадров вперед значениям параметров (в правой половине). Построение прогноза и расчет вероятности аномалий выполняются с помощью модулей прогнозирования, входящих в состав ПК «Нейросетевые расчеты» [23]. Значения вероятностей прогноза, большие чем 0.5 (50%), обозначаются красным цветом.

3 – панель, содержащая 3 стрелочных указателя, отображающих значения вероятности осложнения через 150 кадров (~7–10 мин).

Модуль реализован на C# (.Net Framework 4.7). Взаимодействие с процедурой «Сборщик результатов прогноза», входящей в состав ПК «Оркестровка» [26], осуществляется путем обмена сообщениями с использованием библиотеки ZeroMQ (ver. 4.3.2).

Модуль формирования рекомендаций для инженера бурильщика («матрицы действий») предусмотрен для работы в фоновом режиме. При появлении значения вероятности прогноза осложнения более 0.5 во всплывающем окне формируется рекомендация, соответствующая данной аномалии и основным параметрам, характеризующим работу скважины. Формирование рекомендаций происходит с помощью алгоритма выбора рекомендаций из базы знаний, содержащейся в основном хранилище данных.

Благодарности

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания (тема «Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности (фундаментальные, поисковые и прикладные исследования)», № ААААА19-119013190038-2).

Основные выводы

Достоинством созданной автоматизированной системы предотвращения осложнений и аварийных ситуаций при строительстве скважин с использованием методов искусственного интеллекта является способность к «запоминанию» закономерностей возникновения нештатных ситуаций, возможность непрерывного дообучения в процессе функционирования для адаптации к различным горно-геологическим условиям, а также способность работы в составе распределенных программно-аппаратных комплексов с функцией защиты информации от несанкционированного доступа.

Заключение

Разработанная автоматизированная система предотвращения аварийных ситуаций предназначена для оказания помощи персоналу буровых бригад в выявлении возможных осложнений на краткосрочную перспективу (по времени несколько десятков минут и по проходке по стволу до 100 метров). Масштабное внедрение автоматизированной системы предотвращения аварийных ситуаций при строительстве скважин позволит сократить сроки бурения чем на 10-25 % и стоимость скважин на 5-25 %. По результатам работы в течении 2019-2020 гг. были получены шесть свидетельств регистрации программ для ЭВМ [22-27] и два патента на изобретение [28, 29]. XXI

Литература

1. Noshi, C. I., & Schubert, J. J. (2018, October 5). The Role of Machine Learning in Drilling Operations; A Review. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/191823-18ERM-MS;
2. Okpo, E. E., Dosunmu, A., & Odagme, B. S. (2016, August 2). Artificial Neural Network Model for Predicting Wellbore Instability. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/184371-MS;
3. Dursun, S., Tuna, T., Duman, K. 2015. Real-Time Risk Prediction During Drilling Operations. <https://www.google.com/patents/WO2015060865A1?cl=en> Google Patents.;
4. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А. Цифровая модернизация нефтегазовой экосистемы – 2018. // Актуальные проблемы нефти и газа, 2018, №2 (21), с.1-12. DOI 10.29222/ipng.2078-5712.2018-21.art2 [Dmitrievsky A.N., Eremin N.A. Digital modernization of oil and gas ecosystems – 2018 // Actual problems of oil and gas, 2018, №2 (21), pp.1-12. In Russian.]
5. Eskandarian, S., Bahrami, P., and Kazemi, P., 2017. A comprehensive data mining approach to estimate the rate of penetration: Application of neural network, rule-based models and feature ranking. Journal of Petroleum Science and Engineering, 156, 605–615. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.06.039>;
6. Abbas, A. K., Bashikh, A. A., Abbas, H., and Mohammed, H. Q., 2019. Intelligent decisions to stop or mitigate lost circulation based on machine learning. Energy, 183, 1104–1113. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.020>.
7. Zhang, F., Islam, A., Zeng, H., Chen, Z., Zeng, Y., Wang, X., & Li, S. (2019, November 11). Real Time Stuck Pipe Prediction by Using a Combination of Physics-Based Model and Data Analytics Approach. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/197167-MS
8. Alshaikh, A., Magana-Mora, A., Gharbi, S. A., & Al-Yami, A. (2019, March 22). Machine Learning for Detecting Stuck Pipe Incidents: Data Analytics and Models Evaluation. International Petroleum Technology Conference. doi:10.2523/IPTC-19394-MS
9. Abbas, A. K., Assi, A. H., Abbas, H., Almubarak, H., & Al Saba, M. (2019, November 11). Drill Bit Selection Optimization Based on Rate of Penetration: Application of Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/197241-MS
10. Sule, I., Khan, F., Butt, S. 2018. Kick Control Reliability Analysis of Managed Pressure Drilling Operation. Journal of Loss Prevention in the Process Industry 52: 7–20. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.01.007>
11. Ben, Y., Han, W., James, C., & Cao, D. (2020, February 25). Building a General and Sustainable Machine Learning Solution in a Real-Time Drilling System. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/199603-MS
12. P. Bimastianto, S. Khambete, H. AlSaadi, E. Couzigou, A. Al-Marzouqi, B. Chevallier, A. Qadir, W. Pausin, and L. Vallet, "Digital Twin Implementation on Current Development Drilling, Benefits and Way Forward," Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, 2020.

13. Отчёт о научно-исследовательской работе по теме: «Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности (фундаментальные, поисковые и прикладные исследования)» (промежуточный). Внутренний номер в ИС «Парус» - 0139-2019-0009.
14. Дмитриевский А.Н., Дуплякин В.О., Еремин Н.А., Капранов В.В. Алгоритм создания нейросетевой модели для классификации в системах предотвращения осложнений и аварийных ситуаций при строительстве нефтяных и газовых скважин. // Датчики и системы. 2019. №12 (243). с.3-10.
15. Черников А.Д., Еремин Н.А., Столяров В.Е., Сбоев А.Г., Семенова-Чашина О.К., Фицнер Л.К. (2020). Применение методов искусственного интеллекта для выявления и прогнозирования осложнений при строительстве нефтяных и газовых скважин: проблемы и основные направления решения. Георесурсы, 22(3), с. 87–96. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2020.3.87-96> ISSN 1608-5043 eISSN 1608-5078
16. А.Н. Дмитриевский, А.Г. Сбоев, Н.А. Еремин, А.Д. Черников, А.В. Наумов, А.В. Грязнов, И.А. Молошиков, С.О. Бороздин, Е.А. Сафарова Предупреждение осложнений и аварий в процессе бурения нефтегазовых скважин с использованием методов машинного обучения // Георесурсы, №4, с. 79–85. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2020.4.79-85>
17. Архипов А.И., Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Черников А.Д., Бороздин С.О., Сафарова Е.А., Сейнаров М.Р. Анализ качества данных станции геолого-технологических исследований при распознавании поглощений и газонефтеводопроявлений для повышения точности прогнозирования нейросетевых алгоритмов. // Нефтяное хозяйство. 2020, №08 (1162), с.63-67.
18. 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). doi:10.2118/202546-MS
19. Еремин Н.А., Черников А.Д., Сарданашвили О.Н., Столяров В.Е. Интеллектуальное бурение при обустройстве цифровых месторождений. // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности, 2020, №5 (562), 26-36.
20. 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 (100) с. 38-50,
21. А.Н. Дмитриевский, Н.А. Еремин, В.Е. Столяров Роль информации в применении технологий искусственного интеллекта при строительстве скважин для нефтегазовых месторождений // Научный журнал Российского газового общества, 2020. № 3 (26) с.06-21. А.Н.
22. Еремин Н.А., Водопьян А.О., Дуплякин В.О., Черников А.Д., Космос С.А. Программный компонент «Нефтегазовый блокчейн» // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020614626, 17.04.2020. Заявка № 2020613699 от 27.03.2020.
23. Еремин Н.А., Дмитриевский А.Н., Чашина-Семенова О.К., Фицнер Л.К., Черников А.Д. Программный компонент «Нейросетевые расчеты – построение моделей прогноза осложнений и аварийных ситуаций при бурении и строительстве скважин» (ПКНР) // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020660892, 15.09.2020. Заявка № 2020660182 от 08.09.2020.
24. Еремин Н.А., Дмитриевский А.Н., Чашина-Семенова О.К., Фицнер Л.К., Черников А.Д. Программный компонент «Адаптация обобщенных нейросетевых моделей прогнозирования осложнений и аварийных ситуаций к геофизическим параметрам при бурении конкретной скважины» // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020660890, 15.09.2020. Заявка № 2020660179 от 08.09.2020. Software component «Adaptation of generalized neural network models for predicting complications and emergencies to geophysical parameters when drilling a specific well» Type: certificate of state registration of a computer program Certificate number: RU 2020660890 Patent office: Russia Publication year: 2020 Application number: 2020660179 Registration date: 09/08/2020 Publication date: 09/15/2020 <https://fips.ru/registers-web/action?acName=clickRegister®Name=EVM>
25. Еремин Н.А., Дмитриевский А.Н., Чашина-Семенова О.К., Фицнер Л.К., Черников А.Д. Программный компонент «Индикация прогноза осложнений и аварийных ситуаций при бурении и строительстве скважин» (ПК «Индикация») // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020661356, 22.09.2020. Заявка № 2020660450 от 14.09.2020.
26. Еремин Н.А., Дмитриевский А.Н., Чашина-Семенова О.К., Фицнер Л.К., Черников А.Д. Программный компонент «Оркестровка – интеграция модулей системы прогнозирования осложнений и аварийных ситуаций при бурении и строительстве скважин» // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020660891, 15.09.2020. Заявка № 2020660181 от 08.09.2020. Software component «Orchestration - integration of modules for predicting complications and emergencies during drilling and well construction» Authors: Eremin Nikolai Alexandrovich, Dmitrievsky Anatoly Nikolaevich, Chashchina-Semenova Olga Kimovna, Fitzner Leonid Konstantinovich, Chernikov Alexander Dmitrievich Number: 2020660891 Date received: September 15, 2020 <https://fips.ru/registers-web/action?acName=clickRegister®Name=EVM>
27. Еремин Н.А., Винокуров В.А., Гушин П.А., Дмитриевский А.Н., Чашина-Семенова О.К., Фицнер Л.К., Черников А.Д., Насекин К.К., Сафарова Е.А., Бороздин С.О., Архипов А.И. Программный компонент «Обратная связь» // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020665410, 26.11.2020. Заявка № 2020661058 от 25.09.2020. Дата публикации: 26.11.2020.
28. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Чашина-Семенова О.К., Фицнер Л.К., Черников А.Д. Автоматизированная система выявления и прогнозирования осложнений в процессе строительства нефтяных и газовых скважин // Патент на полезную модель RU XXXXX XX, XX.XX.2020. Заявка № 2020129673/03 (053361) от 08.09.2020. Automated system for identifying and predicting complications during the construction of oil and gas wells
29. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Чашина-Семенова О.К., Фицнер Л.К., Черников А.Д. Автоматизированная система выявления и прогнозирования осложнений в процессе строительства нефтяных и газовых скважин // Патент на полезную модель RU XXXXX XX, XX.XX.2020. Заявка № 2020129671/03 (053358) от 08.09.2020. Automated system for identifying and predicting complications during the construction of oil and gas wells

UDC 622.24

A. N. Dmitrievsky, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, the Oil and Gas Research Institute of Russian Academy of Sciences, Professor of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas, a.

dmitrievsky@ipng.ru

N. A. Eremin, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Deputy Director of the Oil and Gas Research Institute of Russian Academy of Sciences, Professor of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas, ermn@mail.ru

A. I. Arkhipov, Ph.D., Associate Professor of the Russian State University of Oil and Gas (NRU) named after I.M. Gubkin, arhipov.ai@gubkin.ru

A. D. Chernikov, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, OGRI RAS, cha60@mail.ru

L. I. Zinatullina, The Oil and Gas Research Institute of Russian Academy of Sciences, liya_zinatullina@mail.ru

AUTOMATED SYSTEM FOR PREVENTING ACCIDENTS DURING WELL CONSTRUCTION USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

Abstract. The article is devoted to the description of the created automated system of emergency prevention during the construction of wells using artificial intelligence methods. We used large amounts of data obtained in real time from geological and technological measurement stations during drilling. The article substantiates the choice of operational and effective methods for preventing complications and emergencies in the construction of oil and gas wells using artificial intelligence methods. A significant part of the work was devoted to data preprocessing, selecting a feature system for each complication, and normalizing and marking up input big data. According to the results of the work during 2019-2020, six certificates of registration of computer programs were obtained and two applications for utility model patents were filed.

Key words: drilling of oil and gas wells, advanced mud logging system, big data, prevention of accidents and complications, neural networks, artificial intelligence, automated system, well construction, neural network modeling.