

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»**

**ИЗВЕСТИЯ
ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Выпуск 4

**Тула
Издательство ТулГУ
2021**

Председатель

Грязев М.В., д-р техн. наук.

Первый заместитель председателя

Воротилин М.С., д-р техн. наук.

Заместитель председателя

Прейс В.В., д-р техн. наук, авторизованный представитель Издательства ТулГУ в РИНЦ.

Ответственный секретарь

Фомичева О.А., канд. техн. наук, авторизованный представитель ТулГУ в РИНЦ.

Члены редакционного совета:

Батанина И.А., д-р полит. наук, –

гл. редактор серии «Гуманитарные науки»;

Берестнев М.А., канд. юрид. наук, доц., –

гл. редактор серии «Экономические и юридические науки»;

Борискин О.И., д-р техн. наук, –

гл. редактор серии «Технические науки»;

Егоров В.Н., канд. пед. наук, – гл. редактор серии

«Физическая культура. Спорт»;

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор

Качурин Н.М., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);

Заместитель главного редактора

Сарычев В.И., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);

Члены редакционной коллегии:

Захаров В.Н., член-корр. РАН, д-р техн. наук

(Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва);

Каплунов Д.Р., член-корр. РАН, д-р техн. наук

(Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва);

Клишин В.И., член-корр. РАН д-р техн. наук

(Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово);

Опарин В.Н., член-корр. РАН, д-р физ.-матем. наук

(Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск);

Струков К.И., д-р техн. наук, президент (ООО «УК ЮГК», г. Челябинск);

Рыльникова М.В., д-р техн. наук (Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва);

Гендлер С.Г., д-р техн. наук (Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург);

Голик В.И., д-р техн. наук (Геофизический институт Владикавказского научного центра, г. Владикавказ);

Ефимов В.И., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);

Заславская О.В., д-р пед. наук, –

гл. редактор серии «Педагогика»;

Качурин Н.М., д-р техн. наук, –

гл. редактор серии «Науки о Земле»;

Понаморева О.Н., д-р хим. наук, –

гл. редактор серии «Естественные науки».

Ответственный секретарь

Стась Г.В., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула).

Авторизованный представитель ТулГУ в РИНЦ

Копылов А.Б., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула).

Жабин А.Б., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);

Кавала Р., д-р техн. наук (Фрайбергская горная академия, Институт материаловедения и изготовления материалов, Германия, г. Фрайберг);

Казанин О.И., д-р техн. наук (Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург);

Кантович Л.И., д-р техн. наук (Национальный исследовательский технологический университет

(МИСиС), г. Москва);

Комащенко В.И., д-р техн. наук (Российский государственный университет нефти и газа (НИУ)

имени И.М. Губкина, г. Москва);

Кориунов Г.И., д-р техн. наук (Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург);

Мельник В.В., д-р техн. наук (Национальный исследовательский технологический университет

(МИСиС), г. Москва);

Мерзляков В.Г., д-р техн. наук (Московский политехнический университет, г. Москва);

Моркун В.С., д-р техн. наук (Криворожский национальный университет, Украина, г. Кривой Рог);

Протосеня А.Г., д-р техн. наук (Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-

Петербург).

Сборник зарегистрирован в Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) ПИ № ФС77-75993 от 19 июня 2019 г.

Подписной индекс сборника 41408 по Объединённому каталогу «Пресса России».

Сборник включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук», утвержденный ВАК Минобрнауки РФ, по следующим специальностям: 25.00.00 – Науки о Земле; 05.06.00 – Безопасность деятельности человека.

Сборник зарегистрирован в системе "Web of Science".

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК: 622.016.25:622.24:66-933:629.7.067.8:681.5: 004.048

DOI: 10.46689/2218-5194-2021-4-1-132-144

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОСЛОЖНЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СКВАЖИН

А.Н. Дмитриевский, Н.А. Еремин, А.Д. Черников, Л.И. Зинатуллина

Рассматриваются вопросы использования автоматизированных систем предотвращения аварийных ситуаций в процессе строительства скважин с применением методов искусственного интеллекта для увеличения продуктивного времени строительства скважин за счет сокращения потерь рабочего времени на устранение осложнений.

Ключевые слова: проблемы и осложнения при бурении, выбросы, газонефтеводопроявления, прихваты, искусственные нейронные сети, цифровизация, бурение, скважина, месторождение, нефтегазовый блокчейн, искусственный интеллект, методы машинного обучения, геолого-технологические исследования, модель нейронной сети, строительство нефтяных и газовых скважин, выявление и прогнозирование осложнений, предотвращение аварийных ситуаций.

Нефтегазовая отрасль – важнейшая составная часть современной глобальной экономики, развитие которой происходит в контексте всех мировых хозяйственных отношений, в тесном взаимодействии с другими отраслями мировой экономики в условиях энергетического перехода. Одним из безусловных приоритетов внутренней политики России является научно-технологическое развитие нефтегазового комплекса. Нефтегазовый комплекс – важнейшая сфера ресурсно-инновационного развития страны, обеспечивающая существенный вклад в развитие экономики и значительные валютные поступления. Серьёзным внутренним вызовом является изменение структуры запасов, обусловленное вступлением нефтяных месторождений, в том числе крупных и гигантских, в завершающий период разработки и сокращением в связи с этим добычи лёгкой маловязкой нефти. Балансовые запасы нефти категории АВС1 в России превышают

18 млрд т, из них две трети относятся к категории трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ). Степень выработанности разведанных запасов достигает 55 %, коэффициент извлечения нефти – 29...30 %, степень разведанности начальных суммарных ресурсов – 46 %. По результатам анализа прогнозных ресурсов нефти и газа, России ещё предстоит открыть около 60 % нефтяных и более 70 % газовых и газоконденсатных месторождений. НГК страны необходимо реализовать масштабные работы по поиску, разведке и освоению нефтегазовых ресурсов в сложных горно-геологических и природно-климатических условиях в регионах Восточной Сибири и Крайнего Севера и арктического шельфа, провести практические работы по добыче нефти на больших глубинах в Западной Сибири (5,0...7,0 км) и в Прикаспийской впадине (6,0...8,0 км), в зонах действия высоких температур и давлений, из месторождений сложного состава, содержащих агрессивные газы. Эффективным инновационным ответом на вызовы волатильности и конкуренции на мировом рынке нефти и газа в условиях «зеленой» энергетики является цифровизация всей цепочки апстрима, которая должна возрасти до 10 % к 2030 г. Основной движущей силой перемен в нефтегазовом комплексе являются цифровые нефтегазовые технологии [1 – 24]. Цифровые нефтегазовые технологии способны к непрерывному развитию. Непрерывное развитие или эволюцию нефтегазовых технологий можно описать S-образными кривыми, когда одно поколение технологий становится основой для развития следующего поколения более продвинутых технологий (рис. 1). В начале S-образной кривой происходит медленное развитие технологии. Затем темпы развития технологии становятся высокими и достигают максимума в точке перегиба. В конце происходит постепенное затухание развития технологии. *Цифровая нефтегазовая технология* базируется на переходе с механической или аналоговой формы на цифровую форму сбора, передачи, обработки, предиктивной аналитики больших геоданных, принятия решений. В институте в 2021 году завершены работы по созданию цифровой нефтегазовой технологии передачи больших геоданных со станций геолого-технологических измерений при строительстве скважин с использованием нефтегазового блокчейн [3, 17]. *Оптическая нефтегазовая технология* использует оптическую регистрацию и трансмиссию больших объемов геоинформации, закодированных в дискретных световых импульсах по оптоволокну, в системах управления нефтегазовым производством. *Квантовая нефтегазовая технология* основывается на регистрации и трансмиссии больших объемов геоинформации, закодированной в квантовых состояниях в виде фотонов по оптоволокну или по открытому пространству, в системах управления нефтегазовым производством в режиме онлайн. Фотоны – кванты электромагнитного излучения распространяются со скоростью света и позволяют кодировать информацию в частотных, фазовых, амплитудных, поляризационных и временных переменных.

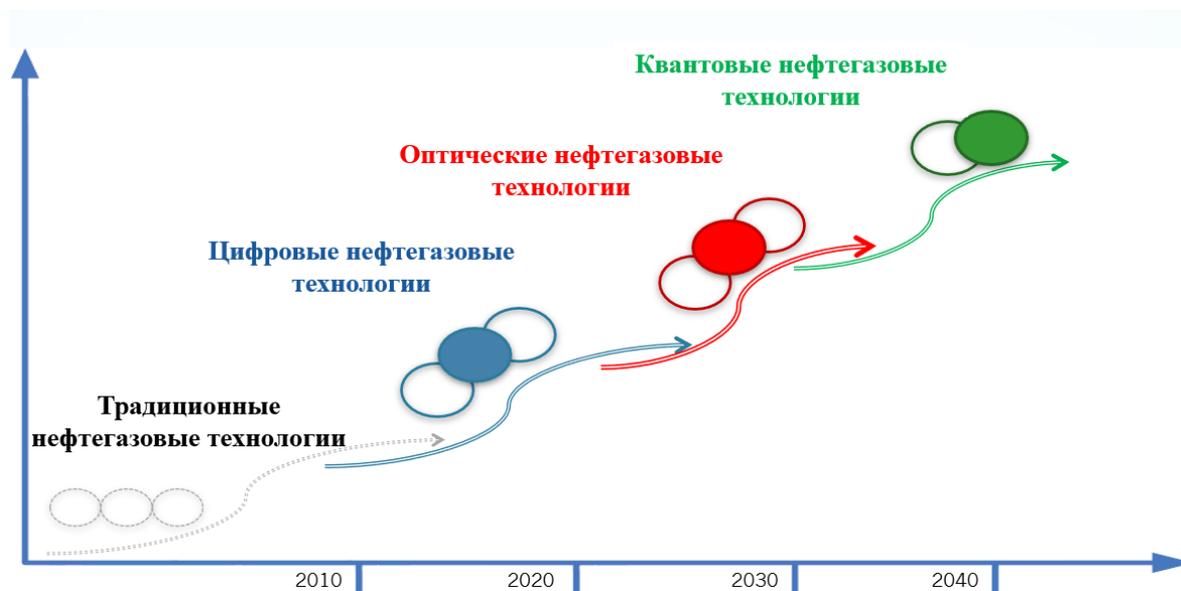


Рис. 1. Эволюция нефтегазовых технологий

Общие затраты на цифровизацию, оптикализацию, квантовизацию, интеллектуализацию, петророботизацию, мультисенсоризацию и суперкомпьютеризацию нефтегазовой отрасли РФ до 2030 г. могут достичь \$4,0...5,0 миллиардов в год. За рубежом первое цифровое месторождение было запущено в эксплуатацию в 2001 г., в РФ – в 2008. Лидерами внедрения технологий цифрового месторождения за рубежом являются компании Shell и BP, в России – ПАО «Газпром», ПАО «Роснефть», ПАО «Лукойл». Первая цифровая скважина была закончена строительством в августе 1997 года на платформе на натяжных опорах Saga's Snorre в Северном море. Цифровая скважина – это комплекс мероприятий и оборудования, имеющий цели: увеличения и/или оптимизации добычи, увеличения конечной нефте(газо)отдачи; снижения и / или оптимизации капитальных затрат; снижения и / или оптимизации эксплуатационных затрат. Задачи цифровой скважины: получение достоверной и оперативной информации о дебите (жидкость, газ), затратах энергии, состоянии скважинной насосной установки, обработки информации, анализа, сохранения информации, принятия решений об изменении параметров работы системы «пласт-скважина-насосная установка» по заданному критерию (объем добычи нефти, объем добычи пластовой жидкости, затраты электроэнергии, сумма капитальных и текущих затрат на работу системы при обеспечении заданного дебита и т.д.), оптимальная добыча из нескольких пластов, управление закачкой в несколько пластов, дренирование нескольких нефтяных зон в разобщенных пластах, разработка нефтяных оторочек, внутрискважинный газлифт, переменная добыча газа, контроль притока из отдельных стволов многозабойной скважины, повышение охвата пласта воздействием в системе добывающих и нагнетательных скважин, получение информации о процес-

сах, происходящих в стволе скважины, нестационарное заводнение, межпластовый транспорт флюидов для поддержания пластового давления, связующие скважины, испытание разведочных скважин, датчики на ликвидированных скважинах, системы скважинного сейсмоакустического мониторинга.

На строительство скважин приходится более 40 % всех инвестиций в нефтегазодобыче. Строительство скважин приводит к нарушению первоначального термодинамического и напряженно-деформированного состояния горных пород. Скважины являются главной частью основных фондов на разрабатываемых месторождениях нефти и газа. Стоимость бурения скважин имеет тенденцию к росту, а осложнения при бурении становятся все более нежелательными. Можно выделить две категории инцидентов при бурении и эксплуатации скважин (рис. 2): *осложнения* – нарушения непрерывности технологического процесса сооружения или эксплуатации скважины; *аварийные ситуации* – нарушения непрерывности технологического процесса, требующие проведения специальных работ по их локализации и ликвидации.

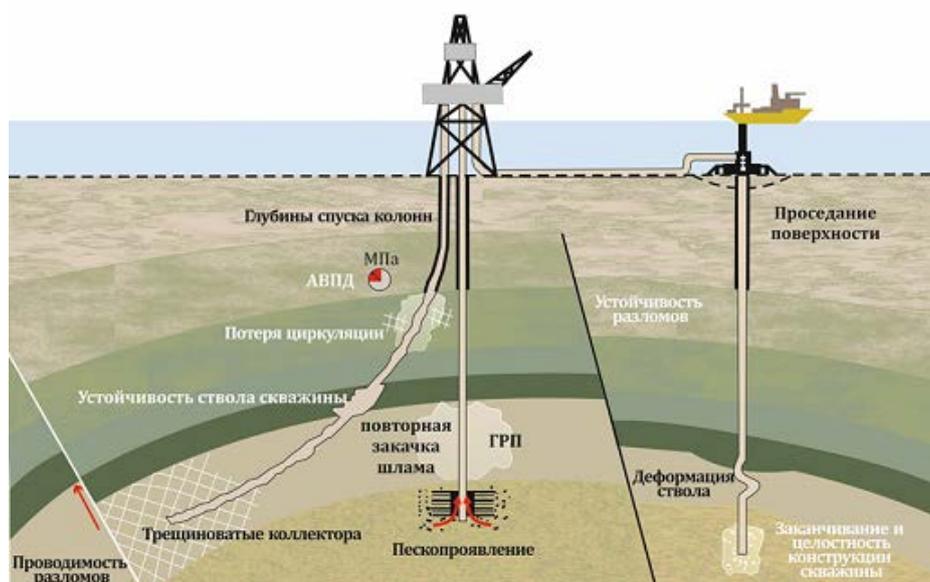


Рис. 2. Причины и факторы возникновения осложнений при бурении [25]

Процесс бурения контролируется литологическим типом породы. Анализ данных бурения с геологических и технологических измерительных станций может быть использован для литологического распознавания и особенно для определения границ перехода от одного типа литологии к другому во время бурения. Статистика аварийности на скважинах норвежского сектора Северного моря показывает, что за период 1984–1997 гг. частота возникновения газонефтеводопроявлений (рис. 3) составляла 0,19 случаев на каждую пробуренную эксплуатационную скважину и 0,25 слу-

чаев на разведочную скважину, причем для глубоких разведочных скважин частота газонефтеводопроявлений достигала величины 1,38 случаев на скважину.

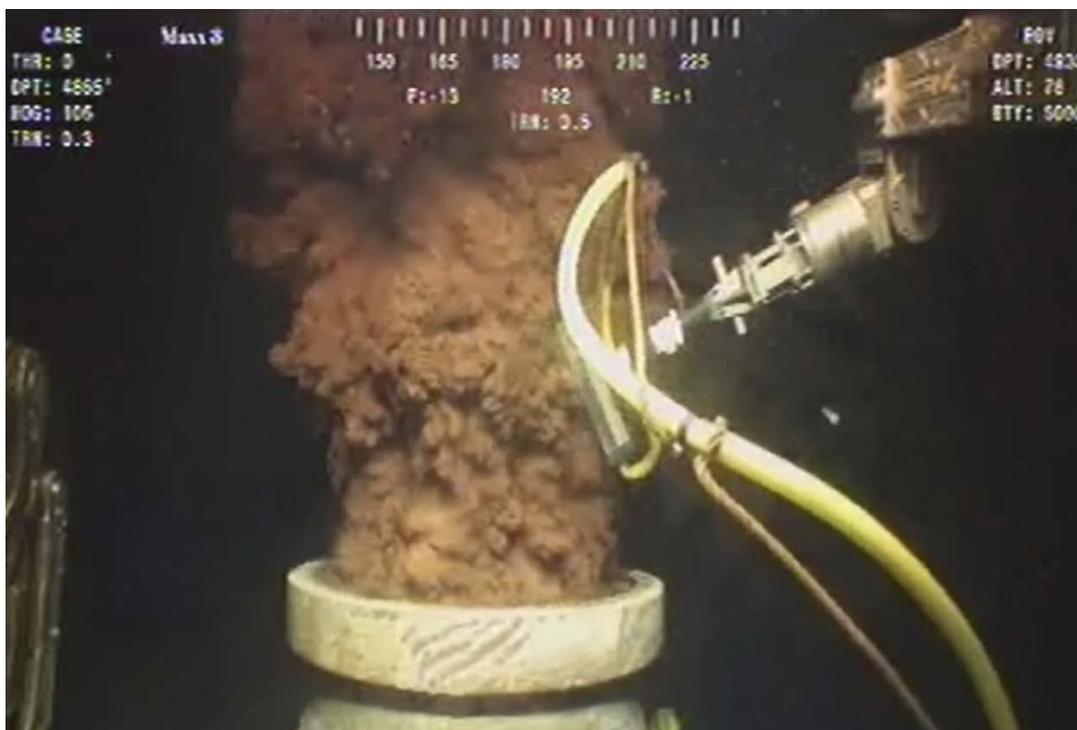


Рис. 3. Газонефтеводопроявление на скважине норвежского сектора Северного моря

Осложнения – это ожидаемые ситуации: вероятность, характер осложнений и геологические интервалы возможного возникновения обычно учитываются в проектах бурения; для их преодоления на морских установках предусматриваются специальные технические средства и определяются необходимые технологические приемы, восстанавливающие барьеры безопасности. Основные виды осложнений: поглощение бурового промывочного и тампонажного растворов; осыпи и обвалы стенок скважины и прихваты, затяжки и посадки бурового инструмента в процессе бурения и при спускоподъемных операциях.

К наиболее опасным авариям при бурении относятся газо-, нефте- и водопроявления или LWC (*англ.* loss of well control). Газонефтеводопроявление – это аварийные события при бурении и эксплуатации скважин, которые проявляются в виде самопроизвольных выделений из скважины газа, нефти, воды или их смеси, способных переходить в открытое фонтанирование при нарушении барьеров безопасности. Ниже приведены наиболее крупные аварии с газонефтеводопроявлением при бурении скважин:

1910 г. – выброс нефти объемом около 1400 тыс. м³ продолжительностью 544 сут на месторождении «Мидуэй-Сансет», (англ. Midway-Sunset, Калифорния, США);

1979 г. – выброс нефти объемом около 525 тыс. м³ и продолжительностью 290 сут на месторождении «Иксток» (англ. Ixtoc) в Мексиканском заливе при глубине моря 45 м;

2010 г. – выброс нефти объемом более 780 тыс. м³ продолжительностью 82 сут на скважине «Макондо» (англ. Macondo) в Мексиканском заливе при глубине моря 1500 м (рис. 4).



Рис. 4. Выброс нефти объемом более 780 тыс. м³ продолжительностью 82 суток на скважине Макондо (англ. Macondo) в Мексиканском заливе

Автоматизированная система предотвращения аварийных ситуаций при строительстве скважин включает ряд ключевых блоков и программных компонентов. Блок выбора реально-временной и поглубинной информации, относящейся к осложнениям и аварийным ситуациям, предназначен для выбора и записи фрагментов файлов из набора данных бурения, содержащих информацию об осложнениях и аварийных ситуациях (прихват, поглощение и газонефтеводопроявления). Выбранные фрагменты файлов используются как входные данные для построения моделей обнаружения и прогнозирования аномалий. 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 геологических данных с применением технологий индустриального блокчейна [17]. Принципиальная структурная схема ПКНР, реализующего алгоритмы нейросетевого моделирования для выявления осложнений в процессе строительства нефтяных и газовых скважин, представлена на рис.5.



Рис. 5. Принципиальная структурная схема ПКНР

Программный компонент "Индикация прогноза осложнений и аварийных ситуаций при бурении и строительстве скважин" (ПК «Индикация») предназначен для формирования предупреждающих сигналов о возможных осложнениях и выдачи рекомендаций для бурильщика по предотвращению последствий прогнозируемых осложнений [19]. 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 [20]. ПК «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 различных взаимосвязанных операций, а также блоки, входящие в состав ПК «Адаптация обобщенных нейросетевых моделей прогнозирования осложнений и аварийных ситуаций к геофизическим параметрам при бурении конкретной скважины» [18], и блоки, входящие в состав ПК «Обратная связь» [21]. Модели,

сформированные в процессе работы модулей ПКНР, записываются в файловую часть хранилища данных. Предусмотрена возможность развертывания модулей процесса формирования обобщенных моделей на вычислительном кластере из 5 узлов. 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» [21] 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 буровика по предотвращению последствий прогнозируемых осложнений.

Заключение

Созданная автоматизированная система предотвращения осложнений предназначена для оказания помощи буровику в выявлении возможных инцидентов на краткосрочную перспективу (по времени несколько десятков минут и по проходке по стволу до 100 метров). Внедрение автоматизированной системы предотвращения осложнений при бурении скважин позволит сократить сроки бурения на 15...25 % и стоимость скважин на 10...25 %. По результатам работы в течение 2019 – 2021 гг. были получены шесть свидетельств о регистрации программ для ЭВМ [17 – 22] и два патента на изобретение [23, 24].

Список литературы

1. Digital oil and gas complex of Russia / A.N. Dmitrievsky, N.A. Eremin, D.S. Filippova, E.A. Safarova // Georesursy = Georesources. Special issue. 202). P. 32–35. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2020.SI.32–35>.
2. Qualitative Analysis of Time Series GeoData to Prevent Complications and Emergencies During Drilling of Oil and Gas Wells / A.N. Dmitrievsky [and others] // SOCAR Proceedings. 2020. No.3 P.031-037. ISSN 2218-6867.

eISSN 2218-8622. <http://dx.doi.org/10.5510/OGP20200300442>.

3. On increasing the productive time of drilling oil and gas wells using machine learning methods / A.N. Dmitrievsky [and others] // Georesursy = Georesources, 2020. 22(4), P. 79–85. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2020.4.79-85>

4. Intelligent decisions to stop or mitigate lost circulation based on machine learning / A. K. Abbas, A. A. Bashikh, H. Abbas H. Q. Mohammed // Energy, 2019. 183. P.1104–1113. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.020>.

5. Real Time Stuck Pipe Prediction by Using a Combination of Physics-Based Model and Data Analytics Approach / F. Zhang [and others] // Society of Petroleum Engineers. 2019. November 11. doi:10.2118/197167-MS.

6. Machine Learning for Detecting Stuck Pipe Incidents: Data Analytics and Models Evaluation / A. Alshaikh, A. Magana-Mora, S. A. Gharbi, A. Al-Yami // International Petroleum Technology Conference. 2019. March 22. doi:10.2523/IPTC-19394-MS.

7. Drill Bit Selection Optimization Based on Rate of Penetration: Application of Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms / A. K. Abbas [and others] // Society of Petroleum Engineers. 2019. November 11. doi:10.2118/197241-MS.

8. Building a General and Sustainable Machine Learning Solution in a Real-Time Drilling System / Y. Ben, W. Han, C. James, D. Cao // Society of Petroleum Engineers. 2020. February 25. doi:10.2118/199603-MS.

9. Digital Twin Implementation on Current Development Drilling, Benefits and Way Forward / P. Bimastianto [and others] // Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, 2020.

10. Алгоритм создания нейросетевой модели для классификации в системах предотвращения осложнений и аварийных ситуаций при строительстве нефтяных и газовых скважин / А.Н. Дмитриевский, В.О. Дуплякин, Н.А. Еремин, В.В. Капранов // Датчики и системы. 2019. №12 (243). С. 3-10.

11. Применение методов искусственного интеллекта для выявления и прогнозирования осложнений при строительстве нефтяных и газовых скважин: проблемы и основные направления решения / А.Д. Черников [и др.] // Георесурсы, 2020. 22(3). С. 87–96. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2020.3.87-96>.

12. Анализ качества данных станции геолого-технологических исследований при распознавании поглощений и газонефтеводопроявлений для повышения точности прогнозирования нейросетевых алгоритмов / А.И. Архипов [и др.] // Нефтяное хозяйство. 2020. №08 (1162). С.63-67. DOI: 10.24887/0028-2448-2020-8-63-67.

13. Drilling Problems Forecast System Based on Neural Network / S. Borozdin [and others] // SPE Annual Caspian Technical Conference. 2020. doi:10.2118/202546-MS.

14. Интеллектуальное бурение при обустройстве цифровых месторождений / Н.А. Еремин, А.Д. Черников, О.Н. Сарданашвили, В.Е. Столяров // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2020. №5 (562). С. 26-36. DOI 10.33285/0132-2222-2020-5(562)-26-36.

15. Цифровые технологии строительства скважин. Создание высокопроизводительной автоматизированной системы предотвращения осложнений и аварийных ситуаций в процессе строительства нефтяных и газовых скважин / Н.А. Еремин [и др.] // Деловой журнал Neftegaz.Ru, 2020. №4 (100). С. 38-50.

16. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Столяров В.Е. Роль информации в применении технологий искусственного интеллекта при строительстве скважин для нефтегазовых месторождений // Научный журнал Российского газового общества, 2020. № 3 (26). С. 6-21.

17. Программный компонент "Нефтегазовый блокчейн" / Н.А. Еремин [и др.] // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU: 2020614626. 17.04.2020; заявл. № 2020613699 от 27.03.2020.

18. Программный компонент "Нейросетевые расчеты – построение моделей прогноза осложнений и аварийных ситуаций при бурении и строительстве скважин» (ПКНР) / Н.А. Еремин [и др.] // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU: 2020660892: 15.09.2020; заявл. № 2020660182 от 08.09.2020.

19. Программный компонент "Адаптация обобщенных нейросетевых моделей прогнозирования осложнений и аварийных ситуаций к геофизическим параметрам при бурении конкретной скважины» / Н.А. Еремин [и др.] // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU: 2020660890. 15.09.2020; заявл. № 2020660179 от 08.09.2020.

20. Программный компонент "Индикация прогноза осложнений и аварийных ситуаций при бурении и строительстве скважин» (ПК «Индикация») / Н.А. Еремин [и др.] // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU: 2020661356. 22.09.2020; заявл. № 2020660450 от 14.09.2020.

21. Программный компонент "Оркестровка – интеграция модулей системы прогнозирования осложнений и аварийных ситуаций при бурении и строительстве скважин» / Н.А. Еремин [и др.] // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU: 2020660891. 15.09.2020; заявл. № 2020660181 от 08.09.2020.

22. Программный компонент "Обратная связь» / Н.А. Еремин [и др.] // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU: 2020665410. 26.11.2020; заявл. № 2020661058 от 25.09.2020. Опубл. 26.11.2020.

23. Автоматизированная система выявления и прогнозирования осложнений в процессе строительства нефтяных и газовых скважин: пат. RU 2 745 137 С1. 22.03.2021; заявл. № 2020129673 от 08.09.2020.

24. Автоматизированная система выявления и прогнозирования осложнений в процессе строительства нефтяных и газовых скважин: пат.

RU 2 745 136 С1. 22.03.2021; заявл. № 2020129671 от 08.09.2020.

25. Алдамжаров Н.Н. Предупреждение аварий и осложнений при бурении разветвленно горизонтальных стволов скважин // Новости науки Казахстана. 2017. № 3(133).

Дмитриевский Анатолий Николаевич, академик РАН, д-р геол.-минер. наук, проф., научный руководитель ИПНГ РАН, a.dmitrievsky@ipng.ru, Россия, Москва, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем нефти и газа» Российской Академии наук (ИПНГ РАН), Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина),

Еремин Николай Александрович, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр., зам. директора, ermn@mail.ru, Россия, Москва, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем нефти и газа» Российской Академии наук (ИПНГ РАН), Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина),

Черников Александр Дмитриевич, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., cha60@mail.ru, Россия, Москва, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем нефти и газа» Российской Академии наук (ИПНГ РАН),

Зинатуллина Лилия Ильдаровна, млад. науч. сотр., liya.zinatullina@mail.ru, Россия, Москва, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем нефти и газа» Российской Академии наук (ИПНГ РАН)

USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS TO PREVENT COMPLICATIONS IN WELL CONSTRUCTION

A.N. Dmitrievsky, N.A. Eremin, A.D. Chernikov, L.I. Zinatullina

The article discusses the use of automated systems for preventing emergency situations in the process of well construction using artificial intelligence methods to increase the productive time of well construction by reducing the loss of working time to eliminate complications.

Key words: problems and complications during drilling, emissions, gas and oil water showings, stuck, artificial neural networks, digitalization, drilling, well, field, oil and gas blockchain, artificial intelligence, machine learning methods, geological and technological research, neural network model, oil and gas construction wells, identification and forecasting of complications, prevention of emergency situations.

Dmitrievsky Anatoly Nikolaevich, Academician of the Russian Academy of Sciences, dr. geol.-miner. of sciences, professor, scientific director of OGRI RAS, a.dmitrievsky@ipng.ru, Russia, Moscow, Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences (OGRI RAS), Federal State

Budgetary Educational Institution of Higher Education "Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)" (Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NRU)),

Eremin Nikolai Alexandrovich, doctor of technical sciences, professor, chief researcher, deputy director, ermn@mail.ru, Russia, Moscow, Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences (OGRI RAS), Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)" (Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NRU)),

Chernikov Alexander Dmitrievich, candidate of technical sciences, leading researcher, cha60@mail.ru, Russia, Moscow, Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences (OGRI RAS),

Zinatullina Lilia Ildarovna, junior researcher, liya_zinatullina@mail.ru, Russia, Moscow, Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences (OGRI RAS)

Reference

1. Digital oil and gas complex of Russia / A.N. Dmitrievsky, N.A. Eremin, D.S. Filippova, E.A. Safarova // *Georesursy = Georesources. Special issue. 2020*. p. 32-35. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2020.SI.32-35> .
2. Qualitative Analysis of Time Series GeoData to Prevent Complications and Emergencies During Drilling of Oil and Gas Wells / A.N. Dmitrievsky [and others] // *SOCAR Proceedings. 2020. No.3 P.031-037. ISSN 2218-6867. eISSN 2218-8622. <http://dx.doi.org/10.5510/OGP20200300442> .*
3. On increasing the productive time of drilling oil and gas wells using machine learning methods / Dmitrievsky A. N. [and others] // *Georesursy = Georesources, 2020. 22(4), Pp. 79-85. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2020.4.79-85>*
4. Intelligent decisions to stop or mitigate lost circulation based on machine learning / A. K. Abbas, A. A. Bashikh, H. H. Q. Abbas Mohammed // *Energy, 2019. 183. R. 1104 – 1113. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.020>.*
5. Real Time Stuck Pipe Prediction by Using a Combination of Physics-Based Model and Data Analytics Approach / F. Zhang [and others] // *Society of Petroleum Engineers. 2019. November 11. doi:10.2118/197167-MS.*
6. Machine Learning for Detecting Stuck Pipe Incidents: Data Analytics and Models Evaluation / A. Alshaiikh, A. Magana-Mora, S. A. Gharbi, A. Al-Yami // *International Petroleum Technology Conference. 2019. March 22. doi:10.2523/IPTC-19394-MS.*
7. Drill Bit Selection Optimization Based on Rate of Penetration: Application of Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms / A. K. Abbas [and others] // *Society of Petroleum Engineers. 2019. November 11. doi:10.2118/197241-MS.*
8. Building a General and Sustainable Machine Learning Solution in a Real-Time Drilling System / Y. Ben, W. Han, C. James, D. Cao // *Society of Petroleum Engineers. 2020. February 25. doi:10.2118/199603-MS.*
9. Digital Twin Implementation on Current Development Drilling, Benefits and Way Forward / Bimastianto P. [and others] // *Abu Dhabi international Petroleum Exhibition & Conference 2020.*

10. The algorithm for creating the neural network model to classify the systems of prevention of complications and emergencies during the construction of oil and gas wells / A. N. Dmitriev, V. O. Duplyakin, N. And. Eremin, V. V. Kapranov // Sensors and systems. 2019. No.12 (243). pp. 3-10.

11. Application of artificial intelligence methods for detecting and predicting complications in the construction of oil and gas wells: problems and main directions of solution / A.D. Chernikov [et al.] // Georesources, 2020. 22(3). pp. 87-96. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2020.3.87-96>.

12. Analysis of the data quality of the geological and technological research station in the recognition of absorption and oil and gas occurrences to improve the accuracy of forecasting neural network algorithms / A.I. Arkhipov [et al.] // Oil industry. 2020. No.08 (1162). pp.63-67. DOI: 10.24887/0028-2448-2020-8-63-67.

13. Drilling Problems Forecast System Based on Neural Network / S. Borozdin [and others] // SPE Annual Caspian Technical Conference. 2020. doi:10.2118/202546-MS.

14. Intelligent drilling in the development of digital fields / N.A. Eremin, A.D. Chernikov, O.N. Sardanashvili, V.E. Stolyarov // Automation, telemechanization and communication in the oil industry. 2020. No.5 (562). pp. 26-36. DOI 10.33285/0132-2222-2020-5(562)-26-36.

15. Digital technologies of well construction. Creation of a high-performance automated system for preventing complications and emergencies during the construction of oil and gas wells / N.A. Eremin [et al.] // Business journal Neftegaz.EN, 2020. No. 4 (100). P. 38-50.

16. Dmitrievsky A. N., Eremin N. A., Stolyarov V. E. the Role of information in the application of artificial intelligence technologies in the construction of wells for oil and gas fields // Scientific journal of the Russian gas society, 2020. № 3 (26). S. 6-21.

17. The software component "Oil and gas blockchain" / N.A. Eremin [et al.] // Certificate of registration of the computer program RU: 2020614626. 17.04.2020; application No. 2020613699 of 27.03.2020.

18. Software component "Neural network calculations - building models for predicting complications and emergencies during drilling and construction of wells" (PKNR) / N.A. Eremin [et al.] // Certificate of registration of a computer program RU: 2020660892: 09/15/2020; application No. 2020660182 dated 09/08/2020.

19. Program component "Adaptation of generalized neural network models for predicting complications and emergencies to geophysical parameters when drilling a specific well" / N.A. Eremin [et al.] // Certificate of registration of a computer program RU: 2020660890. 15.09.2020; Appl. No. 2020660179 from 08.09.2020.

20. Software component "Indication prediction of complications and emergencies during the drilling and construction of wells" (PC "Display") / N.And. Eremin [et al.] // the Certificate of registration of a computer program EN: 2020661356. 22.09.2020; Appl. No. 2020660450 from 14.09.2020.

21. Program component "Orchestration - integration of modules of the system for predicting complications and emergencies during drilling and construction of wells" / N.A. Eremin [et al.] // Certificate of registration of the computer program RU: 2020660891. 15.09.2020; application No. 2020660181 of 08.09.2020.

22. The software component "Feedback" / N.A. Eremin [et al.] // Certificate of registration of the computer program RU: 2020665410. 26.11.2020; zyv. No. 2020661058 of 25.09.2020. Publ. 26.11.2020.

23. Automated system for detecting and predicting complications during the construction of oil and gas wells: pat. RU 2 745 137 C1. 22.03.2021; application no. 2020129673 dated 08.09.2020.

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ

<i>Батанина И.А., Бродовская Е.В., Домбровская А.Ю., Парма Р.В.</i> Социальные и политические эффекты пандемии COVID-19 В России: результаты исследования в рамках «Мирового Интернет проекта – 2021».....	3
<i>Апакашев Р.А., Валиев Н.Г., Усманов А.И., Лебзин М.С.</i> Эффективность природных сорбентов при адсорбции ионов тяжелых металлов.....	14
<i>Волков А.В., Хадарцев А.А., Кашинцева Л.В., Седова О.А.</i> Национальная безопасность и солнечно-земные связи.....	24
<i>Волков А.В., Хадарцев А.А.</i> Гипотеза двумерной регулярности полей индексов состояния атмосферы и её эмпирическое обоснование.....	34
<i>Волков А.В., Хадарцев А.А.</i> Проблемы анализа и прогноза характеристик первых ФАЗ 25-го цикла солнечной активности, определяющих состояния систем биосферы.....	45
<i>Гендлер С.Г., Борисовский И.А.</i> Оценка особенностей формирования температурных инверсий при открытой добыче полезных ископаемых в условиях Арктики.....	59
<i>Прохоров Д.О., Ковалев Р.А., Головин К.А., Сафронов В.П.</i> Прогнозирование загрязнения окружающей среды в результате деформаций техногенных минеральных образований.....	76
<i>Рыльникова М.В., Джаппуев Р.К., Цупкина М.В.</i> Проблемы и перспективы вовлечения в промышленную эксплуатацию отходов переработки руд Тырнаузского месторождения.....	86
<i>Стась Г.В., Сарычев В.И., Бородкина Н.Н., Проников А. В.</i> Анализ выбросов пыли и вредных веществ при производстве цемента ООО «ХАЙДЕЛЬБЕРГЦЕМЕНТ РУС» пос. Новогурово, Алексинского района, Тульской области.....	96
<i>Хайрутдинов М. М., Ковалев Р.А., Копылов А.Б., Кулаков Н.Д.</i> Снижение вредного воздействия промышленных производств на окружающую среду путём использования техногенных отходов.....	109
<i>Марданов И.И.</i> Формирование ландшафтного разнообразия в субнивальном-нивальном поясе Азербайджанской части Большого Кавказа.....	121

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Черников А.Д., Зинатуллина Л.И.</i> Использование методов искусственного интеллекта для предотвращения осложнений при строительстве скважин.....	132
<i>Зайцев А. В., Бородавкин Д. А., Поляков И. В., Власова Е. М.</i> Нормирование температурного режима в условиях нагревающего микроклимата горных выработок.....	145
<i>Лонский О.В.</i> Обеспечение безопасности ведения работ вблизи карстовых провалов грунта.....	158
<i>Митишова Н.А.</i> Разработка технологических рекомендаций по обеспечению пожаровзрывобезопасности при подземной разработке месторождений колчеданных руд.....	165
<i>Пелипенко М.В., Айнбиндер И.И., Рыльникова М.В.</i> Принципы оценки риска аварии при эксплуатации подземных рудников.....	178
<i>Файнбург Г.З., Лискова М.Ю., Розенфельд Е.А.</i> Методика оценки уровня безопасности рабочих мест горнодобывающих предприятий	193
<i>Домрачев А.Н., Говорухин Ю.М., Криволапов В.Г., Палеев Д.Ю.</i> Об использовании аппарата нечёткой логики для повышения адекватности моделей шахтных вентиляционных сетей при решении задач инженерного обеспечения аварийно-спасательных работ.....	204
<i>Гендлер С.Г., Туманов М.В., Прохорова Е.А., Шехманов В.Г.</i> Оценка перспектив использования промышленных экзоскелетов для снижения тяжести труда в угольной промышленности.....	209

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

<i>Авдеев А.Н., Харисов Т.Ф.</i> Прогноз сроков безопасной службы горнокапитальных выработок.....	223
<i>Айнбиндер И.И., Пацкевич П.Г., Красюкова Е.В.</i> Концепция обеспечения водозащиты кимберлитовых рудников Якутии.....	233
<i>Бондаренко А.А., Шарипов Р.Х.</i> Опыт и сравнительный анализ эффективности эксплуатации дизельных и электрических погрузочно-доставочных машин.....	246
<i>Бублик С.А., Зайцев А.В., Шардаков И.Н., Семин М.А.</i> Исследование деформационных процессов в металлоконструкциях надшахтного здания скипового ствола.....	258
<i>Бурмистров К.В., Гавришев С.Е., Осинцев Н.А., Пыталев И.А.</i> Выбор стратегии устойчивого развития горнотехнической системы методом МАВАС	268

<i>Вохмин С.А., Кирсанов А.К., Курчин Г.С., Шевнина Е.В.</i> Влияние выхода негабаритов на производительность ПДМ на подземных рудниках Норильского промышленного района.....	284
<i>Галченко Ю.П., Еременко В.А.</i> Теоретические основы создания «Каркасной» геотехнологии подземного освоения недр.....	295
<i>Гарифулина И.Ю., Зассеев И.А., Дедегкаева Н.Т., Габараев Г.О.</i> Практика применения малозатратных технологий погашения выработанного пространства при добыче руд.....	304
<i>Голик В.И.</i> Ресурсосбережение при добыче цветных металлов.....	313
<i>Голик В.И.</i> Проблемы подготовки руд к кучному выщелачиванию.....	322
<i>Головей С.И., Фридрихсон О.В., Швабенланд Е.Е., Мишикуров П.Н.</i> Обоснование параметров циклично-поточной технологии методом имитационного моделирования в среде ANYLOGIC.....	331
<i>Далатказин Т.Ш.</i> Опыт тампонирования шахтного ствола в условиях проявления современной геодинамической активности.....	341
<i>Домрачев А.Н., Говорухин Ю.М., Палеев Д.Ю., Поздеева И.М.</i> Оценка влияния состояния подготовительных выработок на показатели работы короткого забоя.....	352
<i>Домрачев А.Н., Криволапов В.Г., Палеев Д.Ю., Поздеева И.М.</i> Оценка влияния осложняющих факторов на трудоёмкость и сроки возведения изолирующих перемычек.....	357
<i>Ермакова И. А., Федусов В. А.</i> Методика расчета напряженного состояния целика под демонтажную камеру при наличии отработанной смежной лавы.....	364
<i>Зай Яа Чжо, Чжо Чжо Пьё, Копылов А.Б., Ковалев Р.А.</i> Совершенствование реагентных режимов флотации сфалерита и пирита из месторождений колчеданных медно-цинковых и полиметаллических руд.....	374
<i>Клишин С.В.</i> Анализ контролируемого выпуска угля при отработке мощных пологих угольных пластов технологией с самообрушением.....	389
<i>Клюев Р.В., Фоменко О.А., Босиков И.И., Гаврина О.А.</i> Исследование качества электроэнергии тяговых подстанций высокогорного рудника	399

<i>Ключарев А.П., Литвиновская Н.А.</i> Совершенствование технологии отработки запасов выбросоопасного пласта КрII в условиях рудника «ЕВРОХИМ-УКК».....	416
<i>Кравчук Т.С., Пыталев И.А., Швабенланд Е.Е., Якишина В.В.</i> Методика определения параметров техногенной емкости для условий крутопадающих месторождений полезных ископаемых.....	425
<i>Мельник В.В., Щербаков В.Н.</i> Способы и рекомендации проведения подготовительных выработок по породам, склонным к пучению.....	436
<i>Нюкало П. Ю., Иванов О. В.</i> Применение системы разработки с диагональным расположением очистных камер при добыче калийных руд.....	444
<i>Семин М. А.</i> Исследование возможностей упрощения сопряженной термогидромеханической модели искусственного замораживания пород при строительстве стволов шахт.....	453
<i>Сосновская Е.Л., Авдеев А.Н.</i> Оценка сложности полей природных напряжений золоторудных месторождений Восточных Саян.....	464
<i>Стадник Д.А., Стадник Н.М., Жилин А.Г., Кожиев З.В.</i> Основные методические принципы автоматизированной раскройки рудного поля при проектировании в ГГИС.....	475
<i>Яковлев В.Л., Килин А.Б., Галкин В.А., Макаров А.М.</i> Концепция системы непрерывного совершенствования производственного процесса открытой угледобычи.....	489
<i>Прохоров Д.О., Кухарь В.Д., Сарычев В.И., Подколзин А.А.</i> Совершенствование классификации техногенных минеральных образований.....	501
<i>Князькин Е.А., Бедретдинов Р.Ш.</i> Компьютерное моделирование и экспериментальное определение параметров инновационной схемы водоотлива подземного рудника.....	512
ГЕОМЕХАНИКА	
<i>Деев П.В., Бабков К.С.</i> Оценка устойчивости горных выработок, пройденных в анизотропном массиве пород	522
<i>Земсков А.Н., Лискова М.Ю.</i> Оценка эффективности мероприятий по борьбе с выделениями природных ядовитых газов на калийных рудниках.....	531

<i>Исаевич А.Г., Чайковский И.И., Поляков И.В.</i> Особенности формирования пылевой обстановки в комбайновом забое глубокого калийного рудника.....	539
<i>Норина Н.В., Исаевич А.Г.</i> Разработка методов и технических средств нейтрализации серосодержащих соединений в атмосфере калийных рудников.....	550
<i>Воронина И.Ю., Саммаль А.С., Шелепов Н.В.</i> Оценка напряженного состояния двухслойных обделок комплексов подводных тоннелей, пройденных в водонасыщенных грунтах.....	557
<i>Яницкий Е.Б.</i> Развитие инженерно-геологического и гидрогеологического обеспечения безопасного ведения горных работ при освоении месторождений полезных ископаемых открытым способом.....	567
<i>Качурин Н.М., Захаров Е.И., Соловьев Д.А., Соловьев Р.А.</i> Напряженно-деформированное состояние горного массива и крепи при строительстве подземных сооружений.....	582
<i>Соловьев Д.А., Анциферов С.В., Саммаль А.С., Деев П.В.</i> Взаимодействие массива протерозойских глин с опережающей анкерной крепью.....	590

ЭКОНОМИКА

<i>Богаткина Ю.Г., Сарданашвили О.Н.</i> Особенности финансирования инвестиционных нефтегазовых проектов (на примере Мусюршорского месторождения).....	601
<i>Иванова Н.П., Стоянова И.А.</i> ESG-инвестирование – новый подход к устойчивому развитию арктических регионов России.....	610
<i>Сычева И.В., Сабина А.Л., Измалкова С.А., Сычева Н.А.</i> Формирование в региональной экономике замкнутых циклов по обращению с отходами производства и потребления и его цифровое обеспечение.....	620

Научное издание

**ИЗВЕСТИЯ
ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Выпуск 4

Редактор С.Г. Лихачева

Компьютерная правка и верстка – Г.В. Стась, М.А. Сигаева

Учредитель:

ФГБОУ ВО "Тульский государственный университет"
300012, г. Тула, просп. Ленина, 92

Изд. лиц. ЛР № 020300 от 12.02.97

Подписано в печать 20.12.21 Дата выхода в свет 22.12.21

Фотмат бумаги 70×100 1/8. Бумага офсетная

Усл. печ. л. 50,1.

Тираж 500 экз. Заказ 151

Цена свободная

Адрес редакции и издателя:

300012, г. Тула, просп. Ленина, 95

Отпечатано в Издательстве ТулГУ

300012, г. Тула, просп. Ленина, 95