



Научно-
производственная
фирма «Нитпо»

ISSN 2077-5423

№12/2018

Нефть. Газ. НОВАЦИИ

научно-технический журнал • входит в перечень ВАК

ГЛАВНАЯ ТЕМА НОМЕРА:

Международная научно-практическая конференция

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ
МЕСТОРОЖДЕНИЕ:**
инновационные технологии
от скважины до магистральной трубы

ЧЕРНОМОРСКИЕ НЕФТЕГАЗОВЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ
OIL & GAS BLACK SEA CONFERENCES



Стратегический партнер журнала –
ООО «Научно-производственная фирма «Нитпо»,
организатор проекта «Черноморские
нефтегазовые конференции»

НОВЕЙШИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ОНЛАЙН-МОНИТОРИНГА НЕФТЕДОБЫЧИ
от компании В-1336



ИВЭ-ПЛАТФОРМА —

комплекс решений для цифровой
трансформации месторождения

По решению Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России журнал включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» (редакция от 12.07.2017)

СОДЕРЖАНИЕ

№ 12 (217) 2018

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Эра интеллектуализации нефтегазового производства: накопление опыта **6**

ЦИФРОВАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Еремин Н.А., Еремин Ал.Н.

Цифровой двойник в нефтегазовом производстве **14**

Камалутдинов А.Г.

Решение ИВЭ-добыча – эффективный инструмент цифровизации нефтегазового месторождения **18**

Костюков В.Е., Жигалов В.И., Кибкало А.А., Башурин В.П.

Цифровой подводный добычный комплекс **21**

Спасилов В.М., Кабеева Н.В.

Цифровизация нефтегазового месторождения и кадровый потенциал **24**

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Яночкин С.В., Рычков А.Ф.

Интегрированное моделирование. Опыт реализации пилотных проектов **29**

Волков В.А., Мехоношин Р.О.

Решение задач добычи нефти на базе интегрированной модели **31**

Волков М.Г., Бондаренко К.А., Бадамшин Б.И., Ваньков Е.Э.

Прогнозирование потенциала скважины после ИДН в условиях высокой неопределенности пластового давления и коэффициента продуктивности методами машинного обучения **38**

Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А.

Инновационные решения при проектировании разработки Приразломного месторождения. Строительство бионических скважин **43**

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕФТЕГАЗОВЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

Ядрышников О.А., Воропаев Е.Н.,

Гнилицкий Р.А., Плиткин И.Б.

Информационная система «Экспресс-оценка участков нераспределенного фонда недр» **47**

Родионов С.Б.

Интегрированные решения по управлению данными полного жизненного цикла скважин **51**



55 **Гладунов О.В., Воронин Д.Г., Кожин В.Н., Чаплыгина Т.П., Мелешко М.С.**
Интегрированное управление зрелыми нефтегазовыми активами в условиях сложных инфраструктурных систем

59 **Кулифеев Ю.Б., Романов А.В., Бородулин Д.В.**
Система дистанционного управления и мониторинга Orion Pulsar

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

63 **Исаев А.А.**
Внедрение интеллектуальной установки для вакуумирования типа КОГС

68 **Салихов Д.А., Хузин Р.Р., Мияссаров А.Ш., Нургалиев Д.К., Судаков В.А., Стефанович Ю.Н.**
Новые подходы в эксплуатации горизонтальных скважин малого диаметра

71 **Елесин В.А., Латыпов Р.Т., Козлов С.А., Ртищев А.В., Кожин В.Н., Кавтаськин А.Н., Воробьев С.В.**
Опыт применения технологии гидромониторного воздействия на добывающем фонде скважин АО «Самаранефтегаз»

ТРАНСПОРТИРОВКА НЕФТИ И ГАЗА

77 **Савельев Ю.В., Савельева В.М., Кривошапка Д.А., Махров Н.Г.**
Широкополосные высокочастотные цифровые датчики давления для нефтегазовой отрасли

82 **Михайлов В.Г., Пашали А.А.**
Некоторые подходы к механистическому моделированию структуры течения водонефтяной смеси в горизонтальных трубопроводах

87 **Валюхов С.Г., Ярославцев С.В.**
Анализ особенностей и пути снижения виброактивности магистральных нефтяных насосов

ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ НЕФТЕГАЗОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

93 **Латыпов И.С., Сушков В.В., Хмара Г.А., Ефремова И.А.**
Система интеллектуального мониторинга гололедообразования в распределительной сети класса напряжения 6–35 кВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Аграфенин С. И., к.т.н., заместитель главного инженера – главный технолог АО «Гипровостокнефть»
Алтунина Л. К., д.т.н., профессор, заведующая лабораторией коллоидной химии нефти Института химии нефти СО РАН
Антониади Д. Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Нефтегазовое дело» имени профессора Г.Т. Вартумяна Кубанского технологического университета
Балаба В. И., д.т.н., профессор кафедры бурения нефтяных и газовых скважин РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
Боровский М. Я., к.г.-м.н., генеральный директор ООО «Геофизсервис»
Борхович С. Ю., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Удмуртского государственного университета
Бриллиант Л. С., к.т.н., генеральный директор Тюменского института нефти и газа
Булыгин Д. В., д.г.-м.н., заместитель генерального директора по геологии ООО «Нефтегазовый НИЦ МГУ имени М.В. Ломоносова»
Быков Д. Е., д.т.н., профессор, ректор СамГТУ, заведующий кафедрой «Химическая технология и промышленная экология» Самарского государственного технического университета
Ерёмин Н. А., д.т.н., профессор, заведующий аналитическим центром Института проблем нефти и газа РАН
Иванов Г. И., д.г.-м.н., заместитель генерального директора по науке ОАО «МАГЗ»
Исмагилов А. Ф., к.э.н., заместитель генерального директора по развитию бизнеса АО «Зарубежнефть»
Котенёв Ю. А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений» Уфимского государственного нефтяного технического университета
Кульчицкий В. В., д.т.н., профессор, директор НИИБТ РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
Муслимов Р. Х., д.г.-м.н., профессор, консультант президента Республики Татарстан по вопросам разработки нефтяных и нефтегазовых месторождений
Опарин В. Б., д.ф.-м.н., профессор кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств» Самарского государственного технического университета
Рогачев М. К., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Санкт-Петербургского горного университета
Самигуллин Г. Х., д.т.н., заведующий кафедрой транспорта и хранения нефти и газа Санкт-Петербургского горного университета
Силин М. А., д.х.н., проректор по инновационной деятельности и коммерциализации разработок РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
Телин А. Г., к.х.н., доцент, заместитель директора по научной работе ООО «Уфимский научно-технический центр»
Третьяк А. Я., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Нефтегазовые техника и технологии» Южно-Российского государственного политехнического университета имени М.И. Платова
Тян К. В., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Трубопроводный транспорт» Самарского государственного технического университета
Хисаметдинов М. Р., к.т.н., заведующий лабораторией отдела увеличения нефтеотдачи пластов института «ТатНИПИнефть»

РЕДАКЦИЯ:

Главный редактор
Г.Н. БЕЛЯНИН,
к.г.-м.н., академик МТА РФ
Литературный редактор
Е.С. ЗАХАРОВА
Дизайн-верстка
Е.А. ОБРАЗЦОВА
Корректор
Г.В. ЗАГРЕБИНА

Отдел распространения
и подписки:
тел. (846) 979-91-10

Отдел рекламы и маркетинга:
тел. (846) 979-91-44

Адрес редакции и издатели:
443008, Самарская область,
г. Самара, Томашевский тупик, 3а
Тел. (846) 979-91-77
Факс (846) 979-91-88
journal@neft-gaz-novacii.ru
info@neft-gaz-novacii.ru
red@neft-gaz-novacii.ru
redaktor@neft-gaz-novacii.ru
www.neft-gaz-novacii.ru

Учредитель
ООО «Портал Инноваций»

Журнал зарегистрирован
Министерством
Российской Федерации
по делам печати,
телерадиовещания
и средств массовых
коммуникаций
Рег. номер № С01964
от 25 февраля 1999 г.
Перерегистрирован
28 сентября 2018 г.
Рег. номер ПИ № ФС 77-73741

Периодичность – 12 номеров в год
При перепечатке материалов
ссылка на журнал
«Нефть, Газ, Новации»
обязательна

Тираж 10 000 экз.
Подписано в печать 29.12.2018
Цена:
870 руб. – печатная версия
1200 руб. – электронная версия

Отпечатано в типографии
ООО «Принт Сервис»
443070, г. Самара
ул. Верхне-Карьерная, 3а

Цифровой двойник в нефтегазовом производстве

Digital Twin in the Oil and Gas Production



Н.А. Еремин

Н.А. Еремин, д.т.н., проф.
ermn@mail.ru
/ИПНГ РАН, РГУ нефти и газа
(НИУ) имени И.М. Губкина/

Ал.Н. Еремин
Eremin_alexander@yahoo.com
/ОАО «Газпром ВНИИГАЗ»/

N.A. Eremin, DSc, Prof.
/Oil and Gas Research Institute of
Russian Academy of Sciences,
Gubkin Russian State University
of Oil and Gas (National Research
University)/
Al.N. Eremin /OJSC «Gazprom
VNIIGAZ»/

Рассмотрены основные проблемы создания цифрового двойника в нефтегазовом производстве. Дана характеристика нефтегазового цифрового двойника. Перечислены возможные области применения цифровых двойников в нефтегазовом деле. Обоснована актуальность применения цифровых двойников в нефтегазовом производстве (цифровой двойник морской платформы и подводно-добычного комплекса, нефтепровода и газопровода).

Ключевые слова: цифровой двойник, нефтегазовый цифровой двойник, цифровой двойник скважины, цифровой двойник морской платформы, цифровой двойник подводно-добычного комплекса, цифровой двойник нефтепровода, цифровой двойник газопровода, нефтегазовый интернет вещей, большие геопромысловые данные, суперкомпьютинг.

The main problems of creating a digital twin in oil and gas production are considered. The characteristic of the oil and gas digital twin is given. The possible areas of application of digital twins in the oil and gas business are listed. The relevance of the use of digital twins in the oil and gas industry (digital twin of the offshore platform and subsea production complex, oil pipeline and gas pipeline) is proved.

Key words: digital twin, oil and gas digital twin, well digital twin, digital twin of the offshore platform, digital twin of the subsea production complex, digital twin of the oil pipeline, digital gas pipeline, Petroleum Internet of Things, Big Field Data (BFD), supercomputing.

В последние два года (2017–2018 гг.) в нефтегазовой отрасли активно обсуждается технология цифрового двойника и ее возможное применение для повышения эффективности цифрового нефтегазового производства [3, 10, 12, 15, 16, 17]. Роскосмос и NASA применяют технологию физических «близнецов» с ранних стадий запуска космических кораблей. Для воспроизведения поведения и отражения реальных условий полета

отправленных космических кораблей используются их физические дубликаты (двойники, близнецы), которые остались на земле. Компания Gartner выделила технологию цифрового двойника Digital Twin как одну из основных технических тенденций в Top10 на 2017 и 2018 гг. Цифровой двойник – это цифровое представление нефтегазового объекта реального мира в контексте развития нефтегазового интернета вещей (IIoT) [2], суперкомпьютинга

[8] и больших геопромысловых данных (BigGeoData) [1, 4–7, 9–11, 13, 14, 18]. Технология цифрового двойника помогает собирать всю информацию о состоянии и использовании физических объектов и связывает ее с информацией о состоянии этого объекта у подрядчиков и сервисных компаний, оказывает поддержку при принятии дальнейших решений по развитию физического объекта. В конечном итоге технология «цифровой двойник» способствует увеличению эффективности использования физического объекта.

Термин «близнец», или «двойник», представляется наиболее удачным с учетом двойственности реального и виртуального пространства. Майкл Гривз, в настоящее время исполнительный директор Флоридского технологического института, начал использовать термин «цифровой двойник» – digital twin с 2002 года, когда он, работая над одним из проектов в инженерном колледже Мичиганского университета, услышал это выражение от своего коллеги из НАСА Джона Веккера [17]. Майкл Гривз использовал термин «цифровой двойник» для так называемых PLM-систем (англ. Product lifecycle management), т.е. прикладного программного обеспечения для управления жизненным циклом изделия. Технология «цифровой двойник» связывает физический объект с цифровым миром и представляет цифровую модель физического объекта (например, морской платформы) или технологического процесса (например, нефтегазового производства). В 2015 г. Джордж Дэннер (George Danner), президент бизнес-лаборатории компании Data Science, сообщил Rigzone, что технология «цифровой двойник (близнец)» хорошо подходит для нефтегазовой отрасли, так как в ней используется высокотехнологичное оборудование и системы в виде подводных фабрик, морских платформ (см. **рисунок**), нефтепроводов и



Цифровой двойник морской платформы

Источник: совместный центр ИПНГ РАН и ITPS, McDermott

газопроводов. Нефтегазовое высокотехнологичное оборудование зачастую расположено в подледных, подводных и удаленных местах, где операторам трудно или небезопасно физически контролировать его. Технология «цифровой двойник» позволяет воспроизводить и совершенствовать эффективное использование нефтегазового высокотехнологичного оборудования с помощью методов искусственного интеллекта и предиктивной аналитики, что дает возможность повысить эффективность производственных процессов [3, 10, 12].

Компании GE и Siemens используют технологию «цифровой двойник» для PLC (Project Life Cycle) систем, т.е. для управления жизненным циклом проекта завода или электростанции. В их понимании «цифровой двойник» – это «создание всей техники, знаний и поведения актива от концепции, внешнего инженерного проектирования до проектирования, изготовления, строительства, ввода в эксплуатацию, эксплуатации, технического обслуживания и утилизации» на всем протяжении жизненного цикла объекта. Таким образом, цифровой двойник, по GE и Siemens, – это не событие, не одноразовый близнец и не конечный продукт. В настоящее время технология «цифровой двойник» в основном находит применение для создания цифровых моделей поверхностных (морских, донных)

сооружений, таких как морские платформы, установки подготовки нефти и газа, нефтеперерабатывающие заводы. Сложнее обстоят дела с созданием цифровых двойников скважин и месторождений, т.е. по двум оставшимся составляющим интегрированной модели (ГОСТ 56450-2015). Скважина при моделировании представляется в виде упрощенной типовой модели (одномерной или двумерной кило- или мегамодели). В моделировании месторождений наиболее продвинулась компания Saudi Aramco, которая первой в мире закончила в 2012 г. создание гигамоделей уникального месторождения Гхавар, а в 2014 г. – терамодели нефтегазоносной провинции Арабского (Персидского) залива с применением суперкомпьютера (32-я позиция в TOP 500, ноябрь 2018 г., Shaheen II – Cray XC40, Xeon E5-2698v3 16C 2.3GHz, Aries interconnect) [8].

BP использует цифровых двойников для моделирования физических проектов, для тестирования различных вариантов их использования, прежде чем инвестировать в строительство или модификацию существующих производственных активов. На производственном объекте на Аляске компания использует цифрового двойника для планирования операций по установке, обслуживанию и снятию с эксплуатации. BP недавно объявила о заключении

контрактов с McDermott International и BHGE на использование технологии цифрового двойника в крупных морских газовых проектах в разных частях мира: разработка месторождения Tortue-Ahmeyim в Мавритании и Сенегале и Cassia C в Тринидаде и Тобаго. Среди операторов ВР является наиболее «агрессивной» компанией по скорейшему внедрению технологии цифровых двойников в нефтегазовое производство. Программное обеспечение BHGE по управлению производственными процессами (POA) позволяет нефтяникам на ранней стадии выявлять возможное падение добычи или снижение производительности оборудования или установок. Программный комплекс POA компании BHGE создан на основе использования цифровой платформы Predix компании GE. Система обеспечивает упрощенный доступ к различным каналам передачи данных в реальном времени и обладает возможностями визуализации, включая отображение технологических рисков и выход из проектных режимов в реальном времени [15].

В 2017 г. компания Royal Dutch Shell подписала контракт на двухлетнюю инициативу с цифровыми двойниками, финансируемую Eurostars. Цель состоит в том, чтобы создать модель морской платформы для обеспечения мониторинга и прогностического обслуживания в реальном времени [16]. Нефтегазовая компания Royal Dutch Shell (Shell) стала первым оператором, зарегистрированным в качестве участника цифрового производства, использующего технологию цифрового двойника. Проект финансируется Eurostars, совместной программой между EUREKA, межправительственной сетью, которая поддерживает международное сотрудничество в области НИОКР, и Европейским Союзом через фонд Horizon 2020, и специально направлена на поддержку иссле-

довательской работы малых и средних предприятий. Совместным отраслевым проектом будет руководить швейцарская компания по разработке и моделированию Akselos и эксперты в области инженерных исследований и разработок в LICengineering, датской консалтинговой фирме, специализирующейся на морских энергетических проектах. Проект «цифровой двойник» направлен на продвижение структурного управления морскими активами, такими как морские буровые и добычные платформы. Детальные имитационные модели, или цифровые двойники, морских сооружений используются для выбора наиболее эффективных стратегий управления морскими сооружениями в режиме реального времени. Для этого используются данные, получаемые от многочисленных датчиков на морской платформе, и методы их обработки с применением аналитики больших данных (BigData). По словам исполнительного директора Akselos Томаса Леурента, система находится в разработке почти шесть лет и

опирается на технологии, ранее запатентованные в Массачусетском технологическом институте в 2011 г. Проект начнется с одной из морских платформ компании Shell, расположенной в южной части Северного моря. Цель проекта состоит в том, чтобы помочь компании улучшить управление своим нефтегазовым активом, повысить безопасность проведения работ и наладить предупреждающее обслуживание и ремонт. В первый год проекта Shell получит трехмерную модель морской платформы для того, чтобы с большей точностью и детальностью проанализировать ее структурную целостность. Во второй год компания Akselos проведет интеграцию трехмерной модели с большими данными, получаемыми от многочисленных датчиков на морской платформе. Это позволит специалистам Shell контролировать эффективность эксплуатации морской платформы в реальном времени и моделировать многочисленные сценарии ее эксплуатации с целью выбора лучшего из них для его реализации в жизнь.

Основные методы обработки данных в цифровом двойнике нефтегазового сооружения в режиме реального времени [18].

Сбор	Сбор необработанных и расчетных операционных данных, например с использованием сенсоров
Регистрация	Регистрация данных в цифровом формате, например в базах данных реального времени
Обработка	Процесс перевода данных в информацию для обмена и анализа, например в совместимые форматы
Хранение	Хранение данных из разных источников в одном хранилище, например в базах данных
Передача	Передача данных многочисленным потребителям для обработки и не-обработки, например с использованием коммуникационных технологий
Визуализация	Представление данных в графических форматах из нескольких источников, например в виджетах реального времени
Отчетность	Обработка данных для конкретных бизнес-отчетов, например ежедневных
Аналитика	Аналитика данных для формирования идей, например трендов
Доступность	Открытый доступ к данным из любого места, например глобальная мобильность
Ручное действие	Ручное действие, взятое из информации о программном обеспечении, например в режиме реального времени (консультационные системы)
Автоматическое действие	Автоматическое действие, выполняемое программным обеспечением, например системой с искусственным интеллектом, и автоматизация

Технология нефтегазового интернета вещей (PIoT) используется для постоянного насыщения цифрового двойника данными с многочисленных датчиков морской платформы (см. **таблицу**), поступающих в режиме реального времени. Другими словами, IoT действует как своего рода информационно-коммуникационный мост между физическим объектом – морской платформой и его цифровой моделью.

Ряд специалистов рассматривают технологию цифрового двойника как инструмент обслуживания по фактическому состоянию (наиболее передовой вид технического обслуживания и ремонта – ТО и Р), который позволяет смоделировать различные варианты полных и частич-

ных отказов, работу устройства с учетом режимов функционирования, воздействия окружающей среды и различной степени износа деталей. Компания Gartner прогнозирует повышение эффективности управления производственными активами на 10 % за счет использования технологии цифрового двойника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение технологии цифрового двойника существенно улучшает управление нефтегазовыми объектами (УКПН, УКПГ, нефтепровод, газопровод, морская платформа, подводный добычный комплекс, скважина), в частности предоставляет такие возможности, как восстановление истории строительства и модернизации

нефтегазового сооружения и прогнозирование повышения эффективности его эксплуатации для поддержки оперативных решений, оценок и планирования, что может привести к значительному сокращению издержек на технологические операции и простои; постоянная оценка состояния нефтегазового объекта в режиме реального времени с использованием аналитических данных для исправления ошибочных или дополнения отсутствующих данных измерений и применение не требующих обслуживания «виртуальных сенсоров», предоставляющих информацию для компонентов нефтегазового сооружения, что значительно сокращает затраты на использование физической аппаратуры (которая требует обслуживания).

Литература

1. Еремин Н.А. Работа с большими геолого-промысловыми данными в эпоху нефтегазового интернета вещей // Нефть. Газ. Новации. – 2018. – № 2. – С. 70-72.
2. Путем цифровизации и квантовизации / Н.А. Еремин, С.С. Камаева, А.Д. Черников, Ал.Н. Еремин // Нефть России. – 2018. – № 3-4. – С. 62–65.
3. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А. Большие геоданные в цифровой нефтегазовой экосистеме // Энергетическая политика. – 2018. – № 2. – С. 31–39.
4. Столяров В.Е., Еремин Н.А. Цифровая система управления экспортным газопроводом с повышенным уровнем надежности // Научный журнал РГО. – 2018. – № 2. – С. 3–10.
5. Столяров В.Е., Еремин Н.А. Оптимизация процессов добычи газа при применении цифровых технологий // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2018. – № 6. – С. 54–61. DOI: 10.30713/2413-5011-2018-6-54-61.
6. Цифровые газовые скважины: состояние и перспектива / Н.А. Еремин, В.Е. Столяров, Ал.Н. Еремин, И.К. Басниева // Нефтепромысловое дело. – 2018. – № 7. – С. 48–55. DOI: 10.30713/0207-2351-2018-7-48-55.
7. Столяров В.Е., Еремин Н.А. Эволюция систем автоматизации газодобычи // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2018. – № 8. – С. 5–12. DOI: 10.30713/0132-2222-2018-8-5-12.
8. Еремин Н.А., Дмитриевский А.Н. Нефтегазовый суперкомпьютинг и цифровизация – состояние и тренды развития. Супервычисления и математическое моделирование // Тезисы XVII Междунар. конференции. – Саров: ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ», 2018. – С. 62–64.
9. Еремин Н.А., Дмитриевский А.Н. 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.
10. Цифровизация технологий добычи газа / Н.А. Еремин, В.Е. Столяров, И.К. Басниева, И.А. Еремина и др. // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2018. – № 2 (21). – С. 1–7. DOI: 10.29222/ipng.2078-5712.2018-21.art10.
11. Столяров В.Е., Еремин Н.А. Применение энергонезависимого комплекса телеметрии при разработке и эксплуатации газодобывающих месторождений и хранилищ (ПХГ) // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2018. – № 3. – С. 123–141.
12. Еремин Н.А., Дмитриевский А.Н. Инновационные подходы к освоению Срединно-Курильского морского нефтегазоносного района // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2018. – № 2 (21). – С. 1–8. DOI: 10.29222/ipng.2078-5712.2018-21.art9.
13. Chebotareva I., Dmitrievsky A., & Eremin N. (2018, October 15). Nanoseismological Monitoring of Hydraulic Fracturing (Russian). Society of Petroleum Engineers. doi: 10.2118/191688-18RPTC-RU.
14. Chebotareva I., Dmitrievsky A., & Eremin N. (2018, October 15). Nanoseismological Monitoring of Hydraulic Fracturing. Society of Petroleum Engineers. doi: 10.2118/191688-18RPTC-MS.
15. Zborowski M. (2018, June 1). Finding Meaning, Application for the Much-Discussed «Digital Twin»; Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/0618-0026-JPT.
16. Renzi D., Maniar D., McNeill S., & Del Vecchio C. (2017, October 24). Developing a Digital Twin for Floating Production Systems Integrity Management. Offshore Technology Conference. DOI: 10.4043/28012-MS.
17. Grieves M. and Vickers J. «Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems», *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*, In: Kahlen FJ, Flumerfelt S, Alves A (eds) Springer, 2017, pp. 85–113.
18. Praveen Sam S., & Airani A. (2017, April 4). Enabling New Field Development Projects for a Digital Future. Society of Petroleum Engineers. doi: 10.2118/185358-MS.