

DOI 10.25689/NP.2018.4.196-211

УДК 622.276 + 553.98:621.3.083.92

ВОПРОСЫ МОНИТОРИНГА СТРЕСС - КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ВНУТРИПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ

¹Ерёмин Н.А., ²Хуснутдинов Л.А.

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт Проблем Нефти и Газа Российской Академии Наук; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»;

²НТЦ «Трансдор-К»

MONITORING ISSUES OF STRESS - CORROSION PROCESSES OF INTERNAL INDUSTRIAL PIPELINES IN COMPLEX CONDITIONS

¹Eremin N.A., ²Husnutdinov L.A.

¹Federal State Budgetary Institution of Science Oil and Gas Research Institute of Russian Academy of Sciences; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)";

²STS "Transcor-K»

E-mail: ermnn@mail.ru; linya82@mail.ru

Аннотация: Основной целью статьи является повышение надежности внутрипромысловой трубопроводной инфраструктуры на базе раннего диагностирования критических стресс - коррозионных проявлений в металле труб уникальным отечественным методом магнитной томографии (МТМ). Метод магнитной томографии успешно внедрен в техническую практику диагностики ферромагнитных трубопроводов на суше и на море в 27-и странах мира.

Общая протяженность внутрипромысловых трубопроводов в России превышает 0,35 миллионов км. Металл внутрипромысловой трубопроводной инфраструктуры контролируется либо по факту аварии или выборочно. Объем выборочного контроля не превышает 2 % от общей протяженности трубопроводов. Назрела необходимость

внесения в Технический Регламент по безопасности трубопроводного транспорта поправки о том, что металл всех трубопроводов, включая внутрипромысловый, необходимо контролировать, а качество контроля трубопроводов необходимо декларировать и проверять.

Проведен анализ традиционных способов мониторинга трубопроводов, таких как, акустический метод неразрушающего контроля «Эхо»; распределенные системы контроля с оптоволоконным кабелем вдоль оси объектов; и прямые измерения при периодических обследованиях поверхности металла в ходе осмотров обходчиками трубопроводов.

В статье рассмотрен метод магнитной томографии в рамках методологии риск-ориентированной диагностики (Risk Based Inspection), предлагающего включение регистрации реальных механических напряжений, стресс - коррозионных процессов в систему оценки надежности трубопроводов по критерию перехода в предельное состояние на основе регистрации степени концентрации напряжений или превышения локальных нагрузок. На сегодняшний день в системе мониторинга технического состояния трубопроводов решено множество проблем. Однако обеспечение надежности внутрипромысловых трубопроводов в сложных условиях эксплуатации на поздней стадии разработки остается актуальной задачей.

Ключевые слова: стресс-коррозионные процессы, внутрипромысловый нефте- и газопровод; диагностирование нефте- и газопроводов; метод магнитной томографии; Виллари-эффект; коррозия; коррозионное растрескивание под напряжением; биокоррозия, охрупчивание металла; внутритрубная инспекция; напряженно-деформированное состояние; роботизированные комплексы; мультикоптер; водные переходы.

Abstract: The main purpose of the article is to improve the reliability of the in -field pipeline infrastructure on the basis of the early diagnosis of critical stress - corrosion manifestations in the metal of the pipe by the unique domestic method of magnetic tomography (MTM). The method of magnetic tomography has been successfully implemented into the technical practice of diagnosing ferrimagnetic pipelines on land and at sea in 27 countries of the world.

The total length of infield pipelines in Russia exceeds 0.35 million km. The metal of the infield pipeline infrastructure is monitored either upon the accident or selectively. The volume of sampling control does not exceed 2% of the total length of pipelines. There is a need to amend the Technical Regulations for the Safety of Pipeline Transport to the effect that the metal of all pipelines, including intra-field, must be monitored, and the quality of control of pipelines must be declared and checked.

The analysis of the traditional methods of the monitoring pipelines, such as the acoustic method of non-destructive testing "Echo"; distributed control systems with fiber

optic cable along the object axis; and direct measurements during periodic surveys of the metal surface during inspections by pipeline walkers.

The article describes the method of magnetic tomography in the framework of the Risk Based Inspection, which proposes the inclusion of the registration of real mechanical stresses, stress-corrosion processes in the system of assessing the reliability of pipelines by the criterion of transition to the limiting state based on the registration of the degree of stress concentration or local loads. To date, many problems have been solved in the system for monitoring the technical condition of in-field pipelines. However, ensuring the reliability of in-field pipelines in difficult operating conditions at a late stage of development remains an urgent task.

Key words: *stress-corrosion processes; in - field oil and gas pipeline; diagnostics of oil and gas pipelines; magnetic tomography method; Villari effect; corrosion; stress corrosion cracking; biocorrosion; metal embrittlement; in-line inspection; stress-strain state; robotic systems; multikopter; water transitions.*

Введение.

Ростехнадзор отмечает неудовлетворительное состояние внутрипромысловых трубопроводов нефтяных компаний и высокий уровень износа основных фондов - до 65 % нефтепроводов отработали нормативный срок службы. К 2018 г. в России имелось около 350 тыс. км промысловых трубопроводных систем, на которых было зафиксировано 100 тысяч отказов трубопроводов. По оценкам экспертов-экологов ежегодные потери нефтепродуктов в результате аварий составляют не менее 5 млн. тонн, что наносит огромный ущерб окружающей среде. С каждым годом увеличивается объем восстановительных мероприятий и ликвидации последствий аварийных состояний. Решение данной проблемы возможно на основе разработки и внедрения новых высокопроизводительных роботизированных технологий бесконтактной диагностики внутрипромысловых нефте- и газопроводов и технических регламентов, позволяющих своевременно выявлять и предупреждать аварийные ситуации, связанные с их повреждениями и минимизировать затраты на ремонтно-восстановительные работы [1 - 3].

Российская технология магнитных технологий неразрушающего контроля (магнитная томография) является уникальной в решении ряда сложнейших задач дефектоскопии, во-первых, дистанционного выявления микротрещин сварных монтажных соединений подземных нефте- и газопроводов [1-5, 7, 8]. Подобный дефект не бывает обнаружен традиционными методами: авторадиографией, ультразвуковым контролем, внутритрубной диагностикой, а также при гидроиспытаниях. Во-вторых, совместно с PETRONAS была модифицирована системы диагностирования методом магнитной томографии для подводных трубопроводов шельфовых зон. Итог этой работы – технология AQUA MTM, которая была отмечена в качестве Победителя конкурса инновационных технологий «Арктика-2012» (Хьюстон) и лидера мировой практики. Впервые в мировой практике, появилась возможность дистанционно регистрировать не только дефекты металла, но и реальные эксплуатационные нагрузки. Эти дополнительные нагрузки, вызванные подводными течениями, провисами, прогибами, свойственны подводным, в том числе внутривыпускным, нефте- и газопроводам и снижают их работоспособность, повышая риск аварий. Технология AQUA MTM позволяет проводить диагностирование морских трубопроводов на глубинах моря до 1500 м [9]. Совместно с одной из ведущих нефтегазовых компаний изучаются перспективы создания комплекса для работы на трубопроводах с глубиной моря свыше 3 000 м. В-третьих, в начале октября 2017 года был успешно завершён первый в мире проект по проведению диагностики газопровода компании ОАО «Алроса-газ» на водных переходах через реки Вилюй, Большая Бутобия, общей длиной около 2 км с применением мультикоптера. В создании данной технологии принимали участие научные центры ИПНГ РАН: магнитной томографии, научный руководитель к.т.н. С.С. Камаева, и мониторинга и геофизических исследований с применением БПЛА ИПНГ РАН, научный

руководитель к.т.н. А.Д. Черников. В результате проведения экспериментальных работ по обследованию водных переходов газопровода компании ОАО “АЛРОСА-Газ” методом магнитной томографии с применением беспилотных летательных аппаратов, отработаны основные элементы роботизированной технологии обследования состояния трубопроводов на водных переходах. Разработаны предложения по реализации перспективных требований по обеспечению технической безопасности эксплуатации нефтегазопроводов на основе внедрения инновационной интегрированной технологии роботизированной бесконтактной диагностики с применением БПЛА. Высокопроизводительные роботизированные технологии являются важной составляющей цифровых нефтегазовых технологий [12-30].

Способы мониторинга состояния внутрипромысловой трубопроводной инфраструктуры на поздней стадии разработки.

Внутрипромысловая трубопроводная инфраструктура – это система объектов трубопроводного транспорта, предназначенные для обеспечения системы сбора, подготовки и транспорта нефти, газа и конденсата до пункта сдачи товарной продукции и системы поддержания пластового давления (закачки рабочих агентов).

Внутрипромысловая трубопроводная инфраструктура месторождений включает в себя: линейную часть внутрипромысловых трубопроводов [37]; выкидные трубопроводы от скважин для транспортирования продукции скважин до замерных установок; технологические линии насосных станций (дожимных насосных станций); технологические линии промысловых компрессорных станций; линейную часть промысловых (межпромысловых) трубопроводов; технологические линии промысловых резервуарных парков; технологические линии газораспределительных станций; технологические линии химреагентов

и др. Металл внутрипромысловой трубопроводной инфраструктуры контролируется либо по факту аварии или выборочно. Объем выборочного контроля не превышает 2 % от общей протяженности трубопроводов. Это связано как с высокой стоимостью шурфования для доступа к поверхности металла, так и со значительными трудозатратами программ прямого контроля внешней и внутренней коррозии (ECDA\ICDA program).

К современным способам мониторинга можно отнести акустический метод неразрушающего контроля «Эхо»; распределенные системы контроля с оптоволоконным кабелем вдоль оси объектов; а также прямые измерения (ВИК) при периодических обследованиях поверхности металла в ходе осмотров (обходчиками).

Рассмотрим достоинства и недостатки перечисленных систем.

Метод «Эхо».

Суть метода: течение жидкого продукта при постоянном сечении трубопровода имеет малую турбулентность, без завихрений и разрывов однородности, при этом излучения звука практически нет. С помощью приставленного к внешней стороне стенке трубы микрофона можно зарегистрировать характерный шум протекающей жидкости. Этот шум распространяется по жидкости и металлу трубы в обе стороны от источника и может быть обнаружен чувствительной аппаратурой на расстоянии до 100 м, в зависимости от давления в трубопроводе и грунтовых условий. Место нарушения полнопроходного сечения трубопровода выявляется по уменьшению интенсивности звука при удалении от источника с помощью специальной аппаратуры для регистрации фонограммы с записью на компьютер. К главным достоинствам метода можно отнести хорошую чувствительность по выявлению участков уменьшения проходного сечения трубопровода, а основными недостатками являются трудоемкость применения

(обеспечение доступа к поверхности металла подземного объекта) и необходимость обеспечения акустической тишины в радиусе до 500 м от точки работы системы [39].

Системы мониторинга на базе оптоволоконных кабелей.

Применяется целый спектр разнообразных систем, позволяющих контролировать подвижки грунта, образование прогибов и изгибов трубопровода, попытки проведения несанкционированных врезок, утечки продукта вследствие разгерметизации. Однако применение ограничено необходимостью установки подобных систем непосредственно на трубопровод, что диктует их монтаж на вновь построенных объектах или при плановой переизоляции. Даже незначительное повреждение подобной системы мониторинга в процессе установки приведёт к полному либо к частичному выходу её из строя [38].

Обходы трассы, мониторинг и диагностика.

Существующие варианты мониторинга коррозионного износа стенки по косвенным показателям защищенности от коррозии - путём измерения параметров электрохимзащиты при периодических обходах трассы. Однако общепризнанным является вывод о том, что электрометрия является недостаточно надёжным инструментом оценки состояния металла трубопровода, по факту даже коррозионные дефекты металла недостаточно уверенно отслеживаются, не говоря о развитии дефектов иного происхождения.

Аналогичные выводы приходится сделать и о диагностике технического состояния на основе периодического неразрушающего контроля металла. В этом случае фиксируется состояние металла трубопровода в определённый момент, с последующими расчётами прогнозируемых показателей его состояния в будущем на основе разных моделей и скоростей деградации металла (коррозия, биокоррозия, трещинообразование, пластическая деформация в ходе коробления, потери

устойчивости, охрупчивание и т.п.). При этом показания о состоянии металла на всем протяжении трубопроводов вплоть до последнего десятилетия можно было получить только в случае его обследования снарядами-дефектоскопами, т.е. внутритрубным инспектированием. Говоря о подобной системе мониторинга, нельзя не учесть ее значительную ограниченность из-за недостаточности исходной информации о локальных нагрузках в реальных условиях эксплуатации и нелинейности процессов деградации металла.

Бесконтактный метод магнитной томографии.

Недостатки традиционных методов мониторинга состояния внутрипромысловых трубопроводов в сложных условиях могут быть преодолены путем диагностирования трубопроводов на базе бесконтактного метода магнитной томографии [10]. Суть технологии заключается в комплексном подходе к мониторингу технического состояния трубопровода за счет контроля напряженно-деформированного состояния металла и стресс - коррозионных процессов на всем протяжении трубопровода без изменения режимов его работы.

Оператор или роботизированный комплекс (мультикоптер, подводный дрон) переносит бесконтактный портативный сканер–магнетометр — перемещаясь с ним по поверхности земли (или в водной среде) над осью подземного (подводного) трубопровода. Расстояние между трубой большого диаметра и сканером может достигать до 25 метров. Устройство сканирует собственное магнитное поле трубы. Оборудование для МТМ позволяет дистанционно выявить участки с дефектами основного и сварного металла любых типов («потеря металла», трещиноподобные дефекты, изменение геометрии, дефекты сварных соединений, аномалии напряженно-деформированного состояния, результаты воздействия микроорганизмов [11] и т.д.) и оценить степень их

опасности с учетом локальных напряжений под действием реальных эксплуатационных нагрузок.

Альтернатива МТМ – технология внутритрубного обследования развивается уже 60 лет. При этом снаряд-дефектоскоп помещают внутрь трубопровода и перемещают посредством давления продукта, чтобы он снимал информацию с каждой точки примыкания датчиков к поверхности трубы. Эта технология требует серьезной процедуры подготовки к обследованию: остановки трубопровода и его очистки, а зачастую и намагничивания металла трубы, а также строгого контроля скорости перемещения снаряда-дефектоскоп. Проблемы создает неполнопроходное сечение внутренней полости объекта, из-за которого снаряд-дефектоскоп может застрять внутри трубы. Более чем 95% российских внутрипромысловых трубопроводов не подлежат внутритрубному обследованию.

Подобные ограничения не свойственны МТМ. При этом проводится сбор данных об объекте, диагностика в нормальном режиме эксплуатации, создается математическая модель для расчёта отклонения трубопровода от проектного положения, выявляются участки повышенных механических напряжений. Выявленные аномалии размечаются на местности, а на особо опасных участках устанавливаются внешние датчики для мониторинга в режиме реального времени (он-лайн).

Система мониторинга МТМ представляет собой установленные на заданном расстоянии друг от друга датчики с системой накопления или передачи данных с функциями фиксации и записи параметров магнитного поля во времени. В зависимости от задания система может транслировать данные первичного обследования либо на пульт оператора, либо на карту памяти, при этом съём данных осуществляется в соответствии с утверждённым регламентом (частотой опроса) в зависимости от реальной скорости процесса деградации металла (Рис 1.).

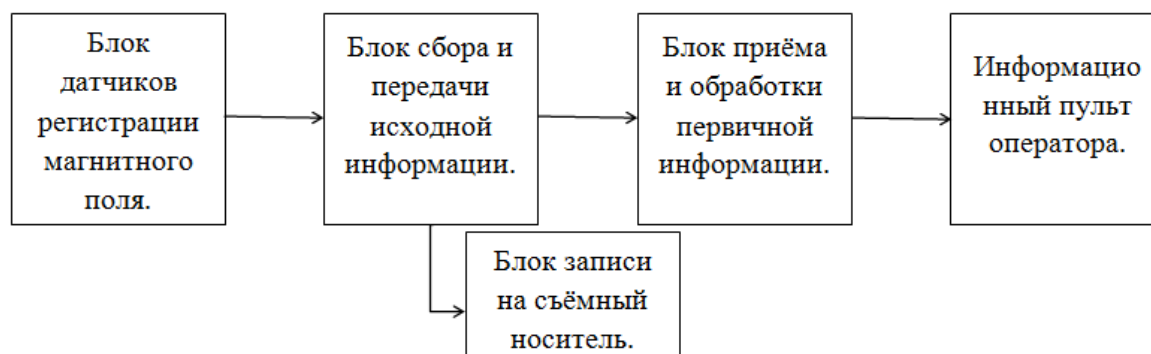


Рис. 1. Структура работы системы мониторинга на базе метода МТМ.

Повторное комплексное диагностирование трубопровода осуществляется спустя 3-5 лет для внесения поправок в математическую модель и выявление зон новых отклонения от норм для установки дополнительных точек мониторинга. Подобная двухступенчатая система мониторинга на базе постоянного контроля магнитных свойств металла позволяет диспетчеру отслеживать состояние металла трубопровода в реальном режиме времени и принимать оперативные решения по корректировке техобслуживания с учетом выявленного риска. В основе МТМ лежит известный эффект Виллари (обратная магнитострикция) – открытая более чем 200 лет назад зависимость между изменением напряжений (деформаций) ферромагнитных металлов и магнитным откликом вследствие изменения ориентации магнитных спинов доменов.

Применительно к трубопроводам можно говорить об изменениях распределения величин напряжений вдоль оси протяженного объекта вследствие неравномерного распределения множества факторов или местных нагрузок вследствие условий эксплуатации, внешних воздействий, а также дефектов различных типов (концентраторов напряжений). Например, коррозия, уменьшающая толщину стенки трубы, увеличивает локальные напряжения в области потери несущей способности. Даже при отсутствии изменений режима эксплуатации это вызывает аномалию магнитного поля трубопровода, поскольку магнитные спины в области концентратора напряжений стремятся изменить свою

пространственную ориентацию из-за деформаций в кристаллической решётке металла.

Зависимости характеристик магнитного поля трубопровода от напряжений различного характера были установлены в ходе многочисленных испытаний как на территории РФ, так и за рубежом (Малайзия, Индия, США, Норвегия, Италия). В частности, на натурном полигоне компании Петронас (Petronas) было проведено тестирование МТМ в качестве технологии оценки локальных напряжений на участках с известными искусственными дефектами при ступенчатом нагружении трубопровода. Оценку проводили сравнения показаний МТМ о величинах локальных напряжений, по показаниям установленных в зоне дефектов тензодатчиков, а также численных методов. Расчеты осуществляли по общепринятым методикам (ASME, API Part 1, 2; DNV, FEM.). Были зафиксированы высокие коэффициента корреляции итоговых данных всех перечисленных методов мониторинга. При этом результаты МТМ оказались более консервативными по сравнению с другими методами, однако расхождения не превышали 10 % [6].

Заключение.

На стадии опытно-промышленных работ технология диагностирования внутрипромысловой инфраструктуры по методу магнитной томографии успешно прошла апробацию в 2002 году в компании ПАО "Татнефть", а именно, в НГДУ "Заинскнефть" (ныне входит в НГДУ "Елховнефть").

Система мониторинга трубопроводной, в том числе внутрипромысловой, инфраструктуры на основе отечественной технологии по методу магнитной томографии является высокоэффективной, и характеризуется высоким экспортным потенциалом во всех областях

нефтегазовой промышленности, эксплуатирующих трубопроводные системы.

Особенно актуальны вопросы широкого применения метода магнитной томографии для диагностирования стресс – коррозионного состояния трубопроводной инфраструктуры на российских месторождениях, находящихся на поздней стадии разработки, и характеризующихся интенсивным проявлением как коррозионных, так и биокоррозионных процессов. Для обработки данных магнитометрии возможно использование технологий сбора, обработки Больших Данных [31, 32].

Обучение специалистов по квалификациям, связанных с эксплуатацией интегрированных роботизированных технологий на базе использования бесконтактной магнитометрической диагностики возможно производить в цифровом нефтегазовом университете в любое время, в любом месте и в нужном объеме [33-36] (см. рис.2).



Рис. 2. Курсы повышения квалификации по цифровой модернизации нефтегазового производства профессора, д.т.н. Еремина Н.А. в ведущей нефтегазовой компании ПАО «Татнефть», г. Альметьевск, 2014 г.

Список литературы

1. Абукова Л.А., Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Черников А.Д. Цифровая модернизация нефтегазовой отрасли: состояние и тренды. // Датчики и системы. 2017. №11. с.13-19.
2. Камаева С.С., Еремин Н.А. Риск-ориентированный подход к обеспечению безопасности газопроводов с применением бесконтактных технологий технического диагностирования // Нефть. Газ. Новации. 2017. № 9. С. 75-82.
3. РД 102-008-2002 Инструкция по диагностике технического состояния трубопроводов бесконтактным магнитометрическим методом, утв. Госгортехнадзор РФ Письмо № 10-03/1181 от 10.12.2002 г. М.: Изд АО ВНИИСТ, Минэнерго, 2003. – 52 С.
4. Камаева С.С., Никонов А.И., Горошевский В.П., Белотелов В.Н. Особенности диагностики трубопроводов комплексом дистанционных методов на основе линейного анализа и магнитной томографии //Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2016.- № 6. – с.54-60.
5. Воробьев Я.В., Волгина Н.И., Хуснутдинов Л.А., Камаева С.С. Использование ферромагнитных свойств металла для диагностирования технического состояния и прогнозирования ресурса стальных трубопроводов // Технология металлов. – 2010. – № 1. – С. 46–49.
6. Колесников И.С., Горошевский В.П., Камаева С.С. Управление надежностью трубопроводов, не подлежащих внутритрубному инспектированию // В мире неразрушающего контроля. – М.: Изд. дом "Спектр". – 2014. – № 3 (65). –С. 60–64.
7. Камаева С.С., Горошевский В.П., Колесников И.С., Ивлев Л.Е. Магнитная томография для "нулевой инспекции" вновь построенного газопровода // Нефтегаз.ru. – 2015. – № 3. – С. 50–51.
8. Камаева С.С., Горошевский В.П., Колесников И.С., Ивлев Л.Е. Магнитная томография: целостность трубопроводов, для которых невозможно внутритрубное диагностирование // Нефтегаз.ru. – 2015. – № 9. – С. 39–41.
9. Aqua MTM (Magnetic Tomography Method) - Spotlight on Arctic Technology Conference ATC -2012. – Houston, USA. - December, - 2012, P. 3 – 5.
10. Способ прогнозирования местоположения течей трубопровода Автор: Белов Е.М. Патент РФ № 2062394 Дата публикации: 1996.06.20, № заявки: (RU): 93030278/06, Дата подачи заявки: 1993.06.01; Заявитель: Акционерное общество "Черногорнефть" Патентообладатель: АО "Черногорнефть".
11. Камаева С.С. Локальные коррозионные явления, сопряженные с воздействием микроорганизмов // Обз. информ. Сер. Защита от коррозии оборудования в газовой промышленности. - М.: ООО ИРЦ «Газпром», 1999, 39 с.
12. Абукова Л.А., Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Михайлов Н.Н. Цифровая модернизация газового комплекса //Доклады заседания секции «Добыча газа и газового конденсата» Научно-технического совета ПАО «Газпром» (г. Светлогорск, 22-26 мая 2017 года), "Актуальные вопросы разработки и внедрения малолюдных (удаленных) технологий добычи и подготовки газа на месторождениях ПАО «Газпром», М., ОАО «Газпром автоматизация», 2017, с.9-20.
13. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А. Современная НТР и смена парадигмы освоения углеводородных ресурсов // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом, 2015. № 6. С. 10-16.
14. Дмитриевский А.Н., Мартынов В.Г., Абукова Л.А., Еремин Н.А. Цифровизация и интеллектуализация нефтегазовых месторождений // Автоматизация и IT в нефтегазовой области. – 2016., № 2 (24),с. 13–19.

15. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А. Инновационный потенциал умных нефтегазовых технологий. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2016, №1, с.4-9
16. Еремин Н.А., Дмитриевский А.Н., Тихомиров Л.И. Настоящее и будущее интеллектуальных месторождений. // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – № 12. – С. 44-49.
17. Еремин Ал. Н., Еремин Н.А. Современное состояние и перспективы развития интеллектуальных скважин. // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – № 12. – С. 50–53.
18. Еремин Н.А., Сарданашвили О.Н. Инновационный потенциал цифровых технологий. // Актуальные проблемы нефти и газа, Вып. 3(18) 2017, с.1-9, <http://oilgasjournal.ru>
19. Абукова Л.А., Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А. Цифровая модернизация нефтегазового комплекса России. // Нефтяное хозяйство. 2017, №11, с.54-58.
20. Еремин Н.А., Еремин Ал.Н., Еремин Ан.Н. Цифровая модернизация нефтегазового производства // Нефть. Газ. Новации. 2017. № 12. С. 13-16.
21. Еремин Н.А. Цифровые тренды в нефтегазовой отрасли // Нефть. Газ. Новации. 2017. № 12. С. 17-23.
22. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А. Цифровое развитие Арктической зоны России: состояние и лучшие практики // Региональная энергетика и энергосбережение, 2018, №3, с.2-3 <http://lib4ipng.ru/node/441>
23. Гаричев С.Н., Еремин Н.А. Технология управления в реальном времени // Учеб. пособие. В 2 ч./ Гаричев С.Н., Еремин Н.А.– М. : МФТИ. 2015– Ч. 2.-304 с. : ил. ISBN 978-5-7417-0572-8 (Ч.2).
24. Garichev S.N., Eremin N.A. Technology of management in real time // Учеб. пособие (на английском языке). В 2 ч.– М. : МФТИ. – Ч. 1. – 227 с. ISBN 978-5-7417-0501-8; ISBN 978-5-7417-0503-2 (часть 1).
25. Еремин Н.А., Еремин А.Н., Еремин А.Н. Управление разработкой интеллектуальных месторождений // М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, В 2-х кн.: учеб. пособие для вузов. – Кн. 2.– 2012. 210 с.: ил. ISBN 978-5-91961-329-7.
26. Еремин Н.А., Еремин Ан.Н., Еремин Ал.Н. Оптикализация нефтегазовых месторождений // Нефть. Газ. Новации., 2016, №12, с.40-44 <https://elibrary.ru/item.asp?id=28126794>
27. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А. Нефтегазовый комплекс РФ - 2030: цифровой, оптический, роботизированный. // Управление качеством в нефтегазовом комплексе, 2017, №1, с.10-12.
28. Ивлев А.П., Еремин Н.А. Петроботика: роботизированные буровые комплексы // Бурение и нефть, 2018, № 2, с.8-13
29. Еремин Ал.Н., Еремин Ан.Н., Еремин Н.А. О квантовизации и роботизации нефтегазового дела. // Будущее в настоящем: человеческое измерение цифровой эпохи: Материалы III Международной научно-методической конференции Гуманитарные Губкинские чтения (Москва, 5-6 апреля 2018 г.). Ч. 3. // Ред.: Балычева М.Б., Смирнова О.М. - М: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2018., с.147-154
30. Еремин Н.А., Золотухин А.Б. Петророботика: состояние и гуманитарные аспекты. // Будущее в настоящем: человеческое измерение цифровой эпохи: Материалы III Международной научно-методической конференции Гуманитарные Губкинские чтения (Москва, 5-6 апреля 2018 г.). Ч. 3. // Ред.: Балычева М.Б., Смирнова О.М. - М: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2018., с.155-161
31. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А. Большие геоданные в цифровой нефтегазовой экосистеме // Энергетическая политика. - 2018. - №2 - с.31-39. <http://lib4ipng.ru/node/444>

32. Еремин Н.А. Работа с большими геолого-промысловыми данными в эпоху нефтегазового интернета вещей. // Нефть. Газ. Новации. 2018. № 2. С. 70-72. <http://lib4ipng.ru/node/439>
33. Абукова Л.А., Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Линьков Ю.В., Пустовой Т.В. Цифровая модернизация образовательного процесса. // Дистанционное и виртуальное обучение. — 2018. — №. 1. — с. 22–31.
34. Абукова Л.А., Борисенко Н.Ю., Мартынов В.Г., Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А. Цифровая модернизация газового комплекса: научные исследования и кадровое обеспечение // Научный журнал РГО, 2017. №4. с.3-12.
35. Кожевников Н.А., Еремин Н.А., Пустовой Т.В. О нефтегазовом сетевом университете // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом, 2017. № 10. С. 41-47.
36. Kozhevnikov N.A., Bekmukhametova Z. A., Eremin N.A. The digital petroleum education // Herald of the Kazakh-British technical university, 2017, №4, p.28-36. <http://lib4ipng.ru/node/443>
37. Еремин Н.А. Система обнаружения разрыва линейной части трубопровода // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. — 1979. — № 3. — С. 8–10.
38. CAE-CUBE: [Электронный ресурс]. URL: <http://cae-cube.ru/> (дата обращения 11.02.2018)
39. Белов А.А., Иванов Ю.Д., Шестаков А.А., Царева С.Г., Шишков Э.В. \\\ Рекомендации по выбору способа мониторинга технического состояния трубопроводов. - Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук, № 1, Октябрь 2015 г. ООО «Единый Технический Центр».

Сведения об авторах

Еремин Николай Александрович, заместитель директора ИПНГ РАН, профессор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва, Российская Федерация
E-mail: ermn@mail.ru

Хуснутдинов Линар Азатович, заведующий лабораторией ООО НТЦ «Транскор-К», г. Москва, Российская Федерация
E-mail: linya82@mail.ru

Authors

Nikolai Eremin, 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, Moscow, Russian Federation
E-mail: ermn@mail.ru

Linar Khusnutdinov, Head of the Laboratory of STC Transkor-K LLC, Moscow, Russian Federation
E-mail: linya82@mail.ru

Еремин Николай Александрович
119333, Российская Федерация,
г. Москва, Губкина ул., д. 3,
ИПНГ РАН
Тел. (+7499) 135-38-48
119991, Российская Федерация,
г. Москва, Ленинский просп., д. 65, корп.1,
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
Телефон/факс: (+7499) 507-82-97
E-mail: ermn@mail.ru

Хуснутдинов Линар Азатович
111141, Российская Федерация,
г. Москва, Перовская ул., 31А,
ООО НТЦ «Транскор-К»
Тел. +7 (495) 225-96-53
E-mail: linya82@mail.ru