

ЦИФРОВИЗАЦИЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**А.Н. ДМИТРИЕВСКИЙ (ФГБУН Институт проблем нефти и газа РАН),
В.Г. МАРТЫНОВ (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина),
Л.А. АБУКОВА (ФГБУН Институт проблем нефти и газа РАН),
Н.А. ЕРЕМИН (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
ФГБУН Институт проблем нефти и газа РАН)**

Проведен системный анализ основных направлений развития цифровых и интеллектуальных месторождений. Выявлены новые перспективные решения в области геологии, бурения, разработки и эксплуатации интеллектуальных месторождений. Обобщен опыт создания цифровых и интеллектуальных месторождений и скважин в России и за рубежом.

Ключевые слова: цифровизация и интеллектуализация нефтегазовой отрасли, цифровые и интеллектуальные месторождения в России и за рубежом, режим реального времени, цифровые и интеллектуальные скважины.

Характерной чертой современного развития цифровых и интеллектуальных месторождений углеводородов (УВ) является внедрение информационно-коммуникационных технологий по всей цепочке производственного цикла [1-7]. Принятие решений на иерархических уровнях от низшего до высшего базируется на результатах моделирования конкретных ситуаций или процессов. При этом решение принимается в цифровом и интеллектуальном пространстве. Инженеры имеют возможность связаться с центром управления из любой точки мира и найти наилучшее решение по максимизации капиталоотдачи от каждого составного элемента производственной цепочки добычи углеводородов в режиме реального времени [8, 9].

Критические технологии, в рамках которых осуществляется цифровизация и интеллектуализация нефтегазовой отрасли в средне- и долгосрочной перспективах [10-12]:

- интеллектуальные системы поиска, разведки, разработки месторождений, добычи, транспорта и переработки нефти и газа;
- инновационные энергосберегающие системы добычи и транспортные системы нефти и газа; использование естественной энергии пластов для преобразования добычных технологий в технологии высоких переделов; ресурсосберегающий и энергоэффективный транспорт и переработка;
- информационные, управляющие, навигационные, морские, подводные, подледные,

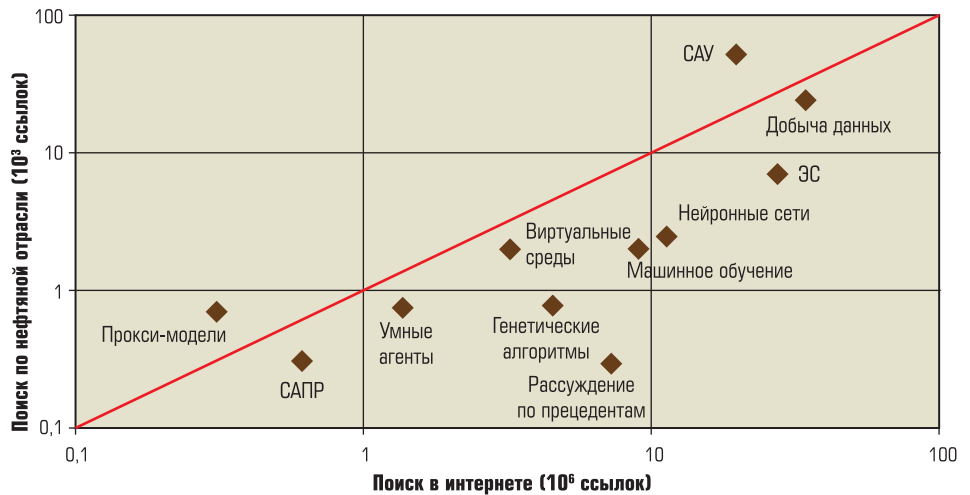
континентальные и скважинные сенсорные системы мониторинга и управления в режиме реального времени;

- энергоэффективное и геоэкологическое производство, предусматривающее развитие технологий высоких переделов, реализацию безлюдных нефтегазовых технологий, создание подводных и подледных заводов, скважинных заводов;
- интегрированная конверсия космических технологий в морские нефтегазовые.

Эффективное и целенаправленное внедрение инновационных технологий уже с первого года дает возможность получить постоянно нарастающий финансовый поток как за счёт роста нефтегазодобычи, так и в результате реализации интеллектуальных инновационных технологий высоких переделов. Значительные финансовые ресурсы позволят поддержать развитие инновационных процессов в самых различных, в том числе в смежных несырьевых отраслях экономики. Созданные инновационные технологии дадут возможность повысить конкурентоспособность отечественной продукции и обеспечить технологическую независимость нефтегазового комплекса страны [8, 9].

В целом инновационные процессы будут осуществлять эффективную модернизацию российской нефтегазовой промышленности на новом витке развития, а именно, высокотехнологичном, интеллектуальном и геоэкологичном. Они должны определять направленность преобразований в каждом нефтегазовом

Рис. 1. Результаты исследования применения методов Искусственного Интеллекта в нефтегазовой отрасли [10, 11] и во всем интернете



кластере в федеральных округах РФ, смежных отраслях экономики, когда модернизация осуществляется, прежде всего, на тех предприятиях, которые “работают” на реализацию интеллектуальных и инновационных технологий. Масштабное развитие подобных процессов создаст все необходимые условия для реиндустриализации экономики России. Инновационные и интеллектуальные технологии, модернизация нефтегазовой отрасли, в конечном итоге, приведут к системным изменениям и положительным преобразованиям и в экономике России.

Базис ресурсно-инновационных технологий позволяет уверенно прогнозировать высокоэффективное развитие нефтегазовой отрасли, а участие академических институтов позволит реализовать лучшие наработки в разных научных направлениях в НГК РФ.

В основе применения цифровых и интеллектуальных технологий в нефтегазовой отрасли лежит применение методов искусственного интеллекта (рис. 1). Наиболее подробно они описаны в работах [10, 11].

На рис. 2. представлена динамика революционного развития цифрового и интеллектуального нефтегазового производства за последние 15 лет. В ряде сегментов ИТ технологий российская нефтегазовая наука занимает лидирующие позиции, а именно: опто-волоконная сенсорика; опто-волоконные каналы сбора и передачи данных. За эти годы были созданы и внедрены следующие инновационные технологии: 4D сейсмика; умные скважины; управление операциями в режиме реального времени для снижения капитальных и эксплуатационных расходов; новые морские месторождения вводятся в разработку с элементами искусствен-



Рис. 2. Динамика внедрения цифровых и интеллектуальных технологий в нефтегазовое производство

ного интеллекта; управление и оптимизация технологическими операциями в режиме реального времени; автоматизированный скважинный контроль за величиной газо-нефтяного фактора; интегрированное (экранное) планирование ГТМ; мониторинг разработки нефтегазовых месторождений и применения цифровых и интеллектуальных МПН/МУН в режиме онлайн [18]; массовое тиражирование эффективных технологий на аналогичных объектах компаний; умный мобильный нефтегазовый рабочий и инженер; распределенная волоконная оптика на скважинах, системах сбора, подготовки и трубопроводного транспорта нефти и газа; интегрированное моделирование нефтегазового производственного цикла и подводный нефтегазовый завод для подготовки товарной продукции на дне моря. Каждый актив умного месторождения обладает соответствующим уровнем интеллектуальности.

Нефтегазовая отрасль является важнейшей сферой ресурсно-инновационного развития страны, в том числе, в связи с переходом к безлюдным и цифровым технологиям добычи трудноизвлекаемых углеводородов на больших глубинах, шельфе морей и Ледовитого океана, из отложений горючих сланцев, эксплуатации нефтяных и газовых месторождений на поздних стадиях разработки, транспортировке газа и нефти на большие расстояния по умным трубопроводам, производству сжиженного природного газа (СПГ), синтоплива (синтетического бензина и синтетического дизельного топлива) и биотоплива.

В РФ на 01.01.2016 г. количество цифровых месторождений достигло 26, что составляет около 12% от общего их количества в мире: ПАО «РОСНЕФТЬ» – 10 (одно – морское безлюдное); ПАО «ГАЗПРОМ» – 7; ОАО «ЛУКОЙЛ» – 4; ОАО «НОВОТЭК» – 2 (одно – безлюдное); ПАО «ТАТНЕФТЬ» – 1; ОАО «РИТЭК» – 1; ОАО «ЗАРУБЕЖНЕФТЬ» – 1. Количество цифровых скважин в мире на 01.01.2015 г. превысило 15 000, из них в России – более 2000. Внесение изменений в налоговую систему по стимулированию перехода нефтегазового комплекса на цифровой формат производства в режиме реального времени обеспечит внедрение цифровых и интеллектуальных технологий повышения коэффициента извлечения нефти с суммарным приростом запасов около 3 млрд тонн до 2030 г., и порядка 60 млн тонн в год дополнительно добытой нефти при темпах ежегодного отбора на уровне 2%. В 2016 г. ожидается, что компания Shell будет осуществлять

управление всем своим фондом – свыше 20 000 скважин в режиме реального времени – 24/7, а компания BP будет осуществлять аналогичное управление на 60% своего эксплуатационного фонда скважин.

Опыт эксплуатации свыше 240 умных месторождений во всем мире, в том числе на 26 умных месторождениях РФ, позволяет сделать осторожную оценку влияния инновационных технологий на эффект увеличения добычи нефти и газа при вводе в эксплуатацию умных скважин, высокотехнологичной обработки призабойных зон скважин, умных первичных, вторичных, третичных методов разработки [18] и т.д. Применение подходов, решений и технологий, основанных на принципах интеллектуализации позволит: сократить операционные и инвестиционные затраты на 10-15%, обеспечить прирост добычи нефти и газа на 5-15%. Проблема увеличения дебита в условиях снижения добычи является очень актуальной для большинства нефтедобывающих стран мира. По этой причине техника и технологии повышения нефтеотдачи пластов и ввод в эксплуатацию остаточных запасов нефти постоянно совершенствуется. За последние годы российские и зарубежные компании выступили инициаторами значительного количества проектов в области методов повышения нефтеотдачи (МПН) и методов увеличения нефтеотдачи (МУН) пластов [18], в том числе с применением химических реагентов для изменения фильтрационных потоков и нагнетания композиций химреагентов и наноагентов в разнообразных геологических условиях и насыщенности углеводородов. Достигнуто значительно более детальное понимание фундаментальных физических и химических свойств горных пород и жидкостей, которые имеют решающее влияние на повышение общей добычи и увеличение экономических факторов проекта [8-12]. В связи с этим потребовалось существенное увеличение экспериментальных возможностей для измерения соответствующих свойств горных пород и жидкостей, а также методов визуализации и моделирования процессов фильтрации в пластах в различных геологических и временных масштабах. Были построены современные системы визуализации процессов вытеснения в пластовых средах.

Для увеличения потенциала динамического развития нефтегазовой отрасли необходимо: повышать конкурентоспособность отечественной нефтегазовой отрасли на мировом рынке

в части экономической эффективности за счет интеллектуализации; обеспечивать энергетическую безопасность страны через внедрение цифровых и интеллектуальных технологий управления поиском, разработкой, освоением и эксплуатацией месторождений углеводородов в режиме реального времени. Современное состояние добычи нефти и газа требуют от нефтегазовых компаний максимальной концентрации своих усилий на: 1) использовании цифровых и интеллектуальных, и, в конечном итоге, бесплодных технологий на каждом этапе производственного цикла; 2) прирост стоимости основных средств (капитализации); 3) создание центров управления процессами добычи, переработки и транспортировки продукции в режиме реального времени.

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина и ИПНГ РАН совместно с институтами РАН представили доклад на заседании Комитета по Энергетике ГД РФ по вопросам цифровизации и интеллектуализации нефтегазовой отрасли.

Доклад получил положительную оценку депутатов, многие из его положений вошли в решение Комитета по Энергетике ГД РФ шестого созыва № 3.25-5/114 от 11 декабря 2015 г. “Наука и производство: применение инновационных разработок в нефтегазодобыче” [13].

Работы 28-ми академических институтов 6-ти отделений РАН по направлению “Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности” позволили обосновать ресурсно-инновационную стратегию развития экономики Российской Федерации. Переход от традицион-

ного экспортно-сырьевого к ресурсно-инновационному развитию является первым этапом реализации стратегии инновационного развития экономики России. На данном этапе предусматривается полное использование отечественного ресурсного и инновационного потенциалов за счет формирования длинных технологических цепочек с их насыщением инновационными технологиями, в том числе интеллектуальными. Подготовлены предложения по эффективному и масштабному развитию интеллектуальных инновационных технологий поиска, разведки, разработки, транспорта и переработки нефти и газа. Центральное место в реализации стратегии ресурсно-инновационного развития экономики страны отведено драйверу российской экономики – нефтяной и газовой промышленности.

Нефтегазовая отрасль имеет все необходимое для реализации инновационных преобразований. Нефтегазовый комплекс Российской Федерации (далее – НТК России) – это масштабный блок национальной экономики, который обладает крупнейшей в мире минерально-сырьевой базой, развитой инфраструктурой, квалифицированными кадрами, значительным инновационным потенциалом. Реализация интеллектуальных нефтегазовых технологий, как показывает мировой опыт, характеризуется масштабным, быстрым и эффективным возвратом вложенных в него финансовых ресурсов. В настоящее время есть все необходимые условия для интеллектуального технологического прорыва в ТЭК России.

На рис. 3 представлены приоритеты инновационного развития нефтегазовой отрасли по

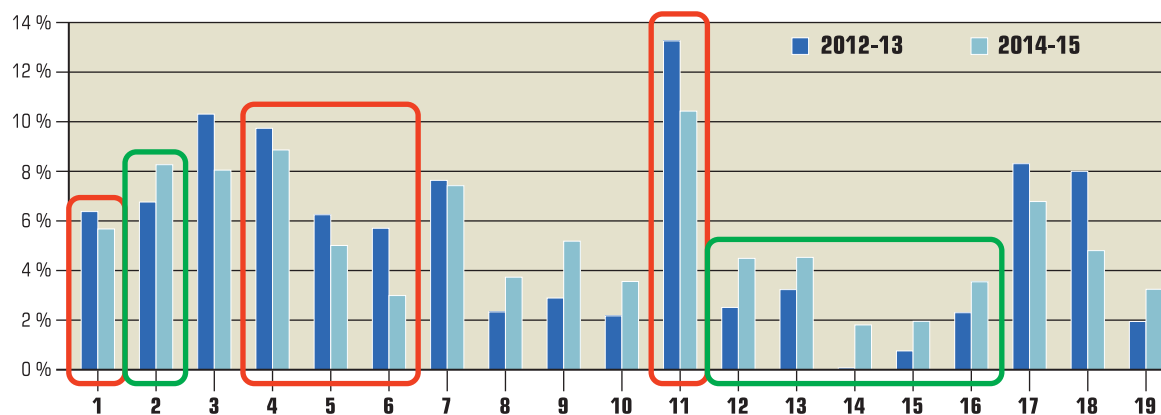


Рис. 3. Общемировые тенденции развития нефтегазовой индустрии [14]

1 – сейсмические исследования, 2 – сейсмический процессинг и интерпретация, 3 – интегрированное поверхностное моделирование, 4 – буровые технологии, 5 – технологии заканчивания, 6 – пластовое моделирование, 7 – морские технологии, 8 – технологии сбора и подготовки, 9 – методы монетизации газа, 10 – подготовка воды, 11 – МУН/МПН, 12 – сенсоры, 13 – цифровизация, 14 – мобильность и коммуникации, 15 – роботы и дроны, 16 – управляемая данными аналитика и ИИ, 17 – пластовая оптимизация, 18 – цифровые месторождения, 19 – охрана здоровья и труда, безопасность и экология

результатам опроса компанией Cisco ведущих нефтегазовых и сервисных компаний. В 2012-2013 гг. в опросе приняли участие 28 добывающих нефтегазовых компаний, представившие 570 документов по направлениям развития. В 2014-2015 гг. в опросе приняли участие 34 добывающие нефтегазовые компании, представившие 620 документов по направлениям развития.

Зеленым овалом очерчены технологии с позитивной динамикой развития. Красным овалом очерчены технологии с негативной динамикой развития.

Разработка программы интеллектуально-инновационного развития нефтегазовой отрасли совместно с нефтяными и газовыми компаниями страны позволит осуществить высокорентабельное внедрение этих технологий [15, 16], а именно:

- восстановить эффективную добычу лёгкой маловязкой нефти обводненных месторождений, вступивших в позднюю стадию разработки, в недрах которых ещё остаётся 50-70 процентов нефти, продлить “жизнь” крупных и гигантских месторождений, возродить старые регионы нефтегазодобычи;
- активизировать освоение трудноизвлекаемых запасов и нетрадиционных ресурсов нефти и газа, ускорить создание новых центров нефтегазодобычи;
- реализовать технологии высоких переделов уникальных ресурсов газовых месторождений Восточной Сибири, ачимовской свиты Западной Сибири, матричной нефти Оренбургской области, обеспечивающие выход на внутренний и внешний рынки новой высокоценной и остродефицитной нефтегазохимической продукции”.

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина и ИПНГ РАН совместно с институтами РАН представили доклад на заседании круглого стола 30 ноября 2015 г. Комитета по Энергетике ГД РФ по вопросу “Импортозамещение нефтегазового оборудования, как основа экономической и энергетической безопасности” [17]. Доклад получил положительную оценку депутатов, многие из его положений вошли в решение Комитета по Энергетике ГД РФ шестого созыва № 3.25-5/116 от 23 декабря 2015 г. [14], в частности, проблемы импорта оборудования для нефтегазового комплекса.

ТЭК является важнейшей сферой ресурсно-инновационного развития страны, в том числе

в связи с переходом к безлюдным и цифровым технологиям добычи трудноизвлекаемых углеводородов на больших глубинах, шельфе морей и Ледовитого океана, к их добыче из горючих сланцев, эксплуатации нефтяных месторождений на поздних стадиях разработки, транспортировке газа и нефти на большие расстояния по трубопроводам, производству сжиженного природного газа (СПГ), синтетического бензина и синтетического дизельного топлива.

В настоящее время США, Германия, Япония и Англия резко ограничили поставки специальных оптических волокон с уникальными параметрами для освоения месторождений шельфа Российской Федерации. Оказались недоступны радиационно-стойкие оптические волокна и оптические волокна для волоконных лазеров. В небольших объемах спецволокна двойного назначения могут изготавливаться “под заказ” в лабораторных условиях в институтах РАН, однако, весьма сложно обеспечить воспроизводимость характеристик от образца к образцу, особенно для потребителей, при отсутствии технологических регламентов, гарантирующих стабильное воспроизводство характеристик.

Перспективная потребность российских нефтегазовых предприятий в специальных оптических волокнах для цифровых и интеллектуальных месторождений и скважин оценивается в объеме рынка около 5 млрд руб. (по оценке д.ф.-м.н, проф. Голанта К.М., ИРЭ РАН им. В.А. Котельникова). Данные изделия широко востребованы в иных различных отраслях промышленности и науки: для электронных трансформаторов тока и напряжения, интеллектуальных распределительных систем, систем энергопитания кораблей. Радиационно-стойкие оптические волокна необходимы для создания долговечных отказоустойчивых систем измерения и автоматизации объектов атомной энергетики и военных систем. Значительное потребление специальных оптических волокон ожидается в оборонных отраслях при создании новых высокотехнологичных и интеллектуальных лазерных систем вооружений и средств противодействия.

Организация промышленного производства специальных оптических волокон позволит развить на их основе производство оптоволоконных приборов и систем измерения двойного назначения с объемом рынка по России примерно до 50 млрд руб. и устранить зависимость России от этой категории изделий.

Востребованы поставки специальных оптических волокон на мировой нефтегазовый рынок в связи с растущим неудовлетворенным спросом, в первую очередь в Китае, и высоким уровнем накопленного научного потенциала России в этой области, в том числе специального программного обеспечения обработки данных пассивной промысловой сейсмологии и скважинной микросейсмологии.

Количество цифровых скважин в мире на 01.01.2016 г. превысило 15000, из них в России – более 2000. Внесение изменений в налоговую систему в части стимулирования перехода нефтегазового комплекса на цифровой формат производства в режиме реального времени позволит обеспечить внедрение цифровых и интеллектуальных технологий, направленных на повышение коэффициента извлечения нефти с суммарным приростом запасов около 3 млрд тонн до 2030 г., и порядка 60 млн тонн в год дополнительно добытой нефти при темпах ежегодного отбора на уровне 2%.

Цифровизация, интеллектуализация и геоэкологизация нефтегазовой отрасли на базе программ импортозамещения позволит обеспечить увеличение добычи нефти, поставку на внутренний и внешний рынки новой нефтегазохимической продукции (синтетического бензина, синтетического ДТ), что снизит зависимость страны от экспорта первичных ресурсов, а также активизировать инновационные процессы и модернизацию смежных отраслей экономики с одновременным созданием новых высокопроизводительных рабочих мест.

Решение проблем импортозамещения представляется возможным при активном взаимодействии всех заинтересованных сторон, включая, прежде всего, компании нефтегазового комплекса, поставщиков оборудования, федеральные и региональные органы власти. При этом государственное регулирование должно включать помимо стимулов ограничительные меры, направленные на рост производственного и инновационного потенциала отечественных поставщиков и подрядчиков, увеличение степени технологической независимости российского нефтегазового комплекса.

Список литературы

1. *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. 1. – 196 с.: ил. ISBN 978-5-7417-0563-6 (Ч. 1).
2. *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).
3. *Garichev S.N., Eremin N.A.* Technology of management in real time. The Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Part 1, 2013, ISBN 978-5-7417-0501-8; ISBN 978-5-7417-0503-2, 228 p.
4. *Garichev S.N., Eremin N.A.* Technology of management in real time. The Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Part 2, 2013, ISBN 978-5-7417-0501-8; ISBN 978-5-7417-0505-6, 167 p.
5. *Alexander N. Eremin, Anton N. Eremin, Nikolai A. Eremin.* Smart Fields and Wells, Publishing Center of Kazakh-British Technical University (KBTU) JSC, 2013, 320 p., Almaty, ISBN 978-601-269-053-8.
6. *Еремин Н.А., Еремин А.Н., Еремин А.Н.* Управление разработкой интеллектуальных месторождений: Учеб. пособие для вузов: В 2 кн. – Кн. 2. Учеб. пособие для вузов: М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2012. – 165 с.: ил. ISBN 978-5-91961-329-7.
7. *Еремин Н.А.* Управление разработкой интеллектуальных месторождений: Учеб. пособие для вузов: В 2 кн. – Кн. 1. М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011. – 200 с.: ил. ISBN 978-5-91961-019-9.
8. *Богаткина Ю.Г., Пономарева И.А., Еремин Н.А.* Применение информационных технологий для экономической оценки инвестиционных проектов. // М.: МАКС Пресс, 2016. – 148 с. ISBN 978-5-317-05187-7.
9. *Еремин Н.А., Богаткина Ю.Г., Лындин В.Н.* Проблемы разработки месторождений шельфа и методология их технико-экономической оценки печатный НТЖ “Нефть, газ и бизнес”, № 11, 2015, с. 37-40.
10. *Еремин Н.А., Дмитриевский А.Н.; Мартынов В.Г., Скопинцев С.П., Еремин Ал.Н.* Скважинные сенсорные системы. // Нефть. Газ. Новации. 2016, № 2, с. 50-55.
11. *Еремин Н.А., Дмитриевский А.Н., Тихомиров Л.И.* Настоящее и будущее интеллектуальных месторождений // Нефть. Газ. Новации. 2015, № 12, с. 44-49.

12. *Еремин Ал. Н., Еремин Н.А.* Современное состояние и перспективы развития интеллектуальных скважин // Нефть. Газ. Новации. 2015, № 12, с. 50-53.
13. *Решение* Комитета по Энергетике ГД РФ шестого созыва № 3.25-5/114 от 11 декабря 2015 г. “Наука и производство: применение инновационных разработок в нефтегазодобыче”.
14. *Коновалов С.* Общемировые тенденции развития нефтегазовой индустрии. Как большие нефтегазовые компании адаптируются в период низких цен на нефть/газ. // Партнерский саммит по решениям Cisco для нефтегазового сектора. М., Бизнес-центр “Крылатские холмы”, 19 мая 2016 г.
15. *Еремин Н.А., Дмитриевский А.Н.* Цифровизация и интегрированные операции на нефтегазовых месторождениях // Партнерский саммит по решениям Cisco для нефтегазового сектора. М., Бизнес-центр “Крылатские холмы”, 19 мая 2016 г.
16. *Волков С.В. (ИТРС), Дмитриевский А.Н. (ИПНГ РАН), Еремин Н.А. (ИПНГ РАН), Тихомиров Л.И. (ИТРС).* Инновационные методы управления нефтегазодобычей на основе интегрированных операций, доклад на сессии “Современные информационные и цифровые технологии в ТЭК” // III Национальный нефтегазовый форум, Москва, 18-21.04.2016, доклад 20.04.2016 г.
17. *Решение* Комитета по Энергетике ГД РФ шестого созыва № 3.25-5/116 от 23 декабря 2015 г. по результатам проведения круглого стола 30 ноября 2015 г. “Импортозамещение нефтегазового оборудования, как основа экономической и энергетической безопасности”.
18. *Еремин Н.А., Еремин Ан.Н., Еремин Ал.Н.* МПН/МУН – современное состояние и тренды развития // Нефть. Газ. Новации, 2016, № 4, с. 64-69.

Дмитриевский Анатолий Николаевич – академик РАН, научный руководитель ИПНГ РАН, ФГБУН Институт проблем нефти и газа РАН,

Мартынов Виктор Георгиевич – ректор, профессор, докт. эконом. наук, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,

Абукова Лейла Азретовна – директор, докт. г.-м. наук, профессор, ФГБУН Институт проблем нефти и газа РАН,

Еремин Николай Александрович – профессор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, заведующий Аналитическим центром ИПНГ РАН.