АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ИНДИКАТОРЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ НА ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А.Н. Дмитриевский^{1,2}, Н.А. Еремин^{1,2}, В.Е. Столяров^{1,3}

¹Институт проблем нефти и газа Российской Академии Наук, Москва, Россия;

²Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М.Губкина, Москва, Россия; ³ПАО «Газпром», Москва, Россия

Current Issues and Indicators of Digital Transformation of Oil and Gas Production at the Final Stage of Field Operation

A.N. Dmitrievsky^{1,2}, N.A. Eremin^{1,2}, V.E. Stolyarov^{1,3}

¹Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

²Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russia;

³PJSC «Gazprom», Moscow, Russia

Abstract

The article analyzes the technical and regulatory restrictions that complicate the production of hydrocarbons at the final stage of operation, as well as the directions of resource and innovative development of the fuel and energy complex in the context of sanctions and restrictions in the development of national priorities. The features of regulatory regulation of legislation and indicators of digital transformation for previously developed fields and the preservation of hydrocarbon markets, the development of national economies in the long term, taking into account the widespread use of intelligent technologies and digital platforms, are considered. Taking into account the technological advantages, it is recommended to ensure the digitalization of oil and gas wells using fiber-optic technologies and the creation of intelligent wells and fields on this basis, which, in conditions of limited funding, will ensure an increase in recoverable gas and oil production reserves of at least 10% during operation, a reduction in well downtime of about 50 % of the initial level and a reduction in operating costs of about 10-25 %.

Keywords:

Innovation;
Regulation;
Digital economy;
Transformation;
Modeling;
Intelligent technology;
Digital platform

© 2021 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

Введение

Задачей топливно-энергетического комплекса (ТЭК) в условиях жесткой конкуренции и формирования нового распределения на мировых рынках энергоресурсов, принятых в Европе принципов углеродной нейтральности является экономическое обеспечение эффективного бизнеса в области добычи и реализации углеводородного сырья и продукции с учетом обеспечения национальных приоритетов и развития.

Эксплуатация уникальных месторождений на стадии падающей добычи требует планомерного изучения, разработки и реализации комплекса мероприятий на основе программно-целевого подхода. В перечень этих мероприятий долж-

ны быть включены мероприятия по разработке научно-методических основ по количественной и геолого-экономической оценке, мониторингу ресурсов и запасов углеводородного сырья, планирования последовательности и обеспечения мер государственного регулирования недропользования, а также прогноз потребности в подготовке высококвалифицированных работников с учетом внедрения новых технологий эксплуатации [1].

Это предполагает формирование социально-экономического развитие национальной экономики, а также укрепления и развития приоритетов и позиций в мировой энергетике на длительную перспективу, согласно принятым положений Доктрины энергетической безопасности для Российской Федерации и Энергетической стратегии развития страны на период до 2035 года.

*E-mail: ermn@mail.ru

<http://dx.doi.org/10.5510/OGP2021SI200543>

Потребности в углеводородном сырье и топливе для мировой и российской промышленности, объем и динамика добычи, а также соответствующая ценовая политика позволяет планировать необходимость технического развития этих производств в перспективе до 2050 года, что позволяет определить значительное влияние и необходимость доосвоения большинства нефтегазовых месторождений на заключительной стадии эксплуатации и применения в экономике, оставшихся в недрах значительных запасов углеводородного сырья (нефти и газа).

Задачи цифровой трансформации

Возможность эффективного и рентабельного развития и доосвоения уникальных месторождений обеспечивается преимущественно внедрением научно-технических инноваций, целевой поддержкой национальных фундаментальных и прикладных научных исследований, стимулированием перспективных технологий и оборудования, обеспечивающих повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, что обеспечивает в целом опережающее развитие отрасли и регионов добычи.

Основой инновационной системы являются скоординированные государством правила, осуществляемые через действующее федеральное законодательство и взаимодействие различных видов прав в области стимулирования и приоритетного развития по разным направлениям, в том числе: отраслей экономики и рынков труда, финансов; платформ развития и ключевых технологий промышленности, обеспечивающих быстрый рост. Критически важным является создание условий нормативного и правового

регулирования, способствующих развитию бизнеса, информационной инфраструктуры развития, а также подготовки и развития компетенций кадров; обеспечения стимулирования на региональном и федеральном уровнях; развитие информационной и финансовой безопасности и др. условий.

Развитие национальных технологий требует кардинального пересмотра существующих практик и приоритетов, формирования новых подходов в среднесрочной и долгосрочной перспективе, создания современной нормативно-методологической базы документов, охватывающей все стадии жизненного цикла разработки и внедрения эффективного оборудования и технологий, внедрения цифровых производственных процессов в нефтегазодобыче и переработке [2].

Для существующей практики сегодня необходимо учитывать следующие временные жизненные циклы объектов ЕСГ (Единая Система Газоснабжения) России: проектирование (0.5-3 года), строительство (2-5 лет), эксплуатация (30-50 лет), вывод из эксплуатации (10 лет и более).

С учетом основных сроков реализации и эксплуатации объектов можно представить основные ограничения и риски как геологическое, технологическое, организационное, экономическое и научно-производственное, а также с учетом сроков эксплуатации формируются и задачи, решаемые при трансформации объектов ЕСГ (рис. 1).

Особенностью цифровизации является изменение механизма хозяйственных отношений; значительно сокращается структура организации работ и правил между субъектами, меняются условия ведения хозяйственной деятельности, появляются и применяются новые информаци-

онно-коммуникационные технологии, а также наукоемкие сервисы что требует разработки научно-технического сопровождения для всего экономического цикла развития инноваций. Для опережающего технологического развития особенно важно развитие кадров, технологий и информации, получаемой непосредственно с объектов. В этом процессе при этом:

- Кадры обеспечивают экспертную постановку и формирование задач развития инновационной среды и инженерной культуры производства; обеспечивают реализацию непосредственно на объектах внедрения. Процессы цифровизации нефтегазовой отрасли должны обеспечивать повышение эффективности и надежности бизнеса в условиях ожидаемого роста волатильности мирового рынка и конкуренции при обеспечении поставок на внешние рынки. Простое сокращение численности в целях экономии приводит в настоящее время к потере технических и квалификационных компетенций персонала, снижению безопасности и надежности эксплуатации.

- Технологии формируют эволюционное развитие основного производства и инфраструктуры, фактического состояние оборудования, а также обеспечивают создание новых бизнес-процессов и решений с учетом элементов и процессов производства на основе интеллектуального и роботизированного управления, больших массивов данных и интернета, внедрения алгоритмов машинного обучения, обеспечения анализа и показателей рентабельности с учетом управленческих решений на основе моделей единого информационного пространства для цифрового производства.

- Информация формируется за счет преобразования технологических и управленческих потоков данных в организованную правилами структуру и за счет этого обеспечивается качество и анализ эффективности процессов, технологий и тенденций в реальном временном масштабе. Информация являются основой организа-

ции превентивного критерийного управления, а также на её основе обеспечивается технологическая и экологическая безопасность персонала и производства. Основные цели цифровой трансформации нефтегазовой отрасли приведены на рисунке 2.

Использование в процессах данных и организация на их базе интеллектуального управления отличается рядом признаков и особенностей. К основным относятся:

- Рентабельность предусматривает использование данных в бизнес-процессах в короткой временной или близкой перспективе, что должно обеспечивать экономическую прибыль, либо другие преимущества в виде пользы или улучшения показателей надежности производства, скорости, качества управленческих решений и конкурентоспособности;

- Идентификация обеспечивает возможность преобразовать или использовать информацию в соответствии с установленными признаками. Информация при этом должна быть проверена и структурирована в виде данных по определенным ранее закономерностям;

- Масштабируемость предполагает структурирование и организацию данных в различные базы для использования на различных уровнях или независимо от имеющихся структур;

- Доступность способствует применению на всех уровнях применения и управления цифрового Предприятия, участвует в процессе принятия решений для внешних и внутренних пользователей с учетом ее получения показателей эффективности;

- Согласование обеспечивает использование внутренних и внешних ресурсов, фрагментацию и систематизацию всех уровней доступа в соответствии с правами и приоритетами, установленными для цифрового предприятия [3].

Революция в производстве оборудования и доступности сенсорных систем и информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) обе-

Рис.2. Цели цифровой трансформации нефтегазовой отрасли

спечили возможность сбора, передачи, хранения и обработки гигантских массивов слабоструктурированных данных в режиме реального времени (РВВ), а также возможность реализации территориального распределения информационных ресурсов в удаленном режиме и специалистов, экспертов по различным направлениям с применением современных интеллектуальных технологий.

Цикл создания ценностей на основании слоев информации приведен на рисунке 3.

С учетом новых технологий целью цифровой трансформации для месторождений на стадии падающая добыча становится трансформация информации для нефтегазового месторождения, имеющего геолого-технологические и экологические ограничения, в виртуальное цифровое пространство для виртуального моделирования изменений состояния месторождения под воздействием различных факторов и возможных управляющих воздействий, определение и реализация оптимальных управляющих решений для достижения максимальных проектных режимов для физического объекта.

При решении задач обеспечения рентабельности широко применяются технологии, построенные на основе динамических моделей; прогнозирования с высокой достоверностью и сходимостью результатов; информационного обеспечения технологий в реальном времени, машинного обучения в поиск закономерностей процессов, как ранее показавшие свою эффективность, так и перспективные. При создании комплексной модели создается ряд взаимоувязанных (интегрированных) математических моделей для каждой компоненты производственной цепочки пласт - скважина - система сбора - система подготовки - система транспорта, отражающие все протекающие физико-химические и механические процессы. Вопросы управления месторождением можно сформировать в виде очередности задач по обеспечению итоговой эффективности месторождения, согласно приведенным задачам на рисунке 4.

Задача 1 - оптимизация подземного комплекса;

Задача 2 - оптимизация наземной инфраструктуры;

Задача 3 - оптимизация подземной и наземной инфраструктуры (Задача 1+Задача 2);

Для эффективной эксплуатации нефтегазовых пластов необходимо также обеспечить оперативный мониторинг и исследование свойств продуктивного пласта в реальном времени, организовать оперативное измерение и контроль параметров в области ствола и призабойных зон эксплуатационных скважин [4].

Эволюция систем управления производственными процессами происходила в течение достаточно длительного периода пропорционально росту сложности решаемых задач при управлении технологическими процессами на объектах добычи, хранения и переработки.

Рис.3. Цикл создания ценностей на основании слоев информации

Рис.4. Задачи интегрированного управления месторождением

Основой трансформации технологий является интеграция отдельных апробированных на объектах решений в единый технологический комплекс приближенный к объекту эксплуатации, обеспечивающий динамическую оптимизацию и повышение качества управления на базе реальных параметров и геолого-геофизической информации по всей технологической цепочке добычи от цифровых скважин до подготовки продукта к транспорту; анализа эффективности управляющих воздействий и моделирования технологических особенностей месторождения в реальном времени на основе рискованных оценок производства. Решающее значение в повышении эффективности геолого-геофизических работ приобретает возможность быстрой и качественной обработки больших массивов геолого-геофизической информации на основе применения современных высокопроизводительных вычислительных информационных технологий, что обеспечивает возможность подготовки рекомендаций и выработки управляющих решений на основе использования количественных моделей в квазиреальном и реальном режимах времени с максимальным приближением к объекту в реальном масштабе времени.

Повышение точности и скорости технологических расчетов в процессе эксплуатации с привлечением широкого спектра информации по соседним скважинам является наиболее важной и перспективной задачей, решение которой существенно влияет на сроки эксплуатации и обеспечивает оптимальную работу на скважине,

экономит ресурсы, возможность работы в сложных геологических условиях и использование учета в работе простаивающего фонда скважин, обеспечивает рост коэффициента извлечения углеводородов.

Базовым трендом интегрированной интеллектуальной модели управления становится повторяющийся коррекционный цикл: цифра - модель - оперативность - экономика, а технологический цикл управления процессом добычи и подготовки к транспорту обеспечивается циклом: измерение - коррекция - контроль - прогноз - воздействие.

С учетом необходимости построения оптимального управления технологически сложной системы для цифрового двойника месторождения необходимо применение ряда ключевых компонент:

Комплекса взаимоувязанных (интегрированных) математических моделей всех отдельных компонент производственной цепочки: пласт - скважина - коллектор куста-коллектор запорно-регулирующей арматуры (ЗПА)- система сбора - ДКС- система подготовки УКПГ - ГКС- система транспорта (МПК), отражающие протекающие физико-химические и механические процессы в добыче и транспорте углеводородного сырья.

Совокупности измеряемых и вычисляемых показателей, характеризующих производственную систему в режиме реального времени и в историческом ракурсе для всех процессов и производств;

Комплекса моделей (3D, multi-D) и информационных описаний конструкции и технологии работы аппаратов, машин и механизмов, применяемых в производственном процессе добычи и транспорта по сборным сетям и магистральным газопроводам, в том числе материалов и требований проектно-технической документации.

Техническими показателями (индикаторами) комплексного проекта интеллектуального месторождения после проведения работ по трансформации станут показатели: эффективность добычи унифицированного интеллектуального месторождения на основе «цифрового двойника»; объём используемых в эксплуатации и для обучения Больших Гео данных (Гб/Пб); эффективность моделей нейросетей и способность функционировать (обучаться и выполняться) в среде высокопроизводительных вычислений; создание высокоэффективных уникальных компонентов унифицированного интеллектуального месторождения - «цифрового двойника» на базе разработанных критичных технологий и цифровой платформы, использование сенсорного оборудования для мониторинга и контроля процессов.

Сложностью реализации комплексного проекта развития необходимо учитывать, что до 80% общего объема работ будет приходиться на поставщиков: сервисные газовые компании, крупные металлообрабатывающие, строитель-

ные, транспортные поставщики оборудования и материалов, металлоконструкций, научные и образовательные учреждения, что потребует организации комплекса документов по реализации с учетом жизненного цикла и перспектив эксплуатации цифрового нефтегазового месторождения.

Отсутствие мер государственного стимулирования в области налогового кредита, связанных с компенсацией расходов по развитию НИОКР в области геологических, геофизических и буровых работ, создания новых технологий эффективного использования остаточной энергии пластов также требует отдельного целевого финансирования для проведения работ.

Необходимо учитывать, что в результате продления сроков эксплуатации решаются также многие социальные факторы, связанные с транспортной инфраструктурой, сохранением рабочих мест, налогооблагаемой базой и компетенциями персонала в районах с неразвитой инфраструктурой и территориальной удаленностью мест добычи от мест постоянного проживания. Повышение качества управления элементами традиционного нефтегазового комплекса обеспечивается критерийным выбором и за счет оптимизации управленческих решений, обязательностью исполнения директивных задач с учетом сложившегося в отрасли консерватизма, технологических ограничений и состояния оборудования на месторождениях. Это обеспечивает наличие ряд ограничений при эксплуатации и соблюдение функциональных требований, обеспечиваемых в настоящее время за счет:

- возрастания количества привлеченного к эксплуатации персонала, роли объемов и недостаточности качества информации при мониторинге работы технологического оборудования в реальном масштабе времени для принятия управляющих воздействий, скорости и точности принимаемых решений;
- необходимости значительных затрат для диагностирования оборудования с учетом фактического состояния и невозможность адресного назначения операций при ручном или дистанционном управлении оборудованием и режимами, в связи с отсутствием проектной реализации.

Цифровое нефтегазовое производство

Режимы эксплуатации «традиционных» месторождений не позволяют обеспечить организацию предиктивного и рискованного управления, обеспечивающего возможность локализации и устранения причин развития нештатных и аварийных ситуаций за счет применения интегральных моделей и искусственного интеллекта, машинного обучения при организации и реализации современных режимов эксплуатации с учетом создания «умного» предприятия. Реализация этих функций обеспечивается в том числе благодаря возрастанию компетенций персонала и возможностей применения экспертной удален-

ной диагностики с применением территориально распределенных вычислительных мощностей и специализированных центров мониторинга и управления. Автоматизированное рабочее место оператора промысла приведено на рисунке 5.

Планируемые результаты работ по трансформации в настоящее время оформляются в виде прогнозов, концепций, математических моделей и рекомендаций и не имеют массового применения, хотя опытные внедрения показали на практике высокие результаты и обеспечили получение планируемых показателей эффективности. [5].

Модели управления месторождениями разрабатываются с привлечением научно-учебных центров, специализированных симуляторов и тренажеров для программного обеспечения, технологий, эксплуатации значительных вычислительных ресурсов и применения цифровых платформенных инструментов и программных продуктов.

Для создания инструментов интегрированного планирования и оптимизации режимами управления необходимо:

- определить перечень технологий и мероприятий для обеспечения регулирования и мер государственной и отраслевой поддержки, что обеспечит создание инструментального и программного базиса в сжатые сроки;
- выполнить анализ имеющейся нормативно-правовой деятельности (НТД), с целью обновления отраслевой базы с учетом наилучших практик и показателей;
- предусмотреть разработку современных базовых стандартов, положений НТД предусматривающих типовое проектное применение наилучших цифровых и интеллектуальных технологий как для отдельных объектов, так в целом и для месторождения;
- организовать создание технологических проектных и научных консорциумов, что определяется сложностью компетенций и реализуемых инженерных задач, определяется необходимостью реализации проектов полного инвестиционного цикла в перспективе не более 3-5 лет от времени постановки задачи;
- согласовать разработку и принятие специальных государственных программ (предусматривающих доосвоение месторождений нефти и газа) для стадии падающая добыча, а также с возможностью освоения континентального шельфа, подводной добыче и др. в перспективе до 2030-2050 гг. на основании отечественных технологий и оборудования;
- стимулировать мероприятия и меры по развитию инженерного образования и роста компетенций специалистов в отрасли, обеспечить непрерывное профильное образование с учетом наилучших мировых практик.

Разработка программно-аппаратных комплексов, методик, нормативной основы для действующих информационно - аналитической систем и управления нефтегазовыми объектами

Рис.5. Интегрированное рабочее место оператора месторождением

по направления деятельности в короткой перспективе обеспечит значительный рост эффективности и снижение затрат на эксплуатацию. Ожидается, что для добычи внедрение машинных технологий эксплуатации будет способствовать:

Вовлечение в разработку остаточных запасов углеводородов и как следствие, приросту подтвержденных запасов газа и добыче газа, продлению сроков эффективной эксплуатации уникальных месторождений;

Модернизации инфраструктуры месторождений, городов и поселков для персонала; эффективному продлению сроков эксплуатации созданной ранее инфраструктуры;

Развитию старых регионов добычи углеводородов, а также переобучению кадров на новые цифровые специальности и создаваемые в отрасли потребности;

Обеспечит быстрый возврат произведенных инвестиций на цифровую и технологическую модернизацию нефтегазового производства.

Реализация структуры работ и модели цифровой нефтегазодобычи приведена на рисунке 6.

Реализация подходов позволяет после предварительной структуризации информации методами искусственного интеллекта и с применением прорывных технологий развития извлечь необходимые знания, которые в дальнейшем используются для создания шаблона комплексного решения для скважин и промыслов, обеспечить тиражирование масштабируемой модели цифровой платформы для широкого возрождения месторождений с падающей добычей, применить для управления активами в рамках информационной модели всего Предприятия независимо от направления деятельности (добыча, транспорт, хранение, переработка) в соответствии с имеющейся организационно-технологической схемой организации работы структур Общества (Производственный комплекс - филиал Дочернего общества - Дочернее Общество - Корпоративный уровень Предприятия). Организационная структура цифрового предприятия приведена на рисунке 7.

Подобная масштабная задача по обеспечению перехода на новые технологии управления и реструктуризации отрасли ранее решалась при

создании объектов ЕСГ. Для обеспечения поэтапного внедрения по направлениям деятельности была утверждена «Программа поэтапного развёртывания работ по созданию отраслевой системы оперативно-диспетчерского управления (ОСОДУ) Единой системы газоснабжения России». В рамках этой программы были определены цели создания ОСОДУ, этапность и программа работ, структура и состав объектов (10.05.97 г.) [6].

В рамках централизованного управления Единой системой газоснабжения были реализованы мероприятия, предусматривающие иерархическую схему управления: ЦПДУ (Центральная производственно-диспетчерская служба РАО «Газпром») - Центральные диспетчерские службы (ЦДС) предприятий - диспетчерские пункты (ДПУ МГ, КС, УКПГ, ПХГ, ГПЗ и т. п.) - посты управления технологическим оборудованием (цеха КС, ДКС, ПХГ). Структура требований по построению элементов системы и построение интегрированной системы обеспечивались и реализовывались в соответствии с положениями:

- ОСОДУ ЕСГ России. ОТТ. Часть 1. Требования к системе в целом и системам управления транспортом газа (19.08.1998 г.);
- ОСОДУ ЕСГ России. ОТТ. Часть II. Требования к системам управления добычей и подземным хранением газа (23.11.1999 г.);
- ОСОДУ ЕСГ России. ОТТ. Часть III. Требования к системам управления переработкой газа и газового конденсата (23.10.2001 г.)

Основой для реализации подобных подходов и сегодня являются современные научно-технические инновации, которые обеспечиваются за счет поддержки проведения фундаментальных и прикладных научных исследований, стимулирования перспективных технологий опережающего развития при нормативно-правовом регулировании со стороны государства, обеспечения научных «заделов» в рамках реализации комплексных научно-технических проектов полного инновационного цикла.

Для объектов добычи решения по комплексной автоматизации на основе типовых реше-

ний для скважин, кустов скважин и промыслов могут и в настоящее время быть реализованы с учетом современных тенденций согласно положениям «СТО Газпром. 2–2.1-1043-2016. Автоматизированный газовый промысел. Технические требования к технологическому оборудованию и объемам автоматизации при проектировании и обустройстве на принципах малочисленных технологий».

В условиях цифровой нефтегазовой экономики особую актуальность приобретают вопросы создания, развития и масштабирования цифровых нефтегазовых технологий по сбору, обработке и обнаружению скрытых закономерностей в больших геоданных, и использованию полученных знаний в повышении эффективности нефтегазового производства в цифровой нефтегазовой системе в режиме реального времени, условиях волатильного внутреннего и внешнего рынка нефти, газа, продуктов нефтегазопереработки и нефтегазохимии.

В качестве основных элементов цифрового нефтегазового месторождения должны быть применены элементы управления с рядом апробированных на объектах технологий:

- искусственного интеллекта (на основе нейросетей, машинного обучения и других методов расчета) - для внедрения элементов прогнозирования, сценарного моделирования и проактивного управления производственными объектами и технологическими процессами;
- цифровые двойники технологических объектов - для построения информационных моделей нефтегазовых объектов, оптимизации производственных процессов, моделирования инженерно-технических, производственно-эксплуатационных и технико-экономических показателей комплексов с учетом фактического состояния объектов;
- корпоративных хранилищ данных – для мониторинга режимов работы и состоянии производственных объектов, геолого-технологических данных, поступающих непосредственно с уровня бурового комплекса в процессе бурения и строительства нефтегазовых скважин, состояния объектов и режимах с нефтегазовых месторождений;
- промышленного интернета, элементов виртуальной и дополненной реальности - для организации эффективного сбора данных с технологических, получения информации и управления объектами месторождений;
- структур «больших данных» - для специальной обработки массивов структурированных и неструктурированных онлайн-данных, получаемых в процессе строительства и эксплуатации объектов месторождений;
- единого информационного ресурса - для обеспечения использования всеми элементами целевой архитектуры, задействованными в управлении и эксплуатации технологическими и производственными процессами (включая дис-

петчерское управление).

С учетом уже выявленных положительных и негативных преимуществ проводимой цифровой трансформации на объектах ЕСГ, а также необходимости отражения состояния происходящих процессов на круглом столе в Аналитическом центре при Правительстве Российской Федерации, 2 февраля 2017 г Академиком РАН Дмитриевским А.Н были предложен ряд современных индикаторов цифровизации отрасли, позволяющих проводить количественную и качественную эффективность выполняемых работ по ряду технических и экономических показателей. С учетом тенденций развития к этим показателям целесообразно отнести:

- достигнутый прирост объемов капитализации за счет применения цифровизации и технологий искусственного интеллекта (в млрд руб);
- снижение удельных капитальных затрат на добычу нефти/газа за счет цифровизации (руб./тон. /бар. /на тыс. м³);
- количество введенных центров удаленного управления и интегрированных операций, центров научно-технической поддержки, действующих на месторождениях, филиалах Обществ, Предприятиях (единиц.);
- количество используемых в процессах роботизированных и интеллектуальных комплексов, в т. ч. роботов, диагностических аппаратов, подводных и воздушных дронов, коптеров, автономных блок-боксов (тыс. шт.);
- применение скважинных и диагностических оптоволоконных распределенных систем, антенн и станций, диагностических комплексов оборудования (тыс. км, штук);
- фонд дистанционно управляемых интеллектуальных скважин, месторождений, объектов и установок в режиме реального времени (единиц);
- количество используемых оптоволоконных точечных сенсоров, датчиков, тензоро-метрических элементов, систем безопасности и мониторинга (тыс. шт., тыс. км);
- количество беспроводных сетей, навигаторов, спутников, задействованных в элементах цифровой трансформации и связи, приеме и передаче информации (единиц);
- количество элементов энергетики на основе возобновляемых источников энергии, элементов альтернативной энергетики (тыс. шт.);
- протяженность линейных трубопроводов, сборных сетей с цифровыми и интеллектуальными технологиями контроля и управления линейной частью (тыс. км);
- количество применяемых роботизированных комплексов, мобильных нефтегазовых рабочих и ИТР (единиц, тыс. чел.);
- количество используемых цифровых интегрированных (моделей и двойников) месторождений, объектов, процессов (штук).

В соответствии с этими показателями в таблице приведены ключевые направления научных исследований и потенциальные исполнители

Таблица

Ключевые научные исследования и исполнители

Направления научных исследований	Результаты научных исследований	Потенциальные исполнители
Цифровая модернизация	Цифровые нефтегазовые технологии	Институты Минобрнауки России; РАН (ВТК, ВУЗы); Центры компетенций по приоритетным направлениям; Исследовательские центры и лаборатории; Центры коллективного пользования, региональные инженеринговые консорциумы; Центры трансфера технологий (от НИОКР до внедрения результатов в производство)
Технологическая модернизация	Инновационные нефтегазовые технологии	
Разработка моделей искусственного интеллекта (цифровых двойников)	Технологии искусственных нейронных сетей (ИНС) и машинное обучение	
Разработка алгоритмов управления в режиме реального времени (PPV)	Программно-аппаратные комплексы оперативно-технологического и диспетчерского управления, реализация систем поддержки принятия диспетчерских решений (СППДР)	
Разработка систем хранения и обработки больших бах технологических и геоданных (Big Data, Big Geo Data)	Системы диспетчерского управления, сбора, хранения и обработки большого объема технологических и геоданных	
Обучение новым цифровым специальностям	Цифровой нефтегазовый университет	

работ.

Особое место в системе инвестиций многоцелевого характера в рамках прямого государственного регулирования занимает финансирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) из бюджетных средств, которые в рамках государственных контрактов обеспечивают возможность разработки и внедрения научных исследований. Изменение приоритетов с экспортно-ориентированной поставки сырья к ресурсно-инновационному развитию за счет интеграции научного потенциала страны и производственных возможностей ТЭК при поддержке и государственном регулировании обеспечит достижение экономической эффективности с достижением следующих результатов в близкой перспективе:

- снижение импортозависимости и внедрений современных интеллектуальных технологий и производств, снижения риска потенциальных угроз в виде санкций, программных «закладок», утечки информации за рубеж, оттока специалистов с высоким уровнем компетенций, что будет обеспечивать собственное развитие;
- снижение влияния человеческого фактора, возможность оценки состояния и влияние отклонений от проектных показателей на обеспечение технологической и экологической безопасности, отклонений прогнозов бизнес-процессов с учетом рисков;
- прогнозирование, анализ рисков аварий и нештатных ситуаций на объектах внедрения; Использование единой информационно-коммуникационной среды процессов и активов;
- ранжирование планов и объемов работ с учётом рисков и затрат, компетенций и ресурсов;
- выявление и минимизация последствий отказов при развитии нештатных ситуаций;

- обеспечение автоматизированных проектных показателей в соответствии с критериями; динамику процессов и тенденций, которые могут привести к ухудшению производительности или качества продукции;

- реализация цикла управления и целостности на всех уровнях управления в соответствии с распределением полномочий и уровнем компетенции;

- ведение моделей оценки технического состояния для государственных надзорных органов в реальном масштабе времени и надзорном режиме контроля состояния.

Планируемые результаты внедрения инновационных технологий в виде количественных и качественных показателей приведены на рисунке 8.

Для определения объективного состояния определения модели перехода к интеллектуальным технологиям с учетом готовности технологий, возможностей науки и производства, а также способности к интеграции науки и технологий целесообразно воспользоваться также рядом существующих положений:

1. Оценки состояния технологий положениями ГОСТ Р 57194.1–2016 «Процесс трансфера технологий». С учетом положений ГОСТ предусмотрены разные стадии состояния, этапы развития и эволюционные этапы перехода от применения и реализации от формирования идеи, создания прототипа и внедрения, испытаний полномасштабной системы в реальных условиях эксплуатации и перехода к серийному производству, которые можно оценить для разных стадий жизненного цикла перспективного образца или модели.

2. Форматов кооперации и результатов развития фундаментальной и отраслевой науки и бизнеса, наличия прорывных технологий и уровня

востребованности ключевых научных исследований и показателей инновационного предпринимательства в виде индикативный подхода оценки эффективности научно-образовательных центров (НОЦ).

3. Рекомендаций по цифровой модернизации госкорпораций и цифровых платформ Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций.

По сведениям в открытой печати с учетом значения и контроля внедрения цифровых технологий в различных отраслях в настоящее время директивы и методические рекомендации по цифровой трансформации прошли апробацию в компаниях с государственным участием: Почта России, РЖД, Аэрофлот, АК «АлРоса», Газпромнефть.

С учетом этого в кратчайшее время должны быть разработаны Стратегии цифровой трансформации ряда отраслей и компаний с государственным участием [7-13].

Риски внедрения интеллектуальных технологий

В процессе создания объектов, эксплуатируемых на основе интеллектуальных технологий и связанных со значительным снижением роли человека в процессах (дегуманизация) управления возникает ряд неопределенностей поведения системы управления эксплуатацией в связи с заменой опыта и компетенций специалистов на применяемый в процессах искусственный интеллект, что связано с рядом ограничений на применение:

По причине отсутствия явных границ взаимодействия по линии «постановка задач - решение задач» в аварийных и нештатных ситуациях, которую может определить в настоящее время поведение и компетентность определяющего задачу человека;

По наличию ограниченного числа цифровых моделей и недостаточностью исследований, знаний и закономерностей при переходе к модели машинного управления на основе анализа массивов данных и алгоритмов поведения, признаков компетенций и рискованного анализа поведения сложной технической системы;

Недостаточностью опыта создания в эксплуатации теоретической описательной задачи, когда человек обеспечивает в основном вспомогательные функции мониторинга и контроля, а возможности анализа и решений уже фактически переходят к искусственному интеллекту и не зависят от человека и его знаний.

Имеются также ряд ограничений и рисков не являющиеся критическими, но требующими проведения организационных мероприятий в отраслевом и государственном масштабе. Они связаны со следующими направлениями:

Недостаток квалифицированных специалистов в области понимания и описания машинными средствами технологий управления интегрированными производственными процессами и комплексами по направлениям ТЭК (разведка—обустройство-добыча-транспорт-хранение-переработка-отгрузка опасной продукции) в режиме реального времени. Риски не является критическими и требуют проведения системных мероприятий по переобучению квалифицированных отечественных кадров, в т.ч. создания специализированных кафедр в нефтегазовых университетах РФ, создания непрерывной системы переподготовки специалистов;

Санкционные ограничения при приобретении и применении необходимого для организации производства оборудования и программного обеспечения. Эти ограничения требуют для решения проведения долговременной государственной

политики по созданию и развитию отечественной промышленности, создания инвестиционной заинтересованности и обеспечения финансирования ряда отраслей; развитие мер государственного стимулирования в области налогового кредита, компенсирующего расходы по амортизации всех геологических и геофизических расходов, научно-технологических затрат на период исследования, подготовки и реализации национальных проектов развития;

Снижение уровня добычи из-за организационных и технических сложностей реализации технологий добычи и управления сложными производственными процессами в условиях огра-

ничений и реальном времени. Ограничения будут устраняться по мере роста компетенций проектных организаций, научно-технических центров и создания производственной базы и испытательных полигонов, где будут апробироваться технологии и производственные процессы; а также будут решаться проблемы нормативно-правового и понятийного характера по созданию и содержанию опытно-методических полигонов для создания новых технологий включая вопросы эксплуатации месторождений на основе применения машинных алгоритмов и технологий добычи в условиях геологических и технологических ограничений.

Выводы

С учетом изменения приоритетов развития важно рассмотреть возможность принятия специального налогового законодательства для реализации и внедрения проектов полного инновационного цикла включающих создание специальных консорциумов, научных и производственных и внедренческих предприятий для внедрения передовых технологий для месторождений на заключительной стадии эксплуатации.

В рамках реализации мероприятий необходимо утвердить применение индикаторов цифровой трансформации нефтегазодобычи с учетом имеющихся практик и организовать учет. Имеющиеся в настоящее время технологические преимущества способствуют широкому применению волоконно-оптических технологий при цифровизации нефтегазовых скважин и создания на этой основе интеллектуальных скважин и месторождений в состав которых должны быть включены следующие компоненты: управляющая система, система сбора информации состояния пласта и скважины, система поддержки принятия решений на основе на основе постоянно действующих геолого-технологических моделей месторождений с применением технологии искусственного интеллекта и индустриального блокчейна, высокоскоростные каналы связи для моделирования и формирования, обмена базами данных с использованием имеющихся спутниковых группировок при планировании, управлении, а также беспроводных каналов связи для кустовых площадок.

Основной задачей цифровой трансформации при интеллектуализации нефтегазовой отрасли является снижение капитальных и эксплуатационных затрат и увеличение эффективности добычи нефти и газа в длительной перспективе развития нефтегазовых объектов и технологий добычи, обеспечения сырьем промышленности и продукцией потребителей, что обеспечивает в процессе эксплуатации увеличение извлекаемых запасов газонефтедобычи не менее 10%, уменьшение времени простоев скважин порядка 50 % от начального уровня и сокращение операционных затрат около 10-25 %.

Статья подготовлена по результатам работ, выполненных в рамках Программы государственных академий наук. Раздел 9 "Науки о Земле"; направления фундаментальных исследований: "Комплексное освоение и сохранение недр Земли, инновационные процессы разработки месторождений полезных ископаемых и глубокой переработки минерального сырья", по теме государственного задания "Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности".

Литература

1. Дмитриевский, А. Н., Мастепанов, А. М., Бушуев, В. В. (2014). Ресурсно-инновационная стратегия развития экономики России. *Вестник РАН*, 84(10), 867–873.
2. Ерёмин, Н. А., Столяров, В. Е. (2018). Оптимизация процессов добычи газа при применении цифровых технологий. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, 6, 54-61.
3. Ерёмин, Н. А., Столяров, В. Е. (2020). О цифровизации процессов газодобычи на поздних стадиях разработки месторождений. *SOCAR Proceedings*, 1, 59-69.
4. Ерёмин, Н. А., Столяров, В. Е., Шулятиков, В. И. (2020). Применение управляющих комплексов на нефтегазовых месторождениях. *Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности*, 9 (566), 17-29.
5. Дмитриевский, А. Н., Ерёмин, Н. А., Столяров, В. Е. (2020). Роль информации в применении технологий искусственного интеллекта при строительстве скважин для нефтегазовых месторождений. *Научный журнал российского газового общества*, 2(26), 06-21.
6. Ерёмин, Н. А., Столяров, В. Е. (2020). Научно-технический прогресс и нормативно-правовое регулирование в нефтегазовой отрасли. *Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности*, 12(569), 15-26.
7. Дмитриевский, А. Н., Ерёмин, Н. А., Ложников, П.С. и др. (2021). Интеллектуальные инновационные технологии при строительстве скважин для скважин и эксплуатации нефтегазовых месторождений. *Газовая промышленность*, 3(813), 6-14.
8. Dmitrievsky, A. N., Eremin, N. A., Filippova, D. S., Safarova, E. A. (2020). Digital oil and gas complex of Russia. *Georesources*, Special Issue, 32–35.
9. Dmitrievsky, A. N., Eremin, N. A., Safarova, E. A., et al. (2020). Qualitative analysis of time series geodata to prevent complications and emergencies during drilling of oil and gas wells. *SOCAR Proceedings*, 3, 31-37.
10. Dmitrievsky, A. N., Sboev, A. G., Eremin, N. A., et al. (2020). On increasing the productive time of drilling oil and gas wells using machine learning methods. *Georesources*, 22(4), 79–85.
11. Черников, А. Д., Ерёмин, Н. А., Столяров, В. Е. и др. (2020). Применение методов искусственного интеллекта для выявления и прогнозирования осложнений при строительстве нефтяных и газовых скважин: проблемы и основные направления решения. *Георесурсы*, 22(3), 87–96.
12. Архипов, А. И., Дмитриевский, А. Н., Ерёмин, Н. А. и др. (2020). Анализ качества данных станции геолого-технологических исследований при распознавании поглощений и газонефтеводопроявлений для повышения точности прогнозирования нейросетевых алгоритмов. *Нефтяное хозяйство*, 8, 63-67.
13. Borozdin, S., Dmitrievsky, A., Eremin, N., et al. (2020). Drilling problems forecast system based on neural network. Paper SPE-202546-MS. In: *SPE Annual Caspian Technical Conference*. Society of Petroleum Engineers.

References

1. Dmitrievsky, A. N., Mastepanov, A. M., Bushuev, V. V. (2014). Resource and innovation strategy for the development of the Russian economy. *Bulletin of the RAS*, 84(10), 867-873.
2. Eremin, N. A., Stolyarov, V. E. (2018). Optimization of gas production processes using digital technologies. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 6, 54-61.
3. Eremin, N. A., Stolyarov, V. E. (2020). On the digitalization of gas production in the late stages of field development. *SOCAR Proceedings*, 1, 59-69.
4. Eremin, N. A., Stolyarov, V. E., Shulyatkov, V. I. (2020). Application of control systems in oil and gas fields. *Automation, Telemechanization and Communication in the Oil Industry*, 9(566), 17-29.
5. Dmitrievsky, A. N., Eremin, N. A., Stolyarov, V. E. (2020). 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*, 2(26), 6-21.
6. Eremin, N. A., Stolyarov, V. E. (2020). Scientific and technological progress and legal regulation in the oil and gas industry. *Automation, Telemechanization and Communication in the Oil Industry*, 12(569), 15-26.
7. Dmitrievsky, A. N., Eremin, N. A., Lozhnikov, P. S., et al. (2021). Intelligent innovative technologies in the construction of wells for wells and the operation of oil and gas fields. *Gas Industry*, 3(813), 6-14.
8. Dmitrievsky, A. N., Eremin, N. A., Filippova, D. S., Safarova, E. A. (2020). Digital oil and gas complex of Russia. *Georesources*, Special Issue, 32–35.
9. Dmitrievsky, A. N., Eremin, N. A., Safarova, E. A., et al. (2020). Qualitative analysis of time series geodata to prevent complications and emergencies during drilling of oil and gas wells. *SOCAR Proceedings*, 3, 31-37.
10. Dmitrievsky, A. N., Sboev, A. G., Eremin, N. A., et al. (2020). On increasing the productive time of drilling oil and gas wells using machine learning methods. *Georesources*, 22(4), 79–85.
11. Chernikov, A. D., Eremin, N. A., Stolyarov, et al. (2020). Application of artificial intelligence methods for identifying and predicting complications in the construction of oil and gas wells: problems and solutions. *Georesources*, 22(3), 87–96.
12. Arkhipov, A. I., Dmitrievsky, A. N., Eremin, N. A., et al. (2020). Data quality analysis of the station of geological and technological researches in recognizing losses and kicks to improve the prediction accuracy of neural network algorithms. *Oil Industry*, 8, 63-67.
13. Borozdin, S., Dmitrievsky, A., Eremin, N., et al. (2020). Drilling problems forecast system based on neural network. Paper SPE-202546-MS. In: *SPE Annual Caspian Technical Conference*. Society of Petroleum Engineers.

Актуальные вопросы и индикаторы цифровой трансформации нефтегазодобычи на заключительной стадии эксплуатации месторождений

А.Н. Дмитриевский^{1,2}, Н.А. Еремин^{1,2}, В.Е. Столяров^{1,3}

¹Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия;

²Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М.Губкина, Москва, Россия;

³ПАО «Газпром», Москва, Россия

Реферат

В статье приведен анализ технических и нормативно-правовых ограничений, осложняющих добычу углеводородного сырья на заключительной стадии эксплуатации, а также направления ресурсно-инновационного развития топливно-энергетического комплекса в условиях санкций и ограничений при развитии национальных приоритетов.

Рассмотрены особенности нормативно-правового регулирования законодательства и индикаторы цифровой трансформации для ранее освоенных месторождений и сохранения углеводородных рынков, развития национальных экономик в длительной перспективе с учетом широкого применения интеллектуальных технологий и цифровых платформ.

С учетом технологических преимуществ рекомендуется обеспечить цифровизации нефтегазовых скважин с применением волоконно-оптических технологий и создания на этой основе интеллектуальных скважин и месторождений, что в условиях ограниченного финансирования обеспечит в процессе эксплуатации увеличение извлекаемых запасов газонефтедобычи не менее 10%, уменьшение времени простоев скважин порядка 50 % от начального уровня и сокращение операционных затрат около 10–25 %.

Ключевые слова: инновации; регулирование; цифровая экономика; трансформация; добыча; моделирование; интеллектуальная технология; цифровая платформа.

Yataqların istismarının son mərhələsində neft-qaz hasilatının rəqəmsal transformasiyasının aktual məsələləri və indikatorları

A.N. Dmitriyevskiy^{1,2}, N.A. Eremin^{1,2}, V.E. Stolyarov^{1,3}

¹REA-nın Neft və Qaz Problemləri İnstitutu, Moskva, Rusiya;

²İ.M.Qubkin adına Rusiya Dövlət Neft və Qaz Universiteti, Moskva, Rusiya;

³«Qazprom» ASC, Moskva, Rusiya

Xülasə

Məqalədə istismarın son mərhələsində karbohidrogen hasilatını mürəkkəbləşdirən texniki və hüquqi-normativ məhdudiyyətlərin analizi, həmçinin milli prioritetlərin inkişafı zamanı sanksiya və məhdudiyyətlər şəraitində yanacaq-energetika kompleksinin resurs-innovativ inkişafının istiqamətləri verilmişdir. Əvvəllər mənimsənilmiş yataqlar üçün qanunvericiliyin hüquqi-normativ tənzimlənməsi xüsusiyyətlərinə və rəqəmsal transformasiya indikatorlarına, intellektual texnologiyaların və rəqəmsal platformaların geniş tətbiqinin nəzərə alınması ilə karbohidrogen bazarlarının qorunub saxlanılmasına, milli iqtisadiyyatların uzunmüddətli perspektivdəki inkişafına baxılmışdır. Texnoloji üstünlüklərinin nəzərə alınması ilə, fiber-optik texnologiyaların tətbiqi ilə neft və qaz quyularının rəqəmsallaşdırılmasının təmin edilməsi və bu əsasda intellektual quyuların və yataqların yaradılması tövsiyə olunmuşdur ki, bu da məhdud maliyyələşdirmə şəraitində istismar prosesi zamanı çıxarıla bilən neft-qaz ehtiyatlarının ən azı 10% artırılmasını, quyuların dayanma müddətinin təxminən 50% azalmasını, əməliyyat xərclərinin isə 10-25% qədər ixtisar olunmasını təmin edəcəkdir..

Açar sözlər: innovasiya; tənzimləmə; rəqəmsal iqtisadiyyat; transformasiya; hasilat; modelləşdirmə; intellektual texnologiya; rəqəmsal platforma.