УДК 004.9

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАЗРАБОТКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

♦♦♦♦♦

PROBLEMS AND PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF MODERN INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT AND OPERATION OF OIL AND GAS FIELDS

Слепцов Александр Алексеевич
студент направления подготовки 21.04.01
«Нефтегазовое дело»,
профиль «Проектирование
и управление объектами нефтегазовой отрасли»,
Санкт-Петербургский
горный университет императрицы Екатерины II
sleptsov.aa00@gmail.com

Аннотация. Применение современных информационно-коммуникационных технологий является особо значимым направлением развития при разработке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, так как удовлетворяет требованиям устойчивого развития предприятий минерально-сырьевого комплекса за счёт повышения эффективности работы уже существующих систем. В статье представлен результат анализа публикаций по теме применения современных информационно-коммуникационных технологий в нефтегазовой отрасли. В результате анализа описаны основные научные достижения, проблемы и методы их решения в обозначенной области. Сформулированы выводы о текущем состоянии отрасли и предложения по его улучшению. В соответствии с предложенными методами решения существующих проблем развития информационно-коммуникационных технологий при разработке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений обоснована необходимость скоординированных действий ряда заинтересованных сторон.

Ключевые слова: анализ и хранение больших данных (Big Data); проблемы, возникающие при применении анализа больших данных; применение Интернета вещей (IoT); проблемы, возникающие при применении интернета вещей; применение цифровых двойников (Digital Twins); проблемы, возникающие при применении цифровых двойников; применение цифровых технологий в обучении персонала (AR/VR); проблемы, возникающие при применении цифровых технологий в обучении персонала.

Sleptsov Alexander Alekseevich
Student Training Direction 21.04.01
«Oil and gas engineering»,
Profile «Design and Management
of Oil and Gas Industry Facilities»,
Empress Catherine II
Saint Petersburg Mining University
sleptsov.aa00@gmail.com

Annotation. The use of modern information and communication technologies is a particularly significant area of development in the development and operation of oil and gas fields, as it meets the requirements of sustainable development of enterprises of the mineral resource complex by increasing the efficiency of existing systems. The article presents the result of an analysis of publications on the topic of using modern information and communication technologies in the oil and gas industry. As a result of the analysis, the main scientific achievements, problems and methods for solving them in the designated area are described. Conclusions about the current state of the industry and proposals for its improvement are formulated. In accordance with the proposed methods for solving existing problems in the development of information and communication technologies in the development and operation of oil and gas fields, the need for coordinated actions of a number of stakeholders is substantiated.

Keywords: analysis and storage of big data (Big Data); problems encountered when applying big data analytics; application of the Internet of Things (IoT); problems arising when using the Internet of things; use of digital twins (Digital Twins); problems arising when using digital twins; use of digital technologies in personnel training (AR/VR); problems arising when using digital technologies in personnel training.

Введение

Благодаря техническому прогрессу в области информационно-коммуникационных технологий объём данных, получаемых и хранимых пользователями недр, с каждым днём достигает всё больших значений [1, 2]. В связи с этим становится актуальным вопрос о системах наиболее эффективного сбора, обработки, использования и хранения данных. Данная работа посвящена изучению проблем и перспектив при применении современных информационно-коммуникационных технологий

в разработке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений. Основными технологиями, исследуемыми в данной работе, являются: анализ и хранение данных (Big Data), интернет вещей (IoT), цифровые двойники (DT).

Важность применения современных информационно-коммуникационных технологий в рамках устойчивого развития компаний минерально-сырьевого комплекса обусловлена увеличением эффективности технологических процессов и снижением затрат на эксплуатацию в результате применения технологических решений с целью совершенствования или замены традиционных процессов в нефтегазовой отрасли [3]. В различных исследованиях уже было доказано, что отдельные методы совершенствования технологических процессов посредством использования собранной информации в процессах моделирования, прогнозирования и анализа способны улучшить эффективность некоторых процессов вплоть до полутора раз [4], примеры уже существующих и применяемых технологий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Эффективность различных технологий интеллектуального месторождения/скважины[1]

Разработчик	Технология	Воздействие на запасы/добычу	Воздействие на экономику
Shell	Smart Field	КИН до + 10 % КИГ до + 5 %	Простои до – 10 % Затраты до – 20 %
Chevron	i-field	КИН + 6 % Добыча + 8 %	–
BP	Field of the future	Добыча + 1–2 %	–
Petoro	Smart Operations	–	Capex – 50 %
Statoil	Integrated Operations	Добыча + 20 %	–
Halliburton	Real Time Operations	–	Capex – 20 %

Помимо повышения эффективности посредством внедрения цифровых решений в основные понятия цифровизации производства (массового внедрения киберфизических систем) входит также эволюция, преобразование или замена процессов во всех аспектах промышленности, в том числе и на внутри- и внешнеорганизационных уровнях [3]. Учитывая, что нефтегазовая отрасль является одной из самых больших в стоимостном выражении, улучшение её технико-экономических показателей способно привести к удешевлению добычи полезных ископаемых, что в итоге позволит как увеличить прибыль недропользователей, так и увеличить количество рентабельно извлекаемых запасов нефти и газа за счёт снижения стоимости использования уже существующих методов добычи посредством оптимизации, выполненной на основе более глубокого анализа уже существующих данных или данных, получаемых в процессе цифровизации.

Объектом исследования является информационно-коммуникационные системы разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений.

Предметом исследования является внедрение современных информационно-коммуникационных технологий в системы разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений.

Целью исследования является выявление наиболее перспективных методов применения современных информационно-коммуникационных технологий в системах разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений.

Анализ и хранение больших данных (Big Data)

Термином «Big Data» зачастую описывают базы данных объёмом от 1 петабайта. Анализ данных позволяет извлечь из баз данных необработанной информации закономерности и взаимосвязи, которые могут быть использованы в принятии стратегических решений, а также найти обширное применение в различных частях отрасли.

Термин «Big Data» представляет собой лишь одну из основных характеристик применяемого метода: объёмные базы данных. В исследовании «Аналитика больших

[1] Цифровая добыча нефти: тюнинг для отрасли // Официальный сайт VYGON Consalting. Июнь 2018 г. – URL : https://vygon.consulting/upload/iblock/d11/vygon_consulting_digital_upstream.pdf (дата обращения 05.03.2024).

данных в нефтегазовой отрасли: новая тенденция» упоминается ещё две необходимых характеристики информации для применения метода по версии IBM: скорость обмена данными и их разнообразие. В более современных исследованиях к основным трём характеристикам добавились ещё три: ценность, способность к изменениям и достоверность [2, 5]. Общая систематизированная структура систем больших данных представлена на рисунке 1.

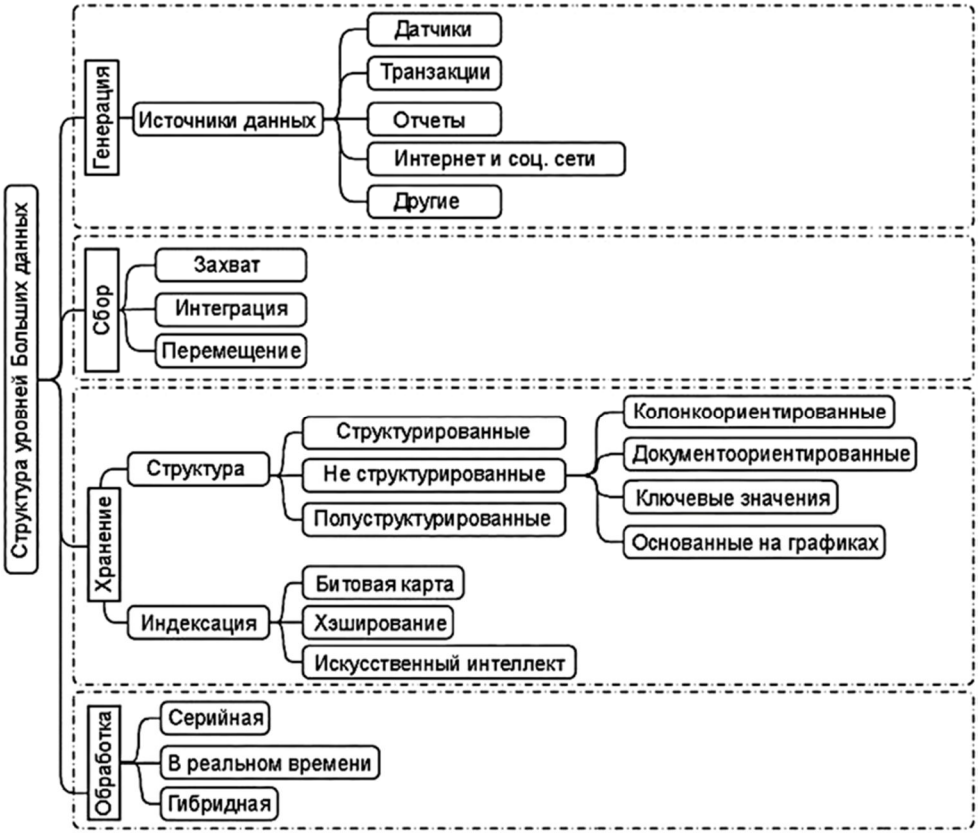


Рисунок 1 – Систематизированная структура систем больших данных [5]

Для обработки и хранения больших данных необходимы инновационные и эффективные технологии, способные быстро, надежно и точно производить необходимые операции. В исследовании «Аналитика больших данных в нефтегазовой отрасли: новая тенденция» приведен список программных платформ, имеющих потенциал использования в методах анализа больших данных. Наиболее распространенной среди них является платформа Apache Hadoop [5]. Hadoop состоит из двух основных частей: Hadoop Distributed File System (HDFS) и платформы MapReduce. HDFS – это основа для хранения основных данных всех приложений Hadoop. Это распределённая файловая система, которая хранит файлы в блоках данных по 64 Мб на различных узлах кластера, чтобы обеспечить параллельные вычисления для MapReduce [6]. MapReduce – это модель распределённых вычислений, используемая для параллельных вычислений над очень большими наборами данных в кластерах. Hadoop зарекомендовал себя как мощная технология для решения многих задач, связанных с большими данными, её конкурентными преимуществами являются расширяемость, высокая экономическая эффективность, гибкость и отказоустойчивость. Все эти факторы повлияли на то, что Apache Hadoop получил широкую поддержку и распространение среди многих транснациональных компаний. При этом важно понимать, что программная платформа не является готовым решением и требует точечной настройки, перед началом которой необходимо принять решение о том, насколько отрасль готова к развёртыванию столь капиталоёмких решений.

В области добычи нефти и газа перспективы использования больших данных растут с каждым днем из-за новейших разработок в области сейсморазведки, мониторинга поведения флюида в пласте, более точных измерительных устройств и т.д. [1, 5].

В таблице 2 приведены основные направления применения больших данных при добыче нефти и газа.

Таблица 2 – Потенциальные направления применения больших данных при добыче нефти и газа [1]

Сфера отрасли	Направление
Поиск и разведка	Анализ сейсмических данных
	Микросейсмическая информация
	1D, 2D, и 3D геологические карты
Бурение	Эффективность работы буровой установки
	Производительность бурения
Разработка залежей	Контроль за разработкой
	Управление коллекторами с закрытыми контурами и интегрированное моделирование активов
	Связывание CO_2
	Моделирование залежей
	Повышение нефтеотдачи
Технология добычи	Автоматизированный анализ отклонений
	Методы распределения производства
	Добыча при помощи УЭЦН
	Добыча штанговыми насосами
	Проекты гидроразрыва пласта
	Прогнозирование опасных событий
	Предсказание повреждения обсадных колонн
	Удалённое управление интеллектуальными нефтегазовыми месторождениями
	Управление факельной системой сброса и сжигания

Помимо этого, многие исследователи использовали возможности анализа БД в нефтегазовой торговле. Аналитика БД помогает с прогнозированием волатильности рынка и ценовых показателей, что может иметь эффект на управлении показателями добычи [1].

Важно понимать, что ограниченное применение всего лишь одной информационно-коммуникационной технологии не дает максимально возможного эффекта, лишь разумно комбинируя различные технологии можно добиться существенного эффекта при ограниченных затратах. Например, применение методов анализа больших данных, очевидно, будет малоэффективно при малой автоматизации сбора и обработки данных на месторождении, поэтому целесообразно использование вспомогательной технологии – интернета вещей.

Применение интернета вещей (IoT)

Интернет вещей (IoT) – это концепция сбора и передачи данных как между различными устройствами, так и в системах «оператор – устройство». Эта концепция способна реализовать эффективную систему передачи данных между людьми и объектами, используемую для контроля и управления различными процессами [7]. Совмещая IoT с технологиями баз данных можно добиться практически моментального обмена производственными данными, что позволяет оптимизировать традиционный технологический процесс [8]. Благодаря созданию интеллектуальной нефтепромысловой системы на основе IoT становится возможным интеллектуальное управление процессами каждой подключенной подсистемы, что увеличивает производительность труда и безопасность производства [7].

В работе «Платформа интернета вещей на основе блокчейна для удаленного мониторинга и управления нефтяными месторождениями» представлена схема возможного использования IoT для контроля и мониторинга состояния производственных объектов. Базовая архитектура IoT описывается тремя основными уровнями: устройства, граничный шлюз (программный маршрутизатор) и облако [9]. Устройства представляют из себя физические объекты, с установленными на них датчиками и исполнительными устройствами, которые могут взаимодействовать с граничным шлюзом. Граничный шлюз – это мощное в вычислительном отношении устройство, которое под-

ключается сразу к нескольким устройствам IoT и обеспечивающее функции связи и агрегирования данных. Облако – это программно-аппаратная система, связывающая различные базы данных и вычислительные устройства в единую сеть, способную к всенаправленному обмену информацией. На рисунке 2 показана схема взаимодействия различных уровней и устройств в системе IoT.

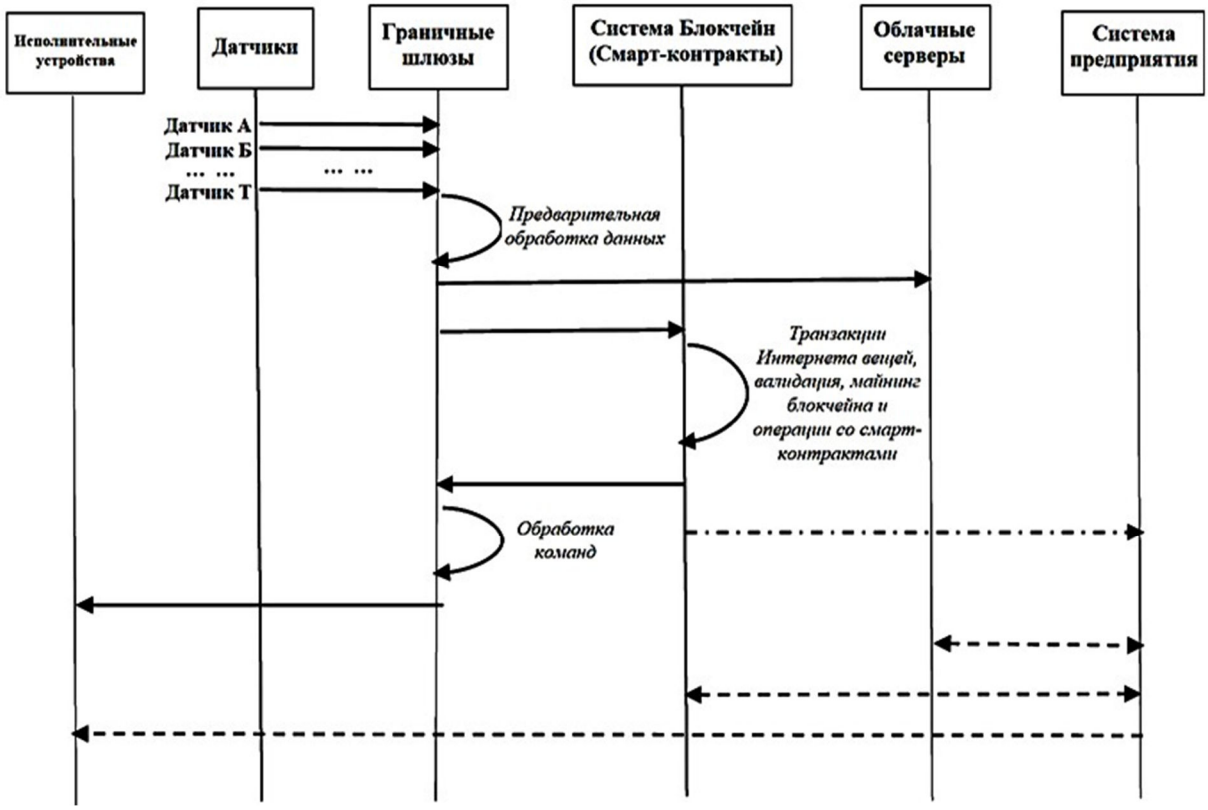


Рисунок 2 – Схема взаимодействия в системе IoT с использованием блокчейна для обеспечения децентрализации, достоверности и отслеживаемости потоков данных [9]

Благодаря созданию систем удаленного интеллектуального управления и сбора данных на основе IoT могут быть решены задачи по информационно-коммуникационному обеспечению практически любого производственного процесса. Применение IoT показало свою эффективность во множестве задач, связанных с оптимизацией и мониторингом производственных процессов [4, 10].

Применение цифровых двойников (Digital Twins)

В научной среде множество авторов давали различные определения термина «цифровой двойник» [11, 12]. Обобщая определения, можно сделать вывод о том, что цифровым двойником принято называть компьютерную программу, которая собирает информацию о физическом объекте или системе в качестве входных данных и создаёт на основе симуляций процессов и анализе данных выходную информацию, используемую для принятия различных решений [11].

Для эффективной работы цифрового двойника необходимо поддержание постоянного соединения и обмена данными между цифровым двойником, реальным объектом, и другими цифровыми объектами, такими как, базы данных, различные терминалы доступа к информации цифрового двойника, и т.д. [12]. Технологии цифровых двойников способны включать в себя ИИ, использующий контролируемые/неконтролируемые алгоритмы обучения, способный улучшать способности по прогнозированию и симуляции на основе обработки поступающего потока данных. При этом современные ИИ способны выбирать самые необходимые данные, что позволяет хранить и использовать только наиболее полезную информацию, снижая стоимость хранения и обработки информации.

При разработке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений цифровой двойник применяется как для прогнозирования различных состояний реальной системы, так и для управления ею на основе данных, полученных в результате симуляций. Таким образом, основным принципом работы цифрового двойника при разработке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений является двустороннее слияние данных и гибкое применение фрактального мышления [4]. Ниже представлена наглядная схема работы цифрового двойника (рис. 3).

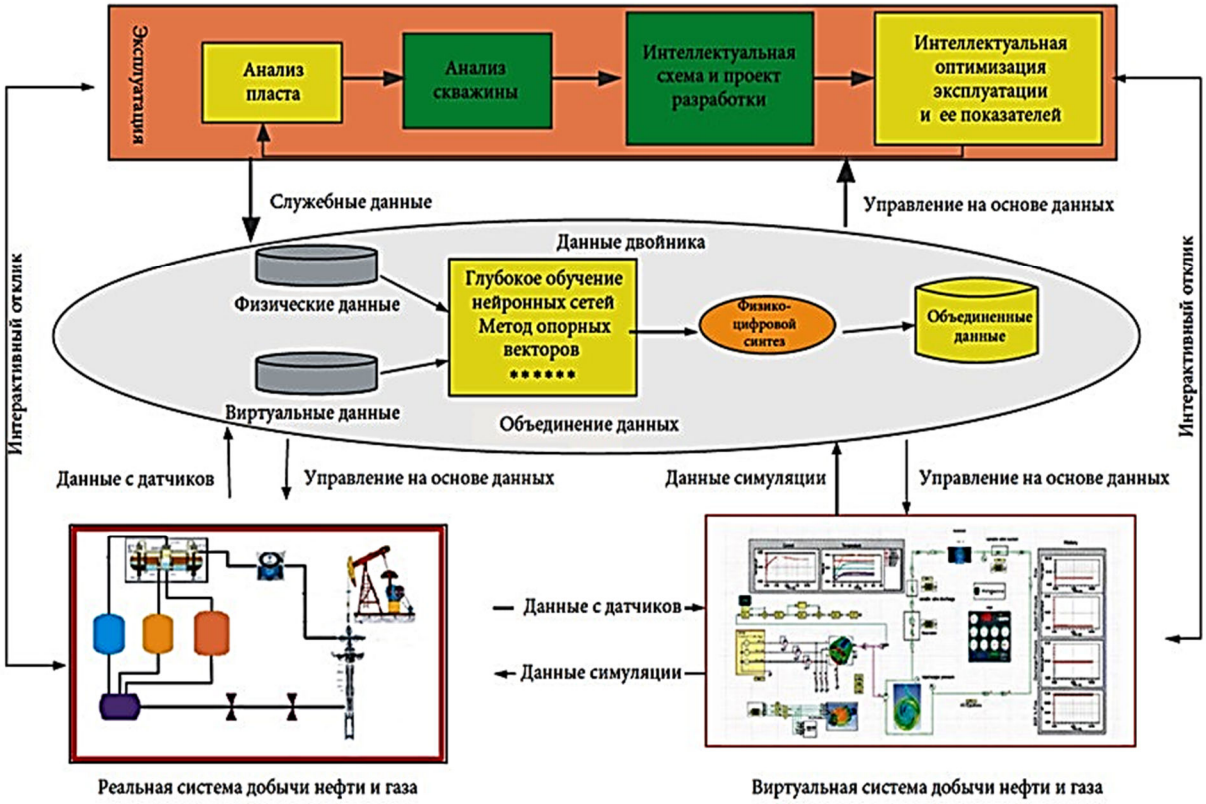


Рисунок 3 – Общая схема работы цифрового двойника при добыче нефти и газа [4]

В качестве примера используемого в промышленности цифрового двойника можно привести модуль исследования связей между притоком и расходом цифрового двойника, используемый при разработке нефтегазового месторождения, состоит из четырёх основных частей: получение исходных данных, базовая математическая модель, анализ эксплуатации, методы оптимизации [4]. Данный модуль обеспечивает информацию о точных физических свойствах флюида, производительности притока и расчётной модели многофазного протока в трубопроводе, что является основой для анализа и проектирования эксплуатационных скважин. Также данный модуль способен анализировать узлы нефтяных и газовых скважин, находить среди них проблемные и задействовать потенциал по добыче как на основе анализа узлов, так и на основе анализа методов подъёма флюида на поверхность, забойного давления и изменения объёма притока [4]. На рисунке 4 показана блок-схема использования модуля исследования связей между притоком и расходом при оптимизации проекта эксплуатации.

В публикации «Цифровой двойник для нефтегазовой отрасли: обзор, тенденции исследований, возможности и проблемы» приводится следующий ряд перспективных возможностей применения цифровых двойников:

- продвинутое управление активами;
- оценка рисков активов;
- ускоренное обучение специалистов в виртуальных средах;
- отработка чрезвычайных ситуаций на цифровом двойнике;

- сокращение временного разрыва между планированием и производством;
- защита от недопонимания и потери информации;
- упрощение процесса совместного принятия решений;
- автоматизация технологических процессов;
- разработка сценариев будущей эксплуатации;
- снижение временных затрат на ручную обработку информации.

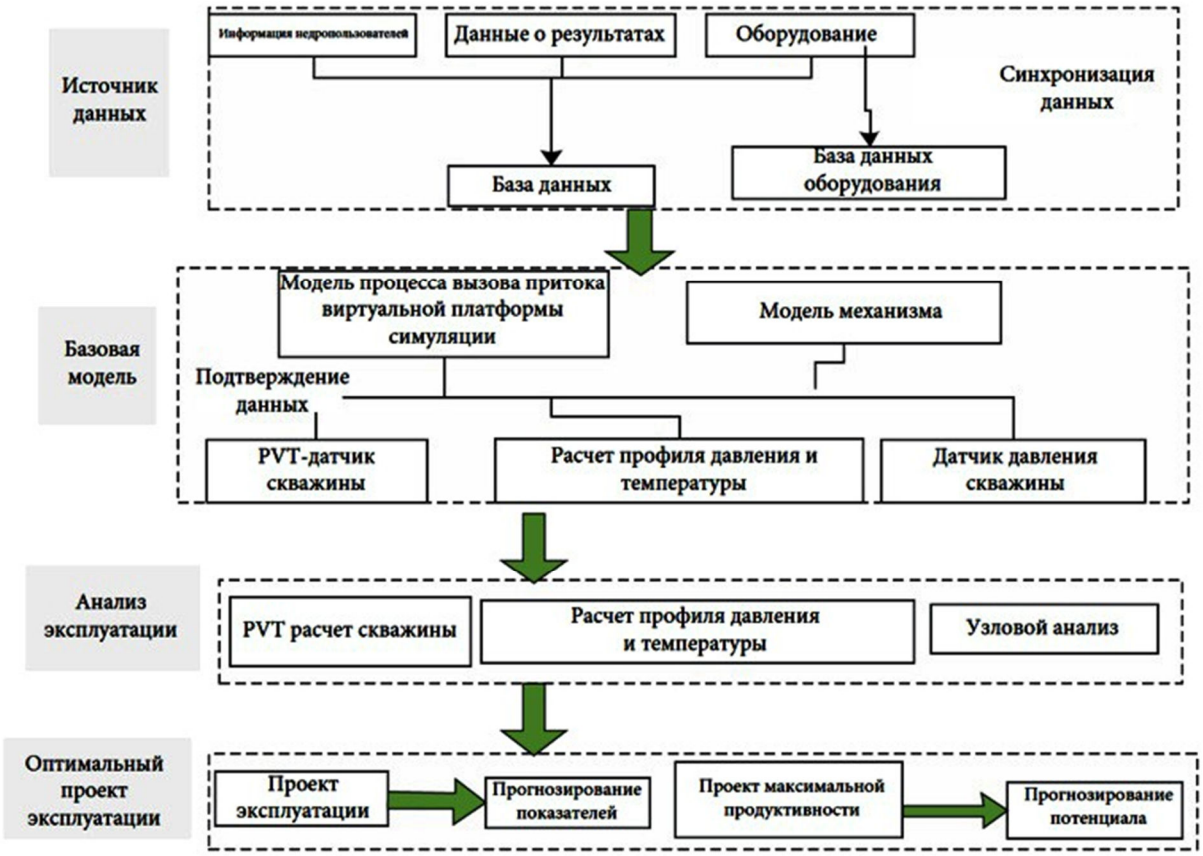


Рисунок 4 – Блок-схема оптимизации эксплуатации нефтяных и газовых скважин при помощи цифрового двойника [4]

Применение цифровых технологий в обучении персонала (AR/VR)

Использование цифровых технологий в процессе обучения персонала позволяет наглядно ознакомить рабочих с интерактивными моделями реальных процессов и аппаратов ещё до начала взаимодействия с ними. За счёт подобного метода обучения знания подкрепляются визуальными и двигательными (при применении VR и AR технологий) примерами, что положительно влияет на их усваиваемость. Технологии виртуальной реальности (VR) позволяют пользователю взаимодействовать с виртуальными системами при помощи ряда манипуляторов, имитирующих взаимодействие в пределах, заранее определенных разработчиками программ. Технологии дополненной реальности (AR) обладают всеми возможностями VR, но взаимодействие пользователя с системой происходит на основе реально существующих объектов, распознаваемых программным обеспечением. На рисунке 5 представлены основные элементы систем дополненной реальности с обозначением побочных технологий.

AR решения часто устанавливаются на мобильные устройства (планшеты, смартфоны, ноутбуки) из-за их распространённости и лёгкости [13]. Мобильные устройства обычно комплектуются гироскопом, что позволяет определять относительное положение между реальным объектом и устройством. Если размер дисплея мобильного устройства или прочие недостатки при его использовании становятся достаточно весомыми, то при обучении применяются различные наголовные дисплеи.



Рисунок 5 – Три элемента AR технологий [13]

В ряде работ были проведены исследования, рассматривающие связь между применением AR технологий в обучении и качеством/скоростью изучения информации, которые выявили положительное влияние как на результативность обучающихся, так и на качество взаимодействия обучающихся с информацией [14–16].

Нерешённые научные проблемы по теме исследования

Текущее состояние информационно-коммуникационных систем нефтегазовой отрасли можно охарактеризовать как довольно удручающее. Нефтегазовая отрасль имеет самый низкий средний балл в индексе цифровой зрелости Deloitte[1] по сравнению с другими шестнадцатью отраслями.

Среди факторов, замедляющих процесс цифровизации нефтегазовой отрасли, принято выделять два основных направления: технические факторы, относящиеся к применению информационно-коммуникационных решений, и не технические факторы, такие как, например, ориентированные на персонал и консервативные системы управления.

В первом направлении основными проблемами считаются недостаток стандартизации программных платформ для сбора комплексной информации из различных источников и отсутствие интегрированных платформ, включающих в себя решения как для защиты информации, так и для обмена данными на протяжении всего производственного процесса. На сегодняшний день данные большинства отечественных недропользователей и сервисных компаний практически не защищены, что существенно ограничивает применимость любой информационной технологии [17]. Во втором направлении наиболее серьёзной проблемой является отсутствие заинтересованных руководителей с соответствующими компетенциями в информационных технологиях, которые могли бы руководить процессом цифровизации. Кроме того, консервативные руководители нефтегазовой неохотно применяют цифровые решения в своих бизнес-процессах так как боятся рисков, связанных с возможными экономическими последствиями. На средне-нижних уровнях управления основным препятствием цифровизации становится уже недостаток компетентной в области применения современных цифровых технологий рабочей силы в компании [2, 3].

Помимо проблем, влияющих в основном на нефтегазовые компании, необходимо также рассматривать ряд проблем, которые имеют социально-экономический и правовой характер. Усиление автоматизации производства всегда приводит к сокращению рабочих мест, что может вызвать определённые проблемы для населённых пунктов, где большая часть населения занята в нефтегазовой сфере [17]. Пробелы в

[1] Deloitte. A Middle East Point of View – Fall 2019. – URL : https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/xe/Documents/AboutDeloitte/mepovdocuments/mepov30/disrupt-the-norm_fall-2019_mepov30.pdf (дата обращения 05.03.2024).

законодательном регулировании быстроразвивающихся технологий также являются значительной проблемой, которая негативно сказывается на применении инновационных технологий [1, 18]. Наряду с проблемами, присущими всем современным информационно-коммуникационным технологиям, у каждой из них существует свой уникальный набор нерешённых задач и слабых мест.

Проблемы, возникающие при применении анализа больших данных

Интерес к технологиям анализа больших данных в нефтегазовой отрасли начал активно развиваться только в 2015 году, при этом большинство статей по теме больших данных в нефтегазовой отрасли аффилировано с университетами или компаниями цепочки поставок. В заключении публикации «Систематический обзор аналитики больших данных для нефтегазовой отрасли 4.0» был сделан вывод о том, что добывающей промышленности свойственно отставание в области применения больших данных, обусловленное несвоевременной адаптацией технологии к нуждам отрасли. Это легко подкрепляется тем фактом, что до сих пор не существует устойчивой методики применения анализа больших данных в нефтегазовой отрасли, которая могла бы гарантировать получение прибыли [1].

Основной проблемой внедрения анализа больших данных являются объёмные капиталовложения, связанные с записью, хранением, и анализом данных. Помимо капитальных затрат внедрение подобного рода инноваций требует значительных усилий по обеспечению эффективного использования доступных программных средств и вычислительных мощностей, функциональности, информационной безопасности и обслуживания [19]. Среди не технических проблем принято выделять кооперацию между различными отделами для обеспечения эффективного рабочего процесса, проблемы стандартизации, конфиденциальности данных, владения данными и правами интеллектуальной собственности [1, 20].

Для проведения успешной цифровизации необходимо обеспечить проблемно-ориентированную и удобную для пользователя систему [2]. Базовой задачей анализа больших данных является передача данных с датчиков месторождения на средства обработки данных. Обеспечение выполнения всех требований к системе становится задачей недропользователей, зачастую не имеющих опыта в применении подобных решений. Системы больших данных хранят в себе разнообразную информацию, имеющую различный тип, структуру, семантику, организацию, детализацию и доступность. Вся эта информация должна быть структурирована и представлена в наиболее оптимальном виде для выполнения операций с различными наборами данных. При этом сами по себе генерируемые в системе данные зачастую достигают невообразимых объёмов, во много раз превышающих размер имеющегося хранилища. В связи с этим появляется вопрос о сжатии и определении жизненного цикла данных. Для этого необходимо разработать принцип важности, связанный с аналитической ценностью имеющихся данных, применение которого позволит сократить объём хранимой информации без потери её ценности. Разрабатываемая система должна обрабатывать массы разнородных данных в течение ограниченного времени. Однако традиционные системы управления базами данных (СУБД) крайне ограничены в масштабируемости и расширяемости, при этом современные нереляционные базы данных, несмотря на свои преимущества в масштабируемости и скорости обработки неструктурированных данных, всё ещё не лишены недостатков в некоторых областях применения [6]. Данная проблема ставит перед недропользователями задачу о поиске/разработке гибридной СУБД, лишённой недостатков обоих типов и способной к работе с расширяющейся и усложняющейся базой данных.

Анализ больших данных – это, прежде всего, междисциплинарное исследование, которое требует сотрудничества экспертов в различных областях для раскрытия потенциала больших данных. В работе «Интеллектуальные устойчивые системы аудита следующего поколения с использованием анализа больших данных: понимание взаимодействия критических барьеров» высказывается мнение, что основными трудностями при применении технологий больших данных являются, прежде всего, финансово-обустройственные вопросы. В таблице 3 приведён ранжированный список препятствий, встречающихся при адаптации систем больших данных, составленный на основе мнений экспертов.

Таблица 3 – Ранжированный список препятствий, встречающихся при адаптации систем больших данных [21]

№ n/n	Препятствие	Средний балл
1	Недостаточная готовность инфраструктуры	4,4
2	Нехватка квалифицированной рабочей силы	4,3
3	Финансовые трудности	4,1
4	Опасения по поводу безопасности данных	4,1
5	Отсутствие обмена знаниями	4,1
6	Отсутствие решимости высшего руководства	4,0
7	Организационное сопротивление изменениям	4,0
8	Плохой бизнес-кейс	3,9
9	Устаревшая система	3,9
10	Юридические и этические проблемы	3,9
11	Проблемы масштабируемости	3,9
12	Незрелость технологии	3,9
13	Сложность управления данными	3,6
14	Низкое качество данных	3,6
15	Риск сбоя системы	2,9

Учитывая, что данный список составлен на основе анализа мнения экспертной группы, его содержание можно считать достаточно достоверным.

Проблемы, возникающие при применении интернета вещей

Интернет вещей представляет собой сложную гетерогенную платформу, состоящую как из устройств, так и из программных решений. Неоднородность аппаратных и программных частей выносит на обсуждение проблемы стандартизации и совместимости [22]. Тем не менее, проблемы совместимости и стандартизации скорее носят локальный характер, так как проявляются лишь при активном развертывании систем, и решаются банальным изучением доступных комбинаций аппаратной и программной части. Глобальной проблемой при применении систем интернета вещей является проблема обеспечения информационной безопасности. Среди наиболее уязвимых узлов принято выделять веб/облачные/мобильные интерфейсы, процессы аутентификации/авторизации, небезопасные сетевые службы, отсутствие шифрования при передаче данных, проблемы конфиденциальности, недостаточную конфигурируемость безопасности, небезопасное программное/микропрограммное обеспечение и плохую физическую безопасность [23]. В таблице 4 представлены возможные узлы атак при использовании индустриального интернета вещей.

Таблица 4 – Возможные узлы атак при использовании индустриального интернета вещей [24]

Цель	Описание подцели	Узлы атак	Техническая сложность	Доступность	Обнаруживаемость	Время взлома
1	2	3	4	5	6	7
Установка бэкдора	злоумышленник стремится найти точку входа, устанавливая программы с бэкдором на сервер	передача угрозы по электронной почте	средняя	высокая	высокая	недели – месяцы
		передача угрозы по USB	средняя	средняя	высокая	недели – месяцы
		сканирование портов	низкая	средняя	высокая	дни – недели
Выявление работающих эксплойтов	злоумышленник использует несколько уязвимостей в сервере, пока не будет обнаружен эксплойт там, где он соответствует цели злоумышленника	управление утечками	высокая	средняя	средняя	недели – месяцы
		внедрение SQL-кода	средняя	средняя	средняя	дни – недели

Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7
Вход в систему, используя действитель-ный логин и пароль	получив доступ к сети, злоумышленник может попытаться войти в систему с именем администратора и паролем	направленный фишинг	средняя	высокая	высокая	недели – месяцы
		введение администра-тора в заблуждение	низкая	высокая	высокая	дни – недели
Извлечение трафика	злоумышленник должен найти средства доступа к трафику, поступающему в сеть или из неё	доступ к данным через хост или сеть	средняя	средняя	средняя	недели – месяцы
		данные доступа определённо-го хоста или сети	средняя	средняя	средняя	недели – месяцы
Человек в центре атаки	злоумышленник стремится захватить данные, перейдя с клиента на сервер. Затем осуществляется новая атака на искомые пакеты	повторение атак	средняя	средняя	средняя	недели – месяцы
Пересылка данных	при передаче данных злоумышленнику и перехвате данных злоумышленник должен изменить данные таким обра-зом, чтобы изменённые данные причинили вред	обработка данных в режиме реального времени	высокая	средняя	высокая	недели – месяцы
		отправка данных	низкая	высокая	высокая	дни – недели
		преодоление SSL / TLS	очень высокая	низкая	низкая	годы – десятиле-тия

Все виды атак классифицируют по их уровню [25]:

1) *физический*: создание помех, отказов в обслуживании, несанкционированное вмешательство;

2) *сетевой*: человек в центре атаки, атаки с исчерпанием ресурсов, коллизионные атаки, подмена;

3) *обработки данных*: вредоносные программы, коллизионные атаки и «нечестные» атаки;

4) *приложения*: трояны, вирусы, внедрение вредоносного кода и атаки на основе социальной инженерии.

Недопущение доступа посторонних лиц является базовым требованиям для применения любой системы Интернета вещей в производстве. Мельчайшая недоработка систем безопасности способна привести к взломам систем управления, ущерб от которых может стоить нефтегазовой отрасли миллиарды долларов в убытках[1]. Именно поэтому проблемы с совместимостью, стандартизацией и управлением системами IIoT выходят на второй план по сравнению с проблемами безопасности сетевых решений.

Проблемы, возникающие при применении цифровых двойников

Поскольку технологии цифровых двойников являются сложными системами, включающими в себя многие технологические сферы, многие предприятия и ученые могут быть не знакомы с их ключевыми принципами и методами. Из-за различий в интерфейсах, процедурах и правилах функционирования современных технологий не существует универсального решения, которое могло бы использоваться целей нефтегазовой отрасли. В связи с этим возникает необходимость в планировании, и создании платформ и инструментов для разработки [26].

[1] Reuters. All at sea: global shipping fleet exposed to hacking threat. – URL : https://www.reuters.com/article/us-cybersecurity-shipping-idUSBREA3M20820140423 (дата обращения 14.03.2024).

Цифровые двойники могут состоять из множества источников данных и имитационных моделей, в связи с чем возникает проблема выбора платформы для интеграции данных [27]. Использование программ с узким назначением должно комбинироваться для достижения наиболее широкого эффекта на процесс добычи углеводородов, в связи с чем важная интеграция данных как в пределах одного производственного процесса, так и в пределах всего производственного цикла. При этом, с другой стороны, необходимо сокращать объём хранимых и обрабатываемых данных до минимально необходимого, с целью повышения эффективности и быстродействия всей информационно-коммуникационной системы. Также при увеличении количества дублируемых цифровыми двойниками процессов соответственно растет и количество необходимых бизнес-коммуникаций и объёмов безопасно передаваемой информации, которые необходимо обеспечивать для функционирования цифровой модели.

Одной из открытых исследовательских задач является разработка основы для универсальной платформы цифровых двойников, которая позволила бы снизить затраты на создание цифрового двойника под конкретные цели. При этом разрабатываемая система должна обладать совместимостью с уже существующими и только разрабатываемыми моделями и системами и быть довольно открытой и универсальной для внедрения новых моделей и данных без остановки протекающих в ней процессов [28].

Применение цифровых двойников имеет огромное количество разнообразных проблем, связанных в основном с программно-аппаратной реализацией, совместимостью и информационной безопасностью, поэтому в рамках данного обзора имеет смысл лишь кратко обозначить их. В публикации «Цифровой двойник для нефтегазовой отрасли: обзор, тенденции исследований, возможности и проблемы» приводится обобщенный ряд проблем, возникающих при применении цифровых двойников:

- определение сферы охвата и выбор направления;
- недостаток стандартизации;
- информационная безопасность;
- вопросы владения данными их совместного использования;
- точность и достоверность результатов;
- функциональность цифровых двойников;
- применение опыта экспертов нефтегазовой отрасли при разработке цифровых двойников;
- проблемы, связанные с существующими бизнес-моделями, консервативным персоналом и политикой компании;
- хранение и аналитика данных;
- обслуживание цифровых двойников;
- приуменьшение роли цифровых двойников при принятии решений.

Проблемы, возникающие при применении цифровых технологий в обучении персонала

Применение современных цифровых технологий при обучении персонала является развивающимся направлением, совмещающим реальную среду с виртуальной. Подобное совмещение обуславливает довольно высокие требования к техническому обеспечению процесса обучения. При разработке и применении подобных систем компании сталкиваются с рядом проблем, широко освещённых в публикационной среде. Применение AR/VR технологий требует от всех участников процесса обучения достаточного уровня цифровых навыков, в случае отсутствия которых люди могут проявлять меньший интерес к обучению или же вовсе иметь склонности к отказу от технологии [29].

Помимо вовлечения людей в процесс обучения важным параметром является стоимость и доступность решений. В ряде исследований описываются проблемы, связанные с выбором аппаратных платформ (дисплеев) и их стоимостью.

В публикации «Дополненная реальность: систематический обзор её преимуществ и проблем в контексте электронного обучения» формируется ряд ключевых проблем технологии на основе проанализированных публикаций.

Таблица 5 – Основные проблемы применения технологий AR в обучении [30]

Проблема	Количество упоминаний в исследованной литературе
Информационная/когнитивная перегрузка	3
Технология сложна как для преподавателей, так и для обучающихся	1
Технология способна сбивать с толку и ошеломлять как преподавателей, так и для обучающихся	1
Недостаток необходимых навыков для использования AR технологий	1
Сопротивление преподавателей к адаптации новой технологии	2
Несовместимость с обычным педагогическим подходом	2
Недостаток опыта и знаний среди преподавателей о применении AR в образовании	2
Дороговизна технологии	2
Может вызвать беспокойство по отношению здоровья и дискомфорта у пользователей	1
Технические проблемы, такие, как, плохое соединение и ошибки глобальной системы позиционирования	1

Особое внимание также следует уделить проблемам разработки и глубокой настройки программного обеспечения, для решения которых требуются квалифицированные специалисты. Ошибки в восприятии 3D и перспективы также отмечены во множестве публикаций как проблемы, возникающие при применении технологии. Качественное совмещение генерируемого 3D окружения с реальной перспективой необходимо для того, чтобы избежать проблем, связанных с неправильным или затрудненным восприятием зрительной информации. Оно также необходимо для избегания симуляторной болезни, возникающей при несоответствиях в движении виртуальных и реальных объектов, которая способна привести к сокращению времени эффективного обучения, снижению внимания обучающихся и даже к выработке контрпродуктивных методов выполнения задач, как способов борьбы с симуляторной болезнью [29].

Перспективные предложения для решения выявленных научных проблем

Для преодоления перечисленных в предыдущем разделе препятствий требуется создание подробной дорожной карты с общими методическими рекомендациями. Практически все перечисленные задачи являются частично решёнными и имеют реально существующий применяемый метод решения. Однако большинство решений не являются абсолютными, в связи с чем недропользователям необходимо подбирать наиболее оптимальные варианты применения современных информационно-коммуникационных для их конкретного объёма и вида производства. Так же, как и каждое месторождение наделено уникальными характеристиками, каждая часть информационно-коммуникационной системы обладает особенными преимуществами и недостатками. Подбор элементов и оценка возможного эффекта от применения той или иной системы является трудоёмким процессом, требующим работы опытных и высококвалифицированных специалистов. При этом данный процесс поддаётся заметному упрощению при анализе устоявшихся тенденций и реального опыта в разработке информационно-коммуникационных систем для разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений.

Для эффективного внедрения цифровых технологий на организационном уровне необходимо провести значительные изменения, направленные на переоценку использования новейших технологических решений руководителями. Помимо этого, для ускорения процесса цифровизации необходимо увеличение инвестиций в человеческий капитал посредством разработки современных цифровых образовательных программ, позволяющих оперативно обучить специалиста требуемым цифровым компетенциям [3]. Подобные тенденции развития прослеживаются в Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года, некоторых из её положений представлены на рисунке 6.

В работе «Цифровая трансформация, ориентированная на человека, и оператор 4.0 для нефтегазовой отрасли» предлагается концепция возможного направления цифровой трансформации нефтегазовой отрасли с опорой на современного операто-

ра, отвечающего требованиям индустрии 4.0. Современный работник нефтегазовой отрасли в соответствии с концепцией должен уметь выполнять как выполняемые вручную задачи, так и задачи, связанные с автоматизированным анализом данных или использованием искусственного интеллекта для принятия решений, основанных на реальных данных. С точки зрения оператора взаимодействие с сетью и преобразование информации являются наиболее важными уровнями киберфизических систем, поскольку они уровня отвечают за взаимодействие устройств с их пользователями.

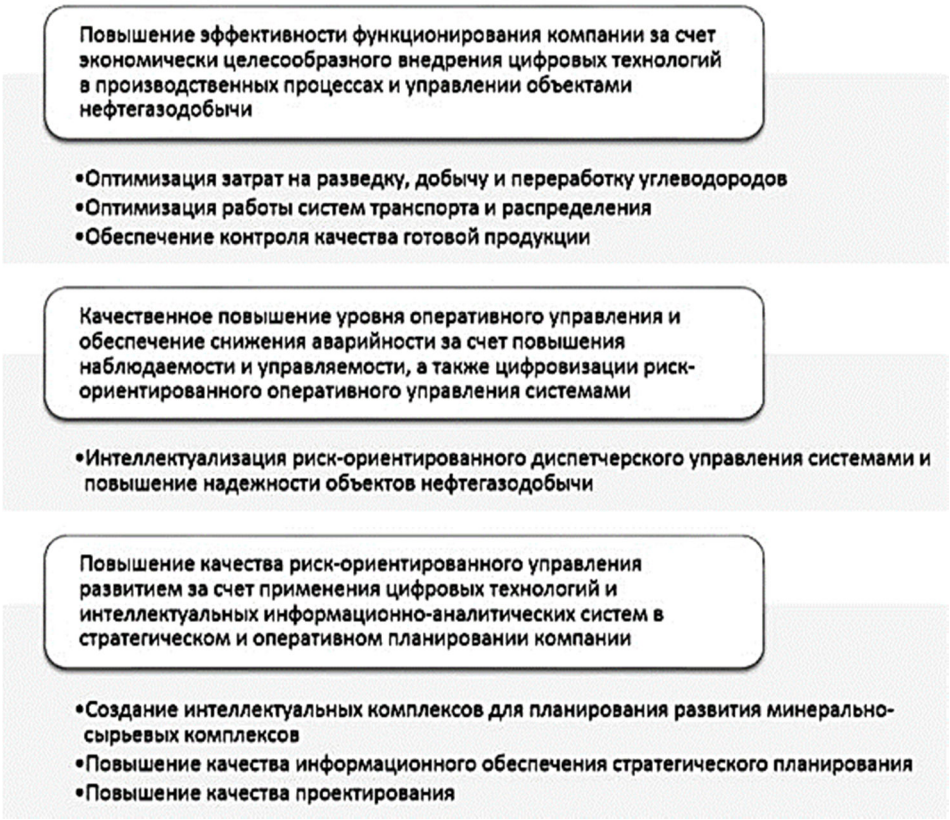


Рисунок 6 – Декомпозиция задач цифровой трансформации нефтегазовых компаний [31]

В зависимости от сферы деятельности оператор должен иметь доступ к современным средствам индивидуальной защиты; средствам мониторинга состояния здоровья; вспомогательным цифровым устройствам для выполнения основных обязанностей; средствам связи основанных на передаче голоса по интернет-протоколу (VOIP); роботизированным системам, используемым для доступа к труднодосягаемым местам; средствам беспроводного обмена информацией внутри локальной сети для коммуникации между устройствами и системами. Практически всё вышеперечисленное оборудование собирает информацию, которая должна быть обработана, интерпретирована и визуализирована для быстрого принятия обоснованных решений. Для отслеживания и оптимизации процесса производства предлагается использование различных систем интернета вещей. Подобные системы позволяют оценивать эффективность производства и причины её изменения, вычислять время выполнения операций, ключевые показатели производительности производственных ячеек и производственных линий на основе функций распределения времени работы, определяемых, например, с помощью свёртки из эмпирических функций распределения вероятностей времени выполнения задач. Для нефтегазовой отрасли наиболее актуально использование программных платформ, использующих беспроводной промышленный интернет вещей (IIoT). Подобные системы часто комплектуются решениями в виде передовых (edge computing) или туманных вычислений (fog computing), любое их этих решений позволяет полевым работникам получать доступ к аналитическим данным в режиме реального времени. На рисунке 7 представлены отличия различных сетей.

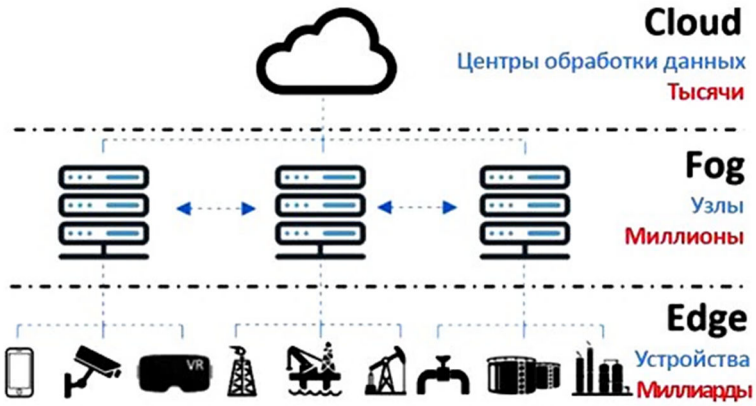


Рисунок 7 – Сети облачных (Cloud), туманных (Fog) и передовых (Edge) вычислений с количеством элементов (красный) и местом внедрения (голубой) [1]

Для существующих сооружений и устройств предлагается установка интеллектуальных датчиков и исполнительных механизмов с подключением к IIoT. В комбинации с мгновенным доступом к аналитическим данным подобное решение позволяет удалённо принимать ограниченные во времени решения и тут же задействовать их благодаря исполнительным механизмам, подключенным к локальной сети.

На сегодняшний день используемые в простых системах IoT протоколы связи не обеспечивают достаточный уровень безопасности промышленных данных. В связи с этим во многих работах предлагается совместное использование уже существующих решений в области IIoT с блокчейн технологиями для защиты данных [9]. Предлагаемые варианты распределения хранимых данных в децентрализованных однорагновых или гибридных сетях сложность получения несанкционированного доступа к полному массиву информации.

Применение систем IIoT в нефтегазовой отрасли непрерывно ведёт к появлению больших объёмов данных (Big data), в связи с чем возникает вопрос о выборе и разработке необходимой инфраструктуры. Системы баз данных с каждым днём становятся всё более стандартизированными и используемыми при строительстве интеллектуальных месторождений [18]. По аналогии с IIoT многие исследователи продвигают идеи децентрализации системы с целью повышения отказоустойчивости, защищенности и масштабируемости. При этом использование различных программных и аппаратных платформ имеет свои уникальные преимущества и недостатки, что приводит к необходимости тщательного подбора проектируемого решения под определенный набор задач [1]. На рисунках 8 и 9 представлены особенности некоторых программных и аппаратных решений.

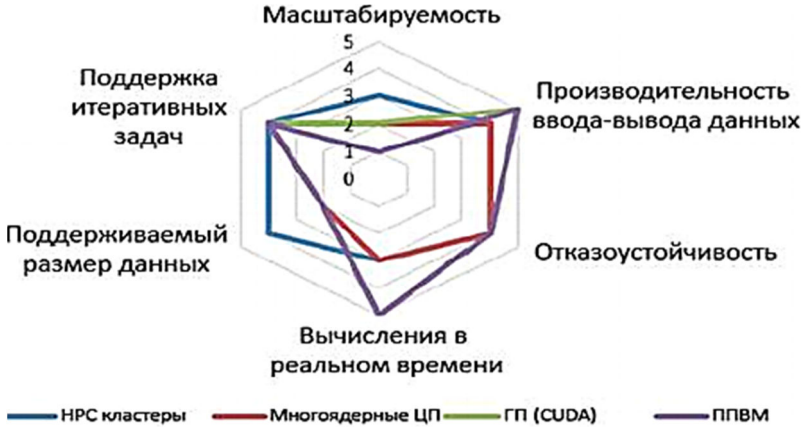


Рисунок 8 – Сравнение характеристик различных платформ для улучшения вертикального масштабирования [1]



Рисунок 9 – Сравнение характеристик различных платформ для улучшения горизонтального масштабирования [1]

Как видно из рисунка 9, вычисления в реальном времени являются одной из слабых сторон объёмных распределённых систем больших данных. Это связано с тем, что данные в распределенных системах находятся в разных частях сети, и требуется намного большее время на их обнаружение и передачу по сравнению с централизованными сетями. При этом стоит понимать, что данная проблема может быть решена при помощи проблемно-ориентированного подхода к определению целей и функций различных элементов распределенной сети.

Содержимое подобных баз данных предлагается анализировать при помощи разнообразных методов, наиболее передовыми из которых являются самообучающиеся нейронные сети. Существующие данные могут быть подвергнуты любому методу анализа и прогнозирования в зависимости от текущей необходимости.

С точки зрения безопасности систем больших данных можно выделить два наиболее критических направления: управление идентификацией и доступом, и шифрование данных. Управление идентификацией и доступом не позволяет посторонним лицам получать доступ в систему. В нем продвигаются идеи перехода от стандартных средств авторизации в виде паролей и смарт-карт к многофакторной аутентификации с использованием биометрических данных. Биометрические данные довольно сложно скопировать или подделать, они не могут быть угаданы так же быстро, как пароли с низкой энтропией, к тому же биометрические данные невозможно потерять или забыть, что делает их предпочтительными в качестве средств аутентификации.

Если, несмотря на все меры по предотвращению несанкционированного доступа, злоумышленнику всё же удаётся проникнуть в базу данных, то главным препятствием утечки данных становится шифрование. Данные должны храниться на серверах в зашифрованном виде, и не должны быть расшифрованы без использования секретного ключа. В нефтегазовой отрасли существуют компании (Dragos, Sentry, CyberX), предлагающие услуги по организации кибербезопасности баз данных [1]. Недропользователи в праве как обратиться к услугам данных компаний, так и использовать собственные методы обеспечения безопасности. В данный момент различными исследователями предлагается достаточное количество различных методов шифрования информации при её хранении в базах данных и передаче, что позволяет выбрать оптимальный вариант для каждого конкретного участка.

Тем не менее, стоит отметить, что вне зависимости от количества предлагаемых решений в области кибербезопасности, как специализированными компаниями, так и исследовательскими коллективами, данному направлению необходима глубокая стандартизация и законодательная основа с целью упрощения процессов, связанных с управлением и разработкой систем защиты данных. Помимо этого, хорошая законодательная основа также способна предотвратить некоторые виды информационной преступности благодаря рациональному контролю и оповещению как потенциальных преступников, так и владельцев данных.

Вдобавок к системам больших данных и Интернету вещей третьим объёмным направлением цифровизации нефтегазовых месторождений является использование цифровых двойников. Эти три направления дополняют друг друга и получают различные преимущества при совместном взаимодействии с данными, хранящимися и генерируемыми при осуществлении стандартных для них процессов.

В работе «Цифровые двойники: современные и перспективные направления моделирования в приложениях инженерной динамики» выделяется 5 уровней способностей цифрового двойника. На рисунке 10 представлены различные элементы цифрового двойника, которые распределены по уровням возможностей.

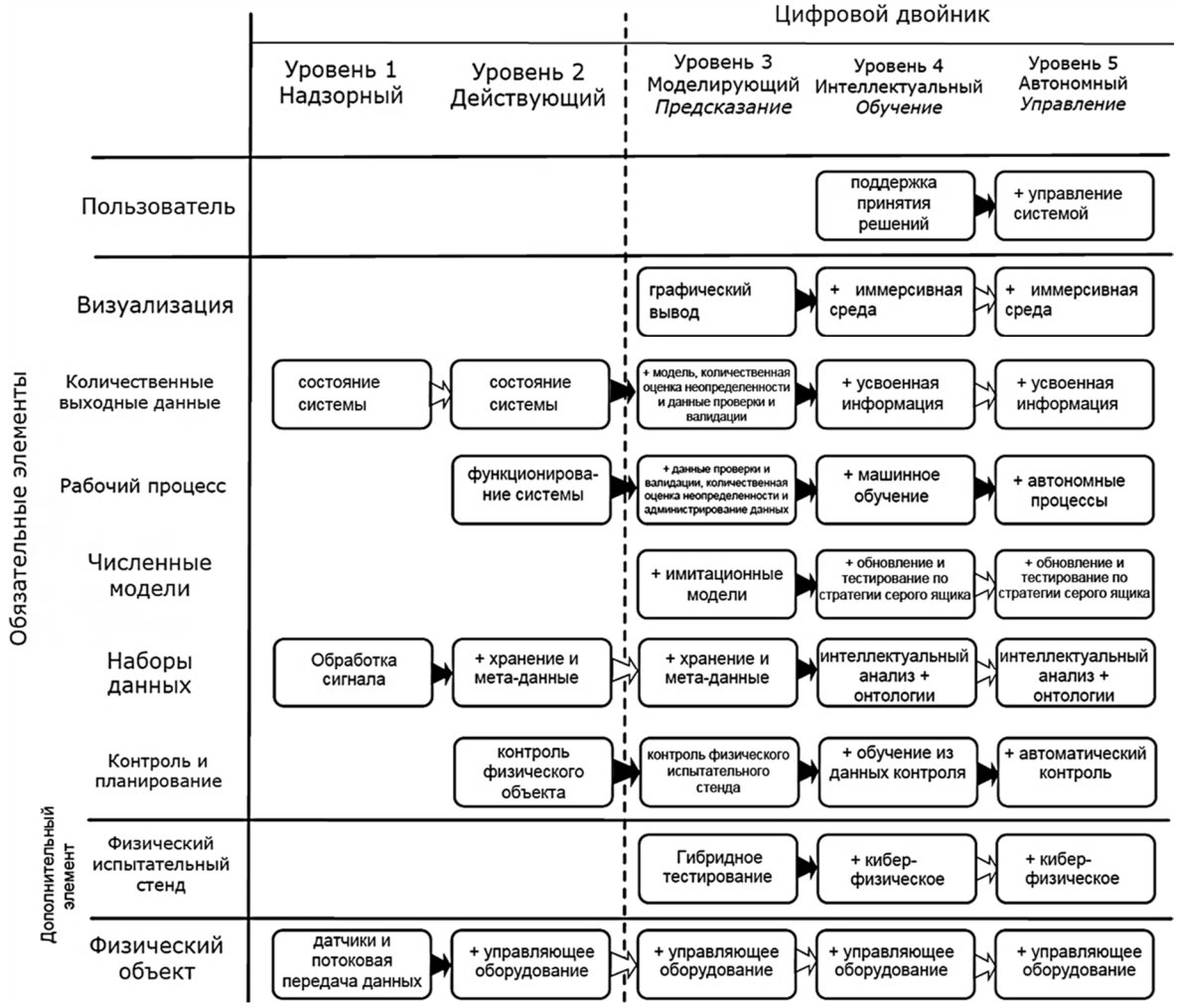


Рисунок 10 – Схематическое представление элементов, необходимых для пяти уровней цифрового двойника. При перемещении слева направо каждый блок включает в себя функциональность предыдущего блока. Чёрные стрелки указывают на приобретение новой функциональности, а белые – на её отсутствие.

Как видно из рисунка, ключевыми особенностями, отличающими цифровых двойников от различных систем мониторинга состояния объекта, являются способности прогнозировать, обучаться и управлять. Важно отметить, что на 3 уровне пользователь сам выполняет принятие решения и управляет физическим объектом, тогда как на уровнях 4 и 5 цифровой двойник берёт часть этих обязанностей на себя.

Благодаря внедрению цифровых двойников в подготовленную инфраструктуру с использованием промышленного интернета вещей и баз данных удаётся сразу же решить многие проблемы, связанные с информационной безопасностью и поддержкой цифрового двойника за счёт применения уже реализованных решений. Цифровые двойники получают данные из базы данных и корпоративного ПО и обрабатывают их, используя целый ряд инструментов и моделей анализа данных, включая искусствен-

ный интеллект. Как правило, вычисления проводятся с применением облачных систем, так как большой объём многомерных данных с использованием сложных алгоритмов анализа данных и инструментов не может быть обработан компьютером или простой серверной системой с ограниченной памятью и вычислительными мощностями.

Проблемно-ориентированный подход к внедрению цифрового двойника решает проблему выбора области внедрения. Проверка, верификация и количественная оценка неопределенности решают проблемы точности и достоверности выходных данных. Опыт многих транснациональных компаний доказал, что использование цифровых двойников является одним из перспективных направлений повышения эффективности производства при разработке нефтегазовых месторождений.

При разработке цифровых двойников требуется чёткое понимание структуры будущей системы, для которого необходимо знание существующих решений. Подобными знаниями в совокупности с пониманием специфики отрасли должны обладать наёмные специалисты, занимающиеся разработкой и обслуживанием информационно-коммуникационных систем. В работе «Проектирование цифровых двойников» был проведен анализ публикаций по теме цифровых двойников, в результате которого было выявлено, что около 86 % оцениваемых публикаций предлагают решения существующих проблем, при этом большинство решений опубликованы в виде базовых моделей. В связи с этим была выдвинута идея о том, что для повышения строгости использования архитектурных моделей для цифровых двойников необходимо сосредоточение на конкретных областях. Также на основе изученной литературы следует отметить ярко выраженную необходимость в строгой классификации цифровых двойников, так как на данный момент существует множество различных классификаций, используемых лишь отдельными группами исследователей.

В результате исследования «Анализ спроса на специальности и компетенции для цифровизации в эпоху нефти и газа 4.0» были выявлены основные тенденции потребности в кадрах для нефтегазовой отрасли. В результатах исследования была чётко выявлена установившаяся потребность в специалистах по анализу данных (около 50 % из вакансий, выделенных при помощи ключевых слов). При этом наблюдается рост потребности специалистов в области интернета вещей с практически соответствующим ему спадом в области облачных решений. На основе данного исследования можно сделать вывод о том, что на рынке труда сформировалось чётко выраженное направление с набором наиболее востребованных компетенций и умений, которые поддаются выявлению. Среди данных компетенций наиболее перспективными для всего цикла использования данных являются: Python, C, Java, Hadoop, SQL, R, MatLab, Javascript, Oracle, HTML, CSS, PHP, Spring, jQuery [3]. В соответствии с результатами этого и подобных ему исследований образовательные учреждения и компании нефтегазовой отрасли должны изменить существующий цикл подготовки специалистов таким образом, чтобы он наилучшим образом соответствовал текущим требованиям цифровизации.

Для обучения персонала новым компетенциям, необходимым для взаимодействия со средствами управления производством в индустрии 4.0 могут быть использованы методы обучения, использующие VR/AR технологии. При этом современные технологии в образовании могут быть использованы как при подготовке работников, взаимодействующих с механическими объектами, так и при обучении программированию и взаимодействую с компьютеризированными системами.

Для решения проблем современных цифровых технологий при обучении персонала следует придерживаться того же метода, который используется в остальных рассмотренных в обзоре направлениях – проблемно-ориентированности. Подбор аппаратной, и разработка программной части образовательной системы должны выполняться в соответствии с требованиями чётко поставленной цели, что позволит избежать недропользователям излишних инвестиций в развивающуюся сферу технологий.

Во избежание информационной и когнитивной перегрузки при работе в AR/VR системах предлагается использование минимально необходимого объёма информации. Для достижения наиболее оптимального пользовательского опыта при разработке подобных систем предлагается пользоваться некоторыми правилами:

1) приложение не должно нарушать осведомленность пользователей об их окружении;

2) для соответствия ментальному профилю пользователя необходимо применять ориентированное на пользователя проектирование, которое вовлекает конечных пользователей в качестве со-дизайнеров;

3) необходимые пользовательские компетенции для настройки и использования приложения должны быть минимально возможными;

4) положительный эмоциональный отклик пользователя практически всегда соответствует пользовательскому опыту, поэтому важно определить потребности пользователя и предоставить ему естественное взаимодействие и вовлечение в процесс.

Выполнение этих и подобных правил необходимо для достижения максимальной простоты при применении современных технологий в обучении. При этом в ряде работ предлагается совмещение AR/VR технологий с интернетом вещей, системами глубокого обучения и прочими современными технологиями для расширения функционала приложений и более комплексного и глубокого обучения.

Касательно стоимости внедрения технологии, в исследовании «Исследование приемлемости и электронной готовности к применению технологий виртуальной реальности и дополненной реальности для обучения техническому обслуживанию в обрабатывающей промышленности» был проведён опрос среди 11 предприятий, в результате которого выяснилось, что 10 из 11 предприятий рассматривали бы подобные технологии к применению, если бы возврат инвестиций произошёл за 2–5 лет. При этом особенно ярко это проявлялось у маленьких организаций. Большие компании проявляют больший интерес к долгосрочным инвестициям в подобного рода технологии, но, тем не менее, считают стоимость внедрения одним из самых больших препятствий.

Проблемы большой стоимости внедрения могут быть решены за счёт уменьшения как объёма разрабатываемой системы, так и её сложности. Благодаря применению, например, стандартных контроллеров, мобильных устройств и видеозаписи, недропользователям удастся сэкономить на приобретении специализированного оборудования и дорогостоящем трёхмерном моделировании, которое само по себе более требовательно к аппаратуре, чем записанные ранее видеоролики, или даже стереоскопические видеоролики.

На основании этой информации можно заявить, что применение современных цифровых технологий в обучении персонала является доступным для большинства предприятий отрасли, но неизбежно несёт в себе ряд компромиссов между стоимостью и качеством конечного решения. Тем не менее, множество исследований подтверждают пользу подобного подхода к обучению, что открывает возможности его применения в областях, где критически важно получить наиболее приближенный к реальности опыт действий до того, как подобный сценарий произойдет в реальности, например, при отработке нештатных ситуаций или технологических операций, или операций, негативно влияющих на непрерывность производственного процесса.

Заключение

В результате анализа ряда источников при составлении данного научного обзора удалось сформировать общую картину применения современных информационно-коммуникационных технологий в разработке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений. Были выявлены основные направления развития и возможности разрабатываемых систем, их текущие проблемы и методы возможного преодоления данных проблем. На основе проанализированной литературы можно сделать следующий ряд выводов:

1) применение современных информационно-коммуникационных технологий в нефтегазовой отрасли способно генерировать дополнительный доход для недропользователей за счёт оптимизации существующих производственных процессов посредством повышения их эффективности при помощи анализа производственных данных или интеллектуального управления;

2) нефтегазовая отрасль занимает позицию догоняющей в области применения современных информационно-коммуникационных технологий из-за консервативной

политики компаний, недостатка квалифицированных кадров в области IT и сложности оценки экономического эффекта от применения информационно-коммуникационных технологий;

3) для достижения целей цифровизации нефтегазовой отрасли необходимо изменение парадигмы мышления руководства компаний по отношению к информационно-коммуникационным технологиям, увеличение инвестиций в их развитие и подготовка требуемых специалистов;

4) в настоящее время существует огромное количество программно-аппаратных решений в области информационно-коммуникационных технологий и наиболее адекватным подходом к выбору элементов конкретной системы является использование проблемно-ориентированного подхода, способного определить наиболее важные элементы системы;

5) несмотря на количество существующих решений большинство направлений индустрии 4.0 всё ещё находятся в состоянии формирования и развития и требуют объёмной узконаправленной доработки перед применением в реальных условиях на функционирующих промышленных объектах.

В соответствии с предложенными методами решения существующих проблем развития информационно-коммуникационных технологий при разработке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений формируется вывод о необходимости скоординированных действий ряда заинтересованных сторон: предприятий отрасли, государства, образовательных учреждений, ученных и исследователей. Данные действия должны быть направлены на формирование благоприятной обстановки для внедрения цифровых решений. Среди основных элементов подобной обстановки можно выделить: достаточное инвестирование и заинтересованность руководителей предприятий, крепкую законодательную основу и адекватные методы государственного стимулирования, своевременную подготовку специалистов в соответствии с требуемыми отраслью компетенциями, и проработанную научную основу, включающую в себя общепризнанные классификации, методы исследований и направления разработок. Выполнение данных условий способно положительно воздействовать на достижение целей четвёртой промышленной революции как в нефтегазовой отрасли, так и во многих других областях.

Литература / References

1. Nguyen T. A systematic review of big data analytics for oil and gas industry 4.0 / T. Nguyen, R.G. Gosine, Warrian P. // IEEE Access. 2020. – № 8. P. 61183–61201. – URL : https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2979678
2. Mohammadpoor M. Big data analytics in oil and gas industry: An emerging trend / M. Mohammadpoor, F. Torabi // Petroleum. – 2020. – № 6(4). – P 321–328. – URL : https://doi.org/10.1016/j.petlm.2018.11.001
3. Analyzing the roles and competence demand for digitalization in the oil and gas 4.0 era / K. Georgiou, N. Mittas, I. Mamalikidis, A. Mitropoulos, L. Angelis // IEEE Access. – 2021. – № 9. – P. 151306–151326. – URL : https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3124909
4. A digital twin-based approach for optimization and prediction of oil and gas production / F. Shen, S.S. Ren, X.Y. Zhang, H.W. Luo, C.M. Feng // Mathematical Problems in Engineering. – 2021. – URL : https://doi.org/10.1155/2021/3062841
5. Azzedin F. Towards an architecture for handling big data in oil and gas industries: Service-oriented approach / F. Azzedin, M. Ghaleb // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2019. – № 10(2). – P. 554–562. – URL : https://doi.org/10.14569/ijacsa.2019.0100269
6. Big Data Related Technologies, Challenges and Future Prospects (2014). Springer. – URL : https://doi.org/10.1007/978-3-319-06245-7
7. Tian G. Research on the application of offshore smart oilfield construction based on computer big data and internet of things technology / G. Tian, P. Han // Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series. – 1992. – № 3. – URL : https://doi.org/10.1088/1742-6596/1992/3/032002
8. Su J. governance facilitate digital transformation of oil and gas industry / J. Su, S. Yao, H. Liu // Frontiers in Earth Science. – 2022. – № 10. – URL : https://doi.org/10.3389/feart.2022.861091580
9. Zuo Y. A blockchain-based IoT framework for oil field remote monitoring and control / Y. Zuo, Z. Qi // IEEE Access. – 2022. – № 10. – P. 2497–2514. – URL : https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3139582

10. Lv H. An energy saving system for a beam pumping unit / H. Lv, J. Liu, J. Han, A. Jiang // Sensors (Switzerland). – 2016. – № 16(5). – URL : https://doi.org/10.3390/s16050685
11. Digital twin for the oil and gas industry: Overview, research trends, opportunities, and challenges / T.R. Wanasinghe, L. Wroblewski, B.K. Petersen, R.G. Gosine, L.A. James, O. De Silva, P.J. Warrian // IEEE Access. – 2020. – № 8. – P. 104175–104197. – URL : https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998723
12. Barricelli B.R. A survey on digital twin: Definitions, characteristics, applications, and design implications / B.R. Barricelli, E. Casiraghi, D. Fogli // IEEE Access. – 2019. – № 7. – URL : https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2953499
13. Tan Y. Augmented and virtual reality (AR/VR) for education and training in the AEC industry: A systematic review of research and applications / Y. Tan, W. Xu, S. Li, K. Chen // Buildings. – 2022. – № 12(10). – URL : https://doi.org/10.3390/buildings12101529
14. Augmented reality system and maintenance of oil pumps / N. Koteleva, G. Buslaev, V. Valnev, A. Kunshin // International Journal of Engineering, Transactions B: Applications. – 2020. – № 33 (8). – P. 1620–1628. – URL : https://doi.org/10.5829/ije.2020.33.08b.20
15. Effects of mobile augmented reality (MAR) towards students' visualization skills when learning orthographic projection / M. Omar, Ali D.F., M. Mokhtar, N.M. Zaid, H. Jambari, N.H. Ibrahim // International Journal of Emerging Technologies in Learning. – 2019. – № 14(20). – P. 106–119. – URL : https://doi.org/10.3991/ijet.v14i20.11463
16. Daling L.M. Effects of augmented reality-, virtual reality-, and mixed Reality – Based training on objective performance measures and subjective evaluations in manual assembly tasks: A scoping review / L.M. Daling, S.J. Schlittmeier // Human Factors. – 2022. – URL : https://doi.org/10.1177/00187208221105135
17. Razmanova S.V. Oilfield service companies as part of economy digitalization: Assessment of the prospects for innovative development / S.V. Razmanova, O.V. Andrukhova // Journal of Mining Institute. – 2020. – Vol. 244(4). – P. 482–492. – URL : https://doi.org/10.31897/PMI.2020.4.11
18. Rasheed A. Digital twin: Values, challenges and enablers from a modeling perspective / A. Rasheed, O. San, T. Kvamsdal // IEEE Access. – 2020. – № 8. – P. 21980–22012. – URL : https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2970143
19. Salkuti S.R. A survey of big data and machine learning / S.R. Salkuti // International Journal of Electrical and Computer Engineering. – 2020. – № 10(1). – P. 575–580. – URL : https://doi.org/10.11591/ijece.v10i1.pp575-580
20. Kumari S. Transformative effects of big data on advanced data analytics: Open issues and critical challenges / S. Kumari, P. Muthulakshmi // Journal of Computer Science. – 2022. – № 18(6). – P. 463–479. – URL : https://doi.org/10.3844/jcssp.2022.463.479
21. Shukla M. Next generation smart sustainable auditing systems using big data analytics: Understanding the interaction of critical barriers / M. Shukla, L. Mattar // Computers and Industrial Engineering. – 2019. – Vol. 128. – P. 1015–1026. – URL : https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.04.055
22. Ray P.P. A survey on internet of things architectures / P.P. Ray // Journal of King Saud University – Computer and Information Science. – 2018. – № 30(3). – P. 291–319. – URL : https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2016.10.003
23. Sahmim S. Privacy and security in internet-based computing: Cloud computing, internet of things, cloud of things: A review / S. Sahmim, H. Gharsellaoui // Paper presented at the Procedia Computer Science. – 2017. – № 112. – P. 1516–1522. – URL : https://doi.org/10.1016/j.procs. 2017.08.050
24. Georgi T. Some security issues with the industrial internet of things and comparison to SCADA systems / T. Georgi, Y. Radoslav, Z. Nataly // SPIIRAS Proceedings. – 2020. – № 19(2). – P. 358–382. – URL : https://doi.org/10.15622/SP.2020.19.2.5
25. Aydos M. Assessing risks and threats with layered approach to internet of things security / M. Aydos, Y. Vural, A. Tekerek // Measurement and Control (United Kingdom). – 2019. – № 52(5–6). – P. 338–353. – URL : https://doi.org/10.1177/0020294019837991
26. Digital twin in hydrocarbon industry / A. Sircar, A. Nair, N. Bist, K. Yadav // Petroleum Research. – 2022. – URL : https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2022.04.001
27. David B.C. Oil and Gas digital twins after twenty years. How can they be made sustainable, maintainable and useful? / B.C. David, W. Arild, M.K. Tiina // Proceedings of the 59th Conference on Simulation and Modelling (SIMS 59). Linköping Electronic Conference Proceedings. – 2018. – № 153:2. – P. 9–16. – URL : https://doi.org/10.3384/ecp181539
28. Towards model-driven digital twin engineering: Current opportunities and future challenges / F. Bordeleau, B. Combemale, R. Eramo, van den Brand M., M. Wimmer // International Conference on Systems Modelling and Management (ICSMM 2020): Systems Modelling and Management. – 2020. – P. 43–54. – URL : https://doi.org/10.1007/978-3-030-58167-1_4

29. Martins B.R. Towards augmented reality for corporate training / B.R. Martins, J.A. Jorge, E.R. Zorzal // Interactive Learning Environments. – 2021. – URL : https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1879872
30. Alzahrani N.M. Augmented reality: A systematic review of its benefits and challenges in e-learning contexts / N.M. Alzahrani // Applied Sciences (Switzerland). – 2020. – № 10(16). – URL : https://doi.org/10.3390/app10165660
31. Третьяков Н.А. Цифровая трансформация арктического нефтегазового комплекса: новые вызовы и возможности / Н.А. Третьяков, А.Е. Череповицын // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2022. – № 25 (1). – P. 17–32. – URL : https://doi.org/10.37614/2220-802X.1.2022.75.002