

УДК 338.2

Р. Ш. МАХМУДОВ, инж.

Институт Информационных Технологий Национальной Академии Наук Азербайджана, г. Баку
(Азербайджанская Республика)

E-mail: rasimmahmudov@gmail.com

Применение киберфизических систем в нефтегазовой промышленности: перспективы и проблемы*

Технологические возможности, созданные 4-й промышленной революцией, обуславливают переход на новый качественный уровень во всех сферах экономической деятельности. Нефтегазовая промышленность является одной из наиболее перспективных областей применения киберфизических систем, в которых используются новые революционные технологии. Успешное применение киберфизических систем в этой области предполагает повышение эффективности, производительности и безопасности. В статье рассматриваются сущность и особенности киберфизических систем, перспективы их применения в нефтегазовой промышленности. Показаны особенности и преимущества применения киберфизических систем во всех процессах и на всех стадиях нефтегазовой промышленности. Приведены примеры использования киберфизических систем в процессе добычи углеводородных ресурсов ведущими мировыми нефтегазовыми компаниями. Также выявлены проблемы, связанные с применением киберфизических систем в нефтегазовой промышленности, показаны пути их решения.

The technological capabilities created by the 4-th industrial revolution determine the transition to a new quality level in all spheres of economic activity. The oil and gas industry is one of the most promising areas for cyber-physical systems application, which use revolutionary new technologies. The successful application of cyber-physical systems in this area implies increased efficiency, productivity and security. The article discusses the essence and features of cyber-physical systems, the prospects for their application in the oil and gas industry. The features and advantages of using cyber-physical systems in all processes and at all stages of the oil and gas industry are shown. Examples of the cyber-physical systems usage in the process of extracting hydrocarbon resources by the world's leading oil and gas companies are given. The problems associated with the use of cyber-physical systems in the oil and gas industry are identified also, and ways to solve them are shown.

Ключевые слова: нефтегазовая промышленность; 4-я промышленная революция; киберфизические системы; Industry 4.0

Key words: oil and gas industry; 4-th industrial revolution; cyber physical systems; Industry 4.0

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня человечество живет в период быстрых перемен, когда технологии способны перестраивать общество, экономику и промышленность. В условиях глобальной конкуренции компании, которые не заинтересованы в новых цифровых технологиях или не могут адаптироваться к ним, обречены на банкротство. Напротив, компании, которые осваивают передовые технологии, становятся более конкурентоспособными и устойчивыми.

Киберфизические системы, в которых используются технологии Industry 4.0, являющиеся основными тенденциями 4-й промышленной революции, играют важную роль в повышении производительности добычи нефти и газа, а также в снижении издержек и затрат. Если мы рассмотрим данный вопрос через призму национальных и общечеловеческих интересов, то можем отметить, что технологии Industry 4.0 являются также важным средством обеспечения энергетической безопасности. Эти технологии играют важную роль в минимизации количества отходов и нанесения ущерба окружающей среде в процессе добычи и переработки нефти и газа, а также для формирования "зеленой экономики".

В целом, киберфизические системы имеют достаточно большой потенциал, чтобы сделать систему снабжения и потребления нефти и газа безопаснее, надежнее, эффективнее и экономичнее.

Сущность и особенности киберфизических систем

Киберфизические системы в основном описываются как системы с децентрализованной системой управления, сформированные в результате слияния физического и виртуального миров с автономным поведением, способными создать общую систему с другими подобными системами и установить глубокое сотрудничество с людьми.

Киберфизические системы используют встроенные программные сенсоры, исполнительные механизмы, устанавливают связи друг с другом и с операторами, обмениваются информацией через интерфейсы, а также хранят и обрабатывают данные, полученные от сенсоров или от сетей.

Первые научные источники о киберфизических системах появились в 2006 году. Это понятие впервые было озвучено на семинаре, проведенном в Американском национальном научном фонде. За последнее десятилетие было написано несколько научных статей, объясняющих это понятие. Согласно одному из исследований, количество научных статей, посвященных этому термину, каждый год увеличивается примерно на 40 %, что демонстрирует быстрорастущий интерес к этому понятию в научных кругах [1]. Кроме того, эти статистические данные показывают, что сфера киберфизических систем быстро расширяется. По мере роста возможностей и приложений киберфизических систем развиваются и научные подходы к их определению и интерпретации. Поэтому между первоначальными подходами в 2006 году и подходами в 2018—2019 годах существуют большие различия.

Киберфизические системы, выступая в качестве объединенных вычислительных систем, устанавливают интенсивные связи с окружающим физическим миром и процессами, которые там происходят, а также обеспечивают доступность их данных и их обработку.

В настоящее время киберфизические системы получили очень широкое применение и охватывают различные области (транспорт, здравоохранение, перерабатывающая промышленность, эксплуатация жилых зданий и т. д.) [2]. Отрасли промышленности являются более заинтересованными в применении подобных систем. В последние годы значительно возросло количество приложений для управления этими отраслями, в связи с чем появился термин "киберфизические производственные системы". Киберфизические системы

позволяют оптимизировать производственные процессы, более эффективно использовать ресурсы и переходить к индивидуализированному производству, ориентированному на человека.

Взаимодействие человека с машиной, социальные аспекты, проблемы кибербезопасности являются одними из ключевых вопросов, которые решаются в киберфизических системах.

Основными целями развития киберфизических производственных систем являются разработка передовых производственных технологий, минимизация негативного воздействия технологий на окружающую среду и разработка гибких (мобильных, интеллектуальных, комплексных, адаптивных) систем.

Киберфизические системы имеют три основные возможности: связь, расчеты и управление. Они основаны на следующих производственно-технологических принципах [3]:

1. Взаимодействие — это возможность посредством киберфизических систем объединения и создания связей между устройствами, сенсорами и людьми.

2. Информационная прозрачность — это создание цифровых моделей с помощью информационных систем виртуальных образов физических процессов на основе информации, получаемой с помощью сенсоров, а также решение киберфизическими системами задач, реализация которых людьми неэффективна или ненадежна.

3. Техническая поддержка — это интеграция, обработка и визуализация информационного потока с целью принятия стратегических решений для решения проблем.

4. Децентрализованные решения — это независимое принятие решений киберфизическими системами по вопросам, которые должны решаться автономно.

Отметим ключевые технологии, которые лежат в основе киберфизических систем. К ним относятся:

— Big Data;

- Искусственный интеллект;
- Интернет вещей;
- Облачные технологии;
- Робототехника;
- 3D печать;
- "Цифровые близнецы";
- "Умные" материалы;
- Блокчейн технологии.

Перспективы применения киберфизических систем в нефтегазовой промышленности

В настоящее время на мировом рынке энергетических ресурсов (углеводородных ресурсов) наблюдается жесткая конкуренция. Это связано не только с геополитическими факторами, но и с геологическими условиями разработки новых и эксплуатации старых месторождений, а также с серьезным давлением со стороны компаний, активно использующих инновационные технологии для снижения затрат во время добычи, обработки и распределения продукции. Все это требует принципиально новых подходов к обеспечению конкурентоспособности отдельных предприятий и всей национальной нефтегазовой промышленности в целом.

Реконструкция нефтегазовой промышленности на основе киберфизических систем требует глобальной трансформации принципов и моделей, основанных на комплексном применении цифровых технологий на всех уровнях производства и инфраструктуры и на всех этапах жизненного цикла взаимодействия в сети, создающих добавленную стоимость.

В нефтегазовом производстве киберфизические системы — это инструмент, который сокращает расстояние между производством и рынком, включая способность быстро реагировать на изменения требований клиентов, общую ситуацию на рынке, повышать качество продукции и эффективность производственных процессов.

Подробные киберфизические системы включают в себя комплексное применение систем, основанных на интеграции информационно-вычислительных ресурсов в физических процессах. Для создания таких систем необходимо собирать, обрабатывать и визуализировать данные, а также необходимы объектно-ориентированные информационные модели, позволяющие унифицировать структуру и параметры данных, модели технических процессов и нормативно-справочная информация.

Типичные объекты применения киберфизических систем в нефтегазовой промышленности следующие [4]:

- нефтяные и газовые месторождения;
- транспортные системы с трубопроводами для транспортировки нефти и нефтепродуктов;
- газотранспортные и газораспределительные сети;
- хранилища нефти и газа;
- нефтегазоперерабатывающие предприятия;
- АЗС.

Киберфизические системы в нефтегазодобывающей промышленности включают в себя следующие компоненты и функции [5]:

- Систему мониторинга, контроля и самодиагностики;
- Каналы связи для обмена информацией о состоянии объектов, мониторинг которых ведется в режиме реального времени;
- Применение математических моделей скважин и контрольных приборов;
- Применение современных технологий прогнозирования;
- Применение технологий интеллектуального анализа данных для обработки неточной информации о залежах;
- Способность работать автономно в случае отключения связи.

Как и в других капиталоемких отраслях, таких как авиация и автомобилестроение, макси-

мальное использование цифровых технологий в нефтегазовом секторе может коренным образом изменить бизнес-модели, а также и операционные модели.

Эффективное применение киберфизических систем позволяет нефтегазовым компаниям достигать следующих целей [6]:

- Расширение сырьевых запасов компании;
- Увеличение объема добычи нефти и газа;
- Сокращение количества несчастных случаев всех видов;
- Повышение производительности компании;
- Повышение безопасности работников;
- Совершенствование операционной деятельности в области добычи, транспортировки и переработки нефти и газа.

Всемирный экономический форум подготовил следующие прогнозы о преимуществах внедрения киберфизических систем в нефтегазовом секторе в ближайшие пять лет, для потребителей и общества в целом [4]:

- Цифровая трансформация может принести 1,6 триллиона долларов в нефтегазовый сектор в целом;
- Если существующие организационные (эксплуатационные) ограничения будут смягчены и применены "футуристические" технологии, такие как когнитивные вычисления, нефтегазовый сектор может увеличить свои доходы дополнительно на 2,5 триллиона долларов США;
- Цифровизация может принести нефтегазовым компаниям доход в размере около 1 триллиона долларов;
- Цифровизация может принести доход обществу в размере около 640 миллиардов долларов. В частности, общество может заработать около 170 миллиардов долларов за счет экономии, около 10 миллиардов долларов — за счет повышения производительности, 30 миллиардов долларов — за счет сокращения использования водных ресурсов и

430 миллиардов долларов — за счет сокращения отходов.

— Отходы могут быть уменьшены примерно на 1300 миллионов тонн, использование воды — на 800 миллионов галлонов, а разлив нефти — на 230 000 баррелей.

Процессы и этапы применения киберфизических систем в нефтегазовой промышленности

Применение киберфизических систем в современной нефтегазовой промышленности охватывает нижеуказанные процессы и этапы [3—6]:

Техническое обслуживание и безопасность. Беспилотные летательные аппараты меняют традиционные методы контроля, чтобы упростить обнаружение потерь нефти и газа в недоступных местах (например, на морских буровых установках).

Расширение возможностей для связи. Повышение уровня интеграции и обмена данными позволяет компаниям оптимизировать уровень производства в режиме реального времени.

Исследования. Основная часть исследований — сейсмическая виртуализация. Этот процесс основан на анализе данных и моделях трехмерной визуализации. Разведочные и добывающие компании, перешедшие к следующему поколению технологий сейсмических изображений, тестируют 4D модели. Такие модели объединяют данные, которые отражают изменения уровня запасов нефти и газа. Эти достижения направлены на более точное определение количества ресурсов и срока службы каждой скважины.

Добыча. Цифровизация процессов бурения создает большие возможности для нефтегазовых компаний. Эти технологии стали очень популярными среди компаний, занимающихся разведкой и добычей. Преимущества этих технологий следующие:

— использование данных сенсоров программного обеспечения для определения того, какие методы бурения имеют наилучшее сочетание песка, воды и химических растворов для достижения максимума производительности скважины;

— автоматизация буровых установок для увеличения производства и снижения затрат;

— оснащение буровых установок интеллектуальными сенсорами для сбора необходимых данных.

Хранение. Ключевой проблемой в этой области является совершенствование системы мониторинга для автоматизации управления соответствующими данными и контроля температуры с целью слежения за уровнем запасов.

Транспортировка. Оснащение вагонов и железных дорог интеллектуальными сенсорами и термодетекторами позволяет в режиме реального времени получать доступ к данным геолокации и контролировать ключевые функции безопасности для минимизации рисков. Кроме того, оснащение интеллектуальными сенсорами нефте- и газопроводы позволяет своевременно обнаруживать утечки и отслеживать давление, температуру и любые деформации в инфраструктуре трубопровода.

Распределение. Прогнозная аналитика позволяет компаниям более точно определять спрос, беспрепятственно передавать необходимую информацию всем точкам поставок и автоматизировать уровень производства.

Современные технологии, применяемые в нефтегазовой промышленности на основе киберфизических систем

Сегодня ведущие мировые нефтегазовые компании успешно используют возможности киберфизических систем для повышения эффективности, производительности и безопасности производственного процесса. Благодаря

ря использованию этими компаниями киберфизических систем, большие объемы нефти и газа были извлечены из месторождений, расположенных в неудобных районах, которые ранее считались недоступными или не перспективными.

Ниже приведены некоторые примеры технологий, разработанных и успешно применяемых передовыми нефтегазовыми компаниями на основе киберфизических систем [7—10].

Роботизированная буровые системы. Robotic Drilling Systems разрабатывает роботизированную буровую установку для быстрого, бесперебойного и полностью беспилотного использования труб и инструментов. Для разработки и внедрения роботизированной буровой системы эта компания сотрудничает с Energid Technologies и Odfjell. В ходе разработки этой системы компания представила три основных новшества: электрическую буровую установку, динамическую систему управления роботом и буровой робот, заменяющий ручной труд. Эта система может быть установлена на вновь созданных буровых платформах или добавлена к существующим системам. Предварительные исследования показывают, что эта система в значительной степени экономит время и затраты на обслуживание, делает процесс бурения и установки более точным, а также создает меньше шума и отходов.

Применение когнитивных расчетов в горных работах. Компания Repsol стремится использовать преимущества когнитивных технологий в добывающей промышленности в партнерстве с IBM. В настоящее время только 20—25 % скважин, пробуренных компаниями на шельфе, являются успешными, потому что решения по бурению основаны на очень ограниченной информации. Когнитивные технологии же способны быстро собирать, анализировать и моделировать большие объемы информации различного рода. Это значительно снижает уровень риска, связанного с буровыми работами. Компания Repsol разработала

два прототипа для совершенствования механизма принятия стратегических решений с целью оптимизации производственного процесса. Когнитивные технологии помогают компании Repsol повысить производительность существующих нефтегазовых месторождений и снизить риски при освоении новых ресурсов.

Использование специальных сенсоров для увеличения производительности пластов. Компания BP разработала специальные сенсоры для увеличения производительности пластов. Эти сенсоры достаточно чувствительны, чтобы измерять гравитацию Земли порядка одного миллиарда. Кроме того, сенсоры достаточно малы и достаточно надежны, чтобы транспортировать их в скважину для различения нефти и воды. Эти устройства за счет повышения способности наблюдать за нефтяными месторождениями помогают предотвратить разрушительное воздействие воды, попадающей в производственный процесс. Расчеты показывают, что эти сенсоры могут увеличить производительность старых пластов на 2 %.

Прогностические технологии технического обслуживания. Компания Apache использует прогностические технологии технического обслуживания. Цель состоит в том, чтобы предсказать возможные отказы критического оборудования. С этой целью компания Apache сотрудничает с компанией Ayata. Ранее в результате отказов электронных погружных насосов компания Apache теряла 10 000 баррелей нефти в день. В результате применения прогностических технологий производственные потери были значительно снижены, а производительность возросла из-за увеличения бесперебойной работы оборудования.

Интеллектуальные газопроводные технологии. Компания Columbia Pipeline Group применяет интеллектуальную технологию газопроводов. С этой целью компания сотрудничает с компаниями Accenture и GE.

Для применения этой технологии интегрируются данные из нескольких источников (включая ГИС-технологии, диспетчерские центры, геологические и природоохранные агентства). Интеллектуальная технология газопроводов позволяет определять опасности, а также воздействия на окружающую среду.

Технологии моделирования 3D-печати.

Компания Shell использует технологию 3D-печати для моделирования различных технологических задач. В результате использования этой модели на новой буровой станции было сэкономлено 40 млн. долларов.

Проблемы, связанные с применением киберфизических систем в нефтегазовой промышленности

При реализации возможностей и задач 4-й промышленной революции, при применении их в киберфизических системах нефтегазовые компании сталкиваются с рядом проблем. Исследование, проведенное в 2018 году аналитической компанией PWC, выявило проблемы с цифровыми преобразованиями в нефтегазовой отрасли [9]. Для решения этих проблем важно увеличить инвестиции в процессы цифровизации, обучения и приобретения технологий. Проблемы в этой области можно сгруппировать следующим образом [4, 9, 10]:

Управление. Консервативное мышление, отсутствие понимания, оценки или принятия инноваций менеджерами является одним из факторов, препятствующих применению цифровых технологий.

Регулирование. Одна из основных проблем, связанных с применением цифровых технологий в нефтегазовом секторе, связана с нормативно-правовой базой. Так, регулирование общественных отношений, связанных с применением новых технологий, решение вопросов юридической ответственности требует совершенствования действующего законодательства и утверждения новых правовых норм.

Существующие правила безопасности данных уже не соответствуют новым требованиям. Границы интеллектуальной собственности пока еще не адаптированы к условиям эпохи Big Data. Кроме того, у поставщиков, операторов и подрядчиков существует неопределенность в отношении распределения полномочий овладения информацией и получения доступа к ней.

Стандартизация. Одним из необходимых условий для применения новых технологий является разработка соответствующих стандартов. Большая часть данных, получаемая от сенсоров, не стандартизирована и не интегрирована в разные платформы.

Кадровое обеспечения. Одна из важных проблем связана с кадрами. Людей, которые могут работать с новыми технологиями, недостаточно, а их обучение занимает определенное время. Кадровый состав существующего нефтегазового сектора также стареет: согласно статистике 2018 года, средний возраст работников в этом секторе в мире составляет 42,7 года. Этот показатель на 41 % выше, чем в 2014 году. В то же время полное покрытие производственных процессов цифровыми технологиями в соответствующих компаниях создает большой спрос на сотрудников с цифровыми навыками. Для решения этой проблемы возникает острая необходимость в специалистах, которые освоили бы передовые технологии.

Кибербезопасность. По мере повышения уровня цифровизации в нефтегазовой сфере количество кибератак в этой сфере будет увеличиваться. Персонал, вычислительные устройства, инфраструктура, программное обеспечение, услуги, телекоммуникационные системы, базы данных будут находиться под угрозой. Согласно опросу, проведенному аналитической компанией Accenture в 2019 году, ведущие мировые нефтегазовые компании больше всего озабочены обеспечением кибербезопасности вследствие применения киберфизических систем и технологий Industry 4.0.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование в компаниях нефтегазовой сферы инновационной культуры и экосистемы для успешной реализации возможностей, созданных 4-й промышленной революцией, для эффективного применения киберфизических систем, технологий Industry 4.0. является важной задачей.

Прежде всего, для руководителей высшего звена важно установить приоритет цифровизации. Как и любая инновация, цифровое преобразование требует высокого уровня поддержки. Эти приоритеты включают четкое видение, выделение ресурсов и средств, а также оперативное управление изменениями.

Еще одной важной задачей является формирование культуры инноваций и технологий. Компании должны быть открыты для новых идей и методов работы и должны поддерживать их.

Инновации очень важны для успеха нефтегазовых компаний. Но более важно привлекать или развивать человеческие ресурсы, которые несут инновационные идеи. Инвестирование в человеческий капитал и реализация новых программ, развивающих цифровое мышление, также являются важными задачами. Таким образом, кадры, ориентированные на цифровые технологии, могут стать ключевым звеном, обеспечивающим цифровые преобразования.

Реконструкция архитектуры базы данных компаний является одним из необходимых условий. Данные являются основой цифрового преобразования, поэтому унификация, интеграция и совместимость информационных платформ также является важной задачей.

Необходимо разработать правовой режим и международные стандарты данных в соответствии с требованиями эпохи Big Data. Это включает в себя обмен информацией и безопасность, а также установление правовых отношений и стандартов для повышения прозрачности операций. Также должны быть реше-

ны вопросы, связанные с признанием статуса информации, полученной от сенсоров, в качестве интеллектуальной собственности.

Как и в любой области, самым слабым местом цифровизации в нефтегазовой промышленности является кибербезопасность. В связи с этим применение киберфизических систем, технологий Индустрии 4.0 в нефтегазовой промышленности должно сопровождаться принятием соответствующих мер кибербезопасности, для которых необходимо заранее разработать соответствующую политику, решить вопросы инвестиций и кадрового обеспечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cardin O.* Classification of cyber-physical production systems applications: proposition of an analysis framework // *Computers in Industry*. 2019. Vol. 104. P. 11—21.
2. *Boubekur M.* Industrial applications for cyber-physical systems / 2017 First International Conference on Embedded & Distributed Systems. 17—18 Dec. 2017, DOI: 10.1109/EDIS.2017.8284020
3. *Song H., Rawat D., Jeschke S., Brecher C.* Cyber-Physical Systems: Foundations, Principles and Applications / 1st Edition, Academic Press, 2017. 144 p.
4. *World Economic Forum*, Digital Transformation Initiative / Oil and Gas Industry, January 2017, 36 p.
5. *Kravets A. G., Bolshakov A. A., Shcherbakov M. V.* Cyber-Physical Systems: Industry 4.0 Challenges // *Springer Nature*. 2019. 340 p.
6. *Lu H., Azimi M., Guo L., Huang K.* Oil and Gas 4.0 era: A systematic review and outlook // *Computers in Industry*. 2019. Vol. 111. P. 68—90.
7. *BP Annual Report and Form 20-F 2018*. Growing the business and advancing the energy transition / BP p.l.c., 2019. 325 p.
8. *Mohammadpoor M., Torabi F.* Big Data analytics in oil and gas industry: An emerging trend // *Petroleum*, 1 December 2018, <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2018.11.001>
9. *PWC*. Oil and Gas Trends 2018-19, <https://www.strategyand.pwc.com>
10. *Accenture*. Research report, February 10, 2020. The search for value: Trends in digital investment, <https://www.accenture.com/gb-en/insights/energy/trends-digital-investment>

* Данная работа выполнена при финансовой поддержке Научного фонда Государственной нефтяной компании Азербайджанской Республики (Контракт № : 03LR — AMEA).