

Научная статья

Original article

УДК 33

doi: 10.55186/2413046X\_2024\_9\_5\_263

**ТЕНДЕНЦИИ ЦИФРОВИЗАЦИИ ХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ В  
РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ**  
**TRENDS IN THE DIGITALIZATION OF THE CHEMICAL INDUSTRY IN  
RUSSIA AND ABROAD**



**Дайнеко Денис Валерьевич**, к.э.н., старший научный сотрудник, Отдел региональных экономических и социальных проблем, Иркутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Email: [dvdayneko@mail.ru](mailto:dvdayneko@mail.ru)

**Dayneko Denis Valeryevich**, Ph.D. in Economics, Senior Researcher, Department of Regional Economic and Social Problems, Irkutsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Email: [dvdayneko@mail.ru](mailto:dvdayneko@mail.ru)

**Аннотация.** Современные вызовы экономического развития привели к цифровизации химической промышленности России в рамках международной концепции "Индустрия 4.0". Среди ключевых развивающихся тенденций цифровизации химической промышленности выделяются и обсуждаются следующие: большие данные и продвинутая аналитика, Интернет вещей, имитационное моделирование и цифровые двойники, технология блокчейн, специализированное программное обеспечение, дополненная и виртуальная реальность, облачные вычисления, искусственный интеллект и машинное обучение, кибербезопасность и

конфиденциальность данных, мобильные приложения. Несмотря на то, что проблема оценки и измерения уровня цифровизации все еще существует, особенно в химической промышленности, был назван ряд индексов для оценки цифровизации. Среди них индекс I-DESI, который предлагается использовать в будущем в международном масштабе. Современные химические предприятия как в России, так и в других странах используют цифровые технологии, поскольку они повышают эффективность, ускоряют внедрение инноваций, повышают безопасность и создают новые бизнес-модели в условиях растущей конкуренции. Различные ведущие химические компании уделяют особое внимание инвестициям в цифровизацию своего производства, поскольку это способствует устойчивому развитию их бизнеса.

**Abstract.** Modern challenges of economic development have led to the digitalization of the Russian chemical industry within the framework of the international concept "Industry 4.0". Among the key emerging trends in the digitalization of the chemical industry, the following are highlighted and discussed: big data and advanced analytics, the Internet of Things, simulation and digital twins, blockchain technology, specialized software, augmented and virtual reality, cloud computing, artificial intelligence and machine learning, cybersecurity and data privacy, mobile applications. Despite the fact that the problem of assessing and measuring the level of digitalization still exists, especially in the chemical industry, a number of indices have been named to assess digitalization. Among them is the I-DESI index, which is proposed to be used internationally in the future. Modern chemical enterprises both in Russia and in other countries use digital technologies because they increase efficiency, accelerate innovation, increase safety and create new business models in an increasingly competitive environment. Various leading chemical companies pay special attention to investments in the digitalization of their production, as this contributes to the sustainable development of their business.

**Ключевые слова:** цифровизация, кибербезопасность, технология блокчейн, химическая промышленность

**Keywords:** digitalization, cybersecurity, blockchain technology, chemical industry

### **Вступление**

Недавняя неопределенность, вызванная пандемией COVID-19, санкциями и геополитическими вызовами, привела к ограничениям в цепочке поставок, а увеличение затрат на рабочую силу и материалы ограничило рост и прибыльность химических компаний. По мере того как мировая промышленность восстанавливается после последствий пандемии COVID-19, производители химической продукции также увеличивают инвестиции в цифровизацию своей деятельности.

Среди основных вызовов, стоящих перед химической промышленностью России, - импортозамещение и цифровизация, которые поставили перед отраслью огромное количество необычных задач. Такие обстоятельства, а также стремление к развитию и технологической независимости диктуют новые условия, в которых компаниям приходится решать задачи, которые для них несколько не актуальны. Например, техническая поддержка существующих IT-решений, поиск новых локальных импортозамещающих решений на рынке, самостоятельная разработка отечественных программных продуктов, способных заменить уходящие с рынка. Таким образом, бизнес по-прежнему сосредоточен на задачах, которые решаются в производственном цикле, но, кроме того, существует необходимость решать задачи, которые не характерны для отрасли.

Кроме того, среди глобальных проблем химической отрасли можно выделить следующие: ограниченный доступ к рынкам, технологиям и капиталу; изменения в цепочках поставок; нехватка профессиональных кадров в IT-секторе, которые могли бы быть задействованы в работе на благо химической и нефтехимической промышленности страны.

### **Обсуждение**

За последние несколько лет химическая промышленность пережила значительный рост в сфере инноваций основанных на цифровых технологиях (ИТ). Такие цифровые инновации способствуют не только эволюции, но служат и предпосылкой для революционных изменений в различных аспектах химической отрасли, включая управление логистикой, взаимодействие с клиентами, процессы производства и научно-исследовательские проекты. Сегодня среди ключевых тенденций цифровизации в химической отрасли можно выделить следующие: 1) большие данные (BD) и продвинутая аналитика данных (AA), 2) Интернет вещей (IoT) и/или промышленный Интернет вещей (IIoT), 3) Цифровые двойники (DTs) и имитационное моделирование (SM) и 4) технический блокчейн (TB), 5) специализированное программное обеспечение (софт), 6) дополненная реальность (AR) и виртуальная реальность (VR), 7) облачные вычисления (CC), 8) искусственный интеллект (AI) и машинное обучение (ML), 9) кибербезопасность и конфиденциальность данных, 10) мобильные приложения (MA).

### **Большие данные и продвинутая аналитика**

Объемы данных, которые генерируются сегодня на любом химическом производстве, поистине ошеломляют. Поэтому для анализа таких данных используют передовые аналитические технологии и алгоритмы ML, которые позволяют специалистам выявлять закономерности и аномалии и принимать решения, основанные на полученных данных, для улучшения работы предприятий. Так, например, алгоритмы используемые для прогнозирующего технического обслуживания способны предсказать, когда может выйти из строя оборудование, обеспечивая, таким образом, упреждающий ремонт [1].

Химическая промышленность использует передовые методы AA и AI для получения актуальной информации из огромных объемов BD. Эти технологии направлены на оптимизацию процессов в компаниях, повышают качество продукции и позволяют прогнозировать отказы оборудования.

Алгоритмы AI также помогают в поиске новых формул, например, для лекарств, и в разработке новых материалов, анализируя обширные массивы данных и выявляя закономерности, которые ученые могут просто упустить в своих исследованиях. Среди решений, предлагаемых отечественными разработчиками для химической промышленности в сфере BD, можно назвать, например, следующие: единое корпоративное хранилище данных, системы аналитики в реальном времени, расчеты бизнес-логики на больших массивах данных [2].

Алгоритмы AA играют все более важную роль в химическом производстве, поскольку позволяют получать и анализировать большие массивы данных в режиме реального времени. Используя современные методы и инструменты для анализа данных, производители получают представление о различных аспектах производственных и логистических процессов, включая контроль качества выпускаемой продукции.

Как и во многих других отраслях промышленности, анализ BD в химическом производстве является одним из способов оптимизации производственных процессов и устранения рисков. Химики определяют направления, в которых процессы могут быть улучшены, на основе полученных данных о таких факторах, как, например, расход, температура, давление и другие. Как результат это приводит к улучшению эффективности предприятия, повышению качества продукции и снижению затрат на производство.

Применяемые процедуры анализ данных также используются для мониторинга оборудования и предотвращения потенциальных проблем. Получив и обработав данные об исправности и производительности оборудования, операторы могут выявить закономерности, указывающие на необходимость технического обслуживания или ремонта, что помогает предотвратить дорогостоящие аппаратные сбои и/или сократить время простоя.

Такая аналитика данных помогает улучшать процессы производства и технического обслуживания оборудования и совершенствовать логистику на предприятиях. Фактически, анализ данных о поставщиках позволяет производителям выявлять направления требующие улучшения и совершать более точные закупки. Что позволяет обеспечивать надежные поставки материалов и сырья, минимизировать затраты и сокращать сроки выполнения заказов.

Кроме того, такая аналитика данных, предоставляя производителям возможность получать информацию о различных аспектах процессов производства в режиме реального времени, представляет потенциал для модернизации химического производства. Используя современные методы и инструменты анализа данных, производители оптимизируют производственные процессы, могут снизить затраты и улучшить качество продукции. В результате наблюдается повышение отдачи и прибыльность и улучшение конкурентных преимуществ предприятий в химической отрасли.

### **Интернет вещей**

Сегодня на химических заводах в развитых странах и на предприятиях химической промышленности в России для мониторинга и управления операциями в режиме реального времени устанавливаются многочисленные устройства IoT. Такие устройства собирают данные о различных параметрах производства. Например, о химическом составе, давлении, температуре, что позволяет операторам оптимизировать процессы производства и выявлять и устранять аномалии. Устройства IoT также способствуют безопасности за счет соответствующих предупреждений о потенциальных опасностях и существенно облегчают удаленный мониторинг критически важного оборудования.

Каждый год специалисты в разных странах публикуют отчеты о рынках химических технологий, в которых освещаются различные технологии, используемые в химической промышленности. Так, AMR опубликовала

отчет о IoT на рынке химической промышленности, в котором подробно рассматриваются области применения IoT в химической промышленности [3].

Концепция IoT используется в химической отрасли для повышения эффективности продуктивности и производственной безопасности. IoT позволяет подключать периферийные устройства, датчики и другие приборы через сеть Интернет, и в режиме реального времени собирать и анализировать необходимые данные. IoT используется в химической отрасли для мониторинга и контроля различных показателей производственных процессов.

Так одним из примеров использования в химическом производстве IoT является применение датчиков контроля состояния оборудования. Такие датчики могут определять состояние оборудования и его отклонения от обычных стандартных параметров, что позволяет предотвращать поломки и/или проводить своевременное техническое обслуживание, а также сокращать время простоя или, например, избегать дорогостоящего ремонта.

Другой пример применения IoT в химической отрасли - использование соответствующих датчиков для контроля в процессе производства качества выпускаемой продукции. Анализ полученных таким образом данных о качестве продукции в режиме реального времени, позволяет не только выявлять, но и устранять проблемы еще до того, как они становятся очевидными, что помогает сократить количество отходов и улучшает качество выпускаемых продуктов.

Среди решений, которые уже предлагаются для химической отрасли отечественными разработчиками в сфере IIoT отметим следующие: геопозиционирование персонала и оборудования, мониторинг физиологического состояния сотрудников и промышленного оборудования, автоматизацию технологических процессов и производств, использование

специфичной для химической отрасли системы радиочастотной идентификации (RFID) в промышленности [4].

В России проекты с использованием технологии ИИТ уже реализуются в химической промышленности, но количество таких проектов незначительно, т.е. фактически российские предприятия химической отрасли испытывают значительное отставание от мировых лидеров, успешно внедряющих подобные технологии. Примером использования таких промышленных систем в химической промышленности России является отечественный опыт учета и инвентаризации имущества в одном из подразделений холдинга "Сибур", одной из наиболее динамично развивающихся компаний мировой нефтехимической отрасли, которая является российским лидером в производстве полимеров и каучуков. Здесь реализована автоматическая идентификация как основных средств, так и товаров, имеющих материальную ценность, с использованием RFID и штрих-кодов. Внедрена система оперативного учета и инвентаризации, произведена маркировка и инвентаризация объектов, налажен обмен с внешними системами, персонал обучен работе с системой. В результате был подсчитан эффект, которого они достигли после реализации этой технологии. Если на инвентаризацию, которая была проведена в "Портэнерго" ранее, требовалось около 3,5 месяцев, то на месте это занимает 12 дней. Показатель эквивалентной занятости полный рабочий день (FTE) снизился в пять раз по сравнению с предыдущими показателями. Стоимость этого процесса в пересчете на время в год была значительно снижена: 528 часов = 3,5 месяца = 0,292FTE до внедрения решения и 100 часов = 12 дней = 0,055FTE после внедрения технологии.

### **Цифровые двойники и имитационное моделирование**

Другим важным цифровым решением для химической отрасли являются DTs, то есть виртуальные копии физических активов или процессов. DTs используются в химической отрасли для моделирования и оптимизации

сложных процессов производства. Технология DTs получает все большее распространение в химическом производстве. Цифровой двойник в химической промышленности - это не просто копия физического продукта или процесса, а виртуальная структура, полностью повторяющая химическое предприятие. Более того, она включает в себя моделирование всех химических процессов, технологических узлов, конструкций, транспортной инфраструктуры, логистики и документооборота. По сути, это точная копия существующего предприятия, в которой все параметры могут быть точно изменены и скорректированы с целью моделирования соответствующих различных бизнес-ситуаций химического предприятия. Таким образом, моделируя химические реакции и производственные процессы в цифровой среде, производители могут тестировать не только различные сценарии, но и оптимизировать процессы производства и минимизировать стоимость и время проводимых экспериментов и производственных циклов. Некоторые химические предприятия благодаря интеграции данных с устройств IoT в режиме реального времени с имитационными моделями, также могут прогнозировать и оптимизировать результаты технологических процессов, повышать энергоэффективность и сокращать количество выбросов и отходов.

Примером успешного имитационного моделирования с использованием цифрового двойника в российской химической промышленности является ОАО "Щекиноазот", которое является одним из ведущих химических предприятий России, расположенным в Тульской области. Здесь используются передовые технические решения в области технологий и оборудования, а также современные решения в области автоматизации систем управления технологическими процессами для решения задач управления этим оборудованием. Поэтому цифровые технологии успешно внедряются в рамках этапов устойчивого развития производства. Использование цифровых систем управления во многом привело к

сокращению числа операторов и минимизации рисков, связанных с человеческим фактором. Компания "Щекиноазот" создает цифровые производственные двойники, основанные на моделировании передовой системы управления производством в соответствии с концепцией «Индустрии 4.0». Для поддержания жизненного цикла продукции на предприятии проводятся различные модернизации и усовершенствования технологий. Цифровая модель позволяет реализовать это с учетом всех возможных изменений в производстве, прежде чем принимать решение о реальном производстве. Программный проект, выполненный на симуляторе, является портативным для реализации в реальном производстве, т.е. возможно полностью интегрировать модель в реальное производственное предприятие. Компания "Щекиноазот" продолжает сотрудничать с ведущими мировыми компаниями в этой области, такими как Honeywell, Yokogawa, Emerson.

### **Технический блокчейн**

Согласно определения технология блокчейн - это децентрализованная цифровая система учета, которая может безопасно и прозрачно регистрировать транзакции и данные. В химическом производстве она улучшает логистику и отслеживание продукции, повышает сохранность и безопасность данных.

Одним из способов использования блокчейна в химическом производстве является повышение прозрачности цепочки поставок. ТВ улучшает гарантии, что все участники цепочки поставок имеют доступ к одной и той же информации, создавая безопасную и прозрачную запись транзакций, что снижает риск мошенничества и повышает доверие между сторонами. С помощью ТВ производители могут отслеживать продукцию от производства до поставки. ТВ также может оптимизировать такие процессы, как закупки, управление материалами и запасами с соблюдением нормативных требований.

ТВ обеспечивает прозрачность и защиту от несанкционированного доступа к записям транзакций, что упрощает и отслеживание происхождения и перемещения как сырья так и готовой продукции и, в свою очередь, повышает надежность партнеров по всей цепочке поставок. ТВ помогает выявить потенциальные проблемы и улучшает контроль качества. Например, в случае отзыва продукции менеджмент компании может быстро определить затронутые продукты и отследить их происхождение.

Такая технология также часто используется для повышения безопасности данных. Используя децентрализованную систему учета, производители могут безопасно хранить данные и обмениваться ими без необходимости в централизованных полномочиях. Это помогает снизить риск утечки данных и повысить их конфиденциальность.

### **Специализированное программное обеспечение**

Специализированное программное обеспечение было встречено в химической отрасли как с энтузиазмом, так и с опасением, учитывая многогранный и традиционный характер отрасли. Прежде всего, это мощный инструмент, с помощью которого инженеры-химики и технологи могут, например, виртуально моделировать, анализировать и визуализировать сложные химические процессы, предоставляя ценную информацию для последующей оптимизации процессов. Ключевыми преимуществами современного программного обеспечения для моделирования процессов являются следующие: улучшенное понимание процессов и их оптимизация; более точное планирование по времени и затрат на проведение экспериментов; улучшение безопасности процессов за счет выявления потенциальных опасностей; оптимизация энергопотребления и использования ресурсов; а также повышение качества выпускаемой продукции.

Сегодня химические предприятия могут раскрыть свой потенциал благодаря комплексной интеграции IT технологий в производство и

дистрибуцию. Ключевым инструментом для этих процессов является софт разрабатываемый для химической отрасли.

### **Дополненная и виртуальная реальность**

Для обучения, технического обслуживания и визуализации процессов в химической отрасли используются технологии AR и VR, которые позволяют операторам получать инструкции и информацию, отображаемые в поле их зрения в режиме реального времени, что также повышает безопасность и производительность труда. Виртуальное моделирование часто используется в учебных целях, позволяя сотрудникам практиковаться, например, в чрезвычайных, критических или опасных ситуациях без реального риска.

В будущем планируется также создавать виртуальные копии реальных семинаров для сотрудников, чтобы обучать работников в среде VR/AR и ежеминутно отслеживать эффективность производственных и бизнес-процессов на интерактивных панелях мониторинга.

### **Облачные вычисления**

Сегодня СС обеспечивают масштабируемую и экономичную инфраструктуру для хранения и обработки больших массивов данных о химических и других процессах, что позволяет компаниям использовать аналитику BD, выполнять сложное моделирование и эффективнее адаптироваться к меняющимся условиям рынка. Платформы СС также облегчают обмен данными и кооперацию между всеми заинтересованными сторонами. Технология СС позволяет пользователям через Интернет получать доступ к общим вычислительным ресурсам, таким как серверы, хранилища и приложения. СС в химическом производстве обладают потенциалом для улучшения совместной работы, управления массивами данных и улучшения операционной эффективности.

Одним из вариантов использования СС на химическом производстве является улучшение взаимодействия между коллективами и организациями. Являясь централизованной платформой для обмена данными и

коммуникаций, облачные вычисления помогают устранить фрагментацию и упростить взаимодействие между подразделениями, филиалами и отдельными компаниями. Что позволяет ускорить разработку продуктов, усовершенствовать процесс принятия решений и сократить время их вывода на рынок.

Другой способ использования СС в химическом производстве – это совершенствование менеджмента данных и повышение операционной эффективности. Производители могут легко улучшать безопасность своих данных и минимизировать риски их потерять, а также обеспечить к ним доступность, сохраняя большие массивы данных на облачных серверах. СС используется для анализа ВД и получения аналитики, которая в химической отрасли может послужить основой для разработки новых продуктов и оптимизации производства. Теперь химики могут оптимизировать производственные операции, автоматизировать задачи и уменьшить необходимость ручного управления при использовании облачных программных приложений. Это помогает уменьшить затраты, повышает качество производимой продукции и производительности.

В наши дни поставщики облачных технологий и AI в России работают над ускорением цифровизации химической отрасли с использованием частных и гибридных облаков. Благодаря внедрению СС сокращается время на разработку и развертывание частных решений, снижается общая стоимость владения информационными системами, рационально используются ресурсы. Одним из примеров отечественных программ является технологическая платформа Evolution Stack.

### **Искусственный интеллект и машинное обучение**

Будущие пути цифровой трансформации - это AI и ML. По мере дальнейшего развития AI и ML, их роль в химическом производстве все более возрастает. AI способен анализировать огромные массивы данных и генерировать идеи и скрытые подсказки, а ML алгоритмы могут

усовершенствовать управление многими процессами производства и улучшать качество производимой продукции. Также в связи с использованием AI и разработкой автономных производственных систем наблюдается и оптимизация химических реакций на производстве [5]. Сегодня AI в химическом производстве уже обладает потенциалом для существенного улучшения процессов, совершенствования разработки продукции и оптимизации операционной эффективности.

Следует также отметить появление в химической отрасли генеративного искусственного интеллекта (GenAI) для больших языковых моделей (LLM). GenAI способен генерировать новую информацию различных типов, включая текст, на основе данных из обучающего набора. Он также может создавать изображения, видео, музыку и код в ответ на запросы пользователей. На сегодняшний день GenAI является наиболее перспективным способом создания, например, цифровых сотрудников и экспертов, которые обрабатывают запросы и отвечают на них на естественном человеческом языке.

Используя AI алгоритмы для анализа больших массивов данных, производители могут выявлять новые возможности продукта, разрабатывать рецептуры и ускорять циклы разработки. Использование AI в химическом производстве способствует трансформации отрасли за счет оптимизации процессов, совершенствования разработки продукции и повышения операционной эффективности. Производители в химической отрасли могут улучшить распределение ресурсов, сократить время выполнения заказов и увеличить объем заказов за счет внедрения систем планирования, маршрутизации и других задач, основанных на AI.

Внедряя AI технологии производители получают конкурентные преимущества и лучше удовлетворяют потребности своих клиентов. Примерами задач, которые могут быть решены в химической отрасли с

использованием AI алгоритмов, являются следующие: задачи оптимизации и сценарного моделирования и задачи генерации цифровых двойников.

Важной проблемой является интеграция в химические процессы, особенно учитывая стремительное развитие AI в последние годы. AI открывает перед химиками огромные новые горизонты - от непосредственного внедрения в рабочие процессы до создания новых химических элементов с использованием GenAI и, как следствие, ускорения научных исследований.

Говоря об использовании GenAI в химической отрасли, и в том числе нефтехимической промышленности, можно выделить решение следующих трех категорий задач, на решение которых разработчики направляют свои средства и усилия: 1. Общие задачи, которые включают сокращение времени на обработку документации, анализ полученных данных и принятие решений, автоматизацию рутинных задач и снижение вероятности ошибок, поддержку в поиске новых идей и решений за счет обработки больших массивов информации, помощь в оптимизации производственных процессов и улучшение качества продукции; 2. Исследовательские задачи - автоматический поиск и обобщение научных статей, автоматизация поиска патентов и технической документации по заданным темам, ускорение процесса исследований и разработок новых химических соединений или технологий; 3. Работа с персоналом - разработка учебных материалов, инструкций и руководств на основе новейших научных исследований и лучших отраслевых практик. Модели LLM позволяют адаптировать сложные технические концепции к различным уровням знаний сотрудников, что упрощает процесс обучения сотрудников благодаря доступу к актуальным и понятным материалам [6].

Отдельный блок, который мы рассматриваем – это глубокое обучение, компьютерное зрение и видеоаналитика. Здесь мы выделяем такие задачи, как, например: промышленная безопасность; ситуационная видеоаналитика

на производстве; системы видеоконсультирования в режиме реального времени; выявление нарушений техники безопасности на основе наблюдения с установленных видеокамер; обнаружение дефектов на конвейерной линии; распознавание дефектов и выявление их причин; промышленная дефектоскопия на производстве и оптимизация производственных циклов на основе накопленных видеоданных или, например, распознавание номеров контейнеров и платформ.

Разработкой продуктов ML в России занимаются многие компании. Однако таких отечественных разработчиков для производства химикатов очень мало. Одним из успешных примеров разработки решений на базе ML является компания Digital Technologies and Platforms, которая является структурным подразделением корпорации "ЕвроХим".

Создание экосистемы в "Еврохиме" является одним из важных шагов, позволяющих ускорить внедрение, эксплуатацию и поддержку цифровых продуктов для химических компаний в России. В рамках такой экосистемы разрабатываются и обучаются модели, использующие технологии AI и ML. В то же время положительные эффекты от внедрения проектов ML на предприятии включают как связанные с улучшением цифровизации предприятия, так и ускорением разработки новых моделей AI. Сотрудники компании уже используют запущенную на предприятии собственную платформу ML, для разработки, обучения и мониторинга AI продуктов.

В 2022 году ЗАО "ЕвроХим" также запустило цифровые консультанты для увеличения производства азотной и фосфорной кислоты. Прогнозируемый экономический эффект от внедрения цифровых продуктов составляет пять миллиардов рублей. Эффект от реализации проекта позволил снизить потребление природного газа на 5,5% и повысить эффективность увеличения выхода моногидрата азотной кислоты на 3,5%. Производственный персонал может быстро принимать решения и изменять параметры управления. Также был разработан цифровой советник по

производству минеральных удобрений. Потенциал для повышения производительности производства фосфорной кислоты оценивается в диапазоне от 900 до 5500 тонн в год.

### **Кибербезопасность и конфиденциальность данных**

Кибербезопасность приобретает все большее значение по мере роста интеграции цифровых технологий. Сегодня производители химической продукции вынуждены инвестировать в надежные меры кибербезопасности для защиты своих конфиденциальных данных и критически важной инфраструктуры от любых киберугроз. Правила конфиденциальности данных также требуют строгого соблюдения.

Как и на многих предприятиях, для обеспечения кибербезопасности на химических производствах используются брандмауэры, антивирусное программное обеспечение и другие средства компьютерной и сетевой безопасности для предотвращения несанкционированного доступа. Что помогает защитить от киберугроз конфиденциальные данные, продукты интеллектуальной собственности, производственные и коммерческие секреты, информацию о клиентах и поставщиках.

Еще одним способом обеспечения кибербезопасности на химических предприятиях является шифрование для защиты данных во время передачи и в режиме ожидания. Это может гарантировать сохранность данных, даже если они будут перехвачены возможными злоумышленниками.

Кибербезопасность также реализуется с помощью программ обучения и повышения осведомленности сотрудников. Именно так производители снижают риск кибератак, обучая сотрудников передовым методам защиты данных от киберугроз, а также тому, как выявлять подозрительные действия и сообщать о них.

### **Мобильные приложения**

Для повышения эффективности технологических процессов, и производительности, улучшения качества продукции на химическом

производстве могут использоваться различные МА. Приложения для мобильных устройств, представляют собой программы, предназначенные для работы на мобильных устройствах, например, таких как смартфоны и планшеты, или портативные системы для быстрого химического анализа.

Многие предприятия химической промышленности уже повысили эффективность своих продаж, логистики поставок и закупок, используя мобильные устройства и приложения. Они улучшили связь между четырьмя основными сферами бизнеса: оборудованием, материалами, работниками и рынком, поддерживаемую мобильными технологиями.

Кроме того, мобильные приложения улучшают управление активами. Сегодня предприятия могут использовать такие мобильные решения в зависимости от своих потребностей. Химическая отрасль только выиграет от использования МА в плане более быстрого реагирования, отслеживания активов, улучшения бизнес-процессов и совместной работы. МА, разработанные для получения и анализа данных с датчиков и других различных источников, позволяют операторам отслеживать и анализировать параметры процессов в режиме реального времени, что помогает выявлять возможные проблемы до того, как они становятся критическими. Это ускоряет и повышает эффективность реагирования персонала. МА приложения можно использовать для управления запасами, отслеживания отгрузок и оптимизации взаимодействия с сотрудниками.

Другой вид мобильных приложений в химическом производстве предназначен для повышения качества продукции. С помощью таких приложений, предназначенных для отслеживания и анализа данных о качестве, производители могут выявлять тенденции, первопричины и другие факторы, влияющие на качество продукции. Это помогает улучшить контроль качества продукции и гарантирует, что выпускаемая номенклатура соответствует заказам потребителей.

Сегодня многофункциональные приложения communication smart (Super и Smart Apps) активно используются в дополнение к специализированным мобильным приложениям для контроля и управления производственными процессами персоналом отрасли, которые объединяют в себе все наиболее популярные функции для корпоративных защищенных коммуникаций, включая мессенджеры, видеоконференции, телефонию, почту, обмен документами и контентом между сотрудниками компаний и многое другое. Они обеспечивают безопасный мобильный доступ к информационным системам. В качестве примера таких мобильных разработок в России можно привести платформу корпоративных коммуникаций и мобильности eXpress, разработанную отечественной компанией Unlimited Production, Ltd.

Помимо профессиональных и коммуникационных приложений, в химической отрасли используются все другие полезные мобильные программы и утилиты, которые способствуют успешной работе химического бизнеса и управлению офисом.

### **Проблема оценки и измерения уровня цифровизации**

С начала эры цифровизации исследователи пытались оценить уровень готовности стран к цифровой экономике. С этой целью были разработаны и представлены следующие различные индексы: Индекс цифровых возможностей (DOI), индекс развития информационно-коммуникационных технологий (ICT), индекс готовности электронного бизнеса, индекс сетевой готовности (NRI), индекс развития электронного правительства, индекс развития Интернета, глобальный индекс инновационный индекс (GII) и другие перечисленные далее.

Индикатор цифрового развития DOI - это электронный индекс, основанный на согласованных на международном уровне показателях в сфере информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и используемый для сравнительного анализа наиболее важных показателей для измерения информатизации сообществ.

Индекс DOI характеризует уровень развития инфраструктуры и спрос на ИКТ со стороны населения. Он предназначен для мониторинга развития ИКТ в регионах по трем субиндексам: доступу, использованию и навыкам в области ИКТ [7].

Другой индекс NRI использует 48 показателей для оценки условий развития и распространения ИКТ, сгруппированных в три категории: среда готовности, использование ИКТ бизнесом, правительством и частными лицами.

Еще один рекомендуемый индекс развития электронного правительства (EGDI) – это параметр определяющий степень готовности к реализации и использованию услуг электронного правительства в соответствии с такими критериями, как, например, электронные сервисы и услуги государственных организаций, инфраструктура ИКТ и развитие человеческого капитала. Его также называют Глобальным индексом развития электронного правительства ООН.

Индекс GI является источником информации о многих аспектах инновационного развития и применяется для измерения инновационной эффективности экономики. С помощью индекса GI проводится оценка наиболее инновационных экономик, выявляются их сильные и слабые стороны в инновационном росте. Он охватывает более 80 показателей в различных областях страны, включая такие факторы, как научная деятельность и инновации, качество институций и бизнес-среды, политическая ситуация, система образования и науки [8].

Кроме этого, в контексте нашего исследования химической отрасли, можно выделить такие важные показатели развития цифровой экономики, как, например:

Глобальный индекс кибербезопасности. Это оценка уровня кибербезопасности. Он позволяет оценить уровень кибербезопасности на основе данных о разработке правовых, технических и организационных мер в

области кибербезопасности, наличии институциональной среды и механизмов обеспечения информационной безопасности [9].

Глобальный индекс конкурентоспособности - это показатель уровня конкурентоспособности по 12 параметрам: качеству институций, развитию инфраструктуры, макроэкономической стабильности, здравоохранению, образованию, размеру внутреннего рынка и эффективности рынка товаров и услуг, рабочей силе, финансам, технологическому уровню, конкурентоспособности компаний и инновационному потенциалу;

Индекс факторов производства используется для оценки готовности к будущему производству посредством реализации новых технологий, включая технологии и инновации, институциональную структуру и степень участия стран в глобальной торговле и инвестициях, человеческий капитал; индекс местных онлайн-сервисов (LOSI) является интегральным показателем в рамках формирования EGDI для оценки на муниципальном уровне. Он рассчитывается на основе 60 показателей в четырех сферах: технологической, предоставление контента, базовые услуги через веб-сайт города, вовлечение граждан.

Следует отметить, что наиболее адекватным международным рейтингом на сегодняшний день является Международный индекс цифровой экономики и общества (I-DESI) [10]. Индекс I-DESI используется для измерения прогресса стран в развитии цифровой экономики и общества в соответствии с такими критериями, как интеграция цифровых технологий, человеческий капитал, использование сети Интернет, цифровые услуги, предоставляемые государством. В нем берутся в расчет данные из различных признанных международных источников, как Организация экономического сотрудничества и развития, ООН, Международный союз электросвязи и других.

С 2018 года Россия занимает лидирующее положение в рейтинге по человеческому капиталу. Использование в России Интернета также растет.

Однако интеграция цифровых технологий, в том числе в химической промышленности, требует дальнейшего развития. Существует значительный пробел в области инфраструктуры широкополосной связи.

Сегодня современная статистика уже использует набор показателей для измерения процессов цифровизации в промышленном производстве, которые являются вектором и движущей силой всей цифровой экономики. Так, статистический портал стран Организации экономического сотрудничества и развития содержит специальный раздел "ИКТ", с такими критериями отбора, как, например: страна, производство или профессиональная научно-техническая деятельность, и список из нескольких десятков конкретных показателей, отражающих процессы цифровизации. Например, количество сотрудников, регулярно пользующихся компьютерами и/или портативными устройствами с доступом в Интернет; предприятия, проводящие анализ больших данных; использование специализированного софта, сервисов облачных вычислений, IoT, AI и других [11].

#### **Индустрия 4.0 в мировой химической промышленности**

На многих ведущих предприятиях химической промышленности уже реализуется концепция Индустрии 4.0, за счет использования новых технологий и их интеграции в текущую деятельность. Четвертая промышленная революция, предполагает использование передовых цифровых технологий, таких как IoT, AI, ML, AA, в которые химические компании инвестируют для модернизации производства и оптимизации управления, создавая умные заводы. К числу ведущих химических компаний, использующих цифровые технологии, относятся: BASF, Dow Chemical, DuPont, Evonik, Covestro и Lanxess, которые используют DTS для управления своей деятельностью и поддержания лидирующих позиций в химической отрасли [12].

По данным Европейского совета химической промышленности (Cefic), мировые продажи химической продукции выросли на 15,2% с 3703,36 млрд

долларов в 2020 году до 4267,24 млрд долларов только в 2021 году. В 2021 году на долю стран БРИКС (Бразилия, Россия, Индия, Китай и Южная Африка) приходилось около половины мировых продаж химической продукции. Китай является крупнейшим производителем химикатов в мире, на его долю приходится около 43% всех мировых продаж химикатов, а общий объем продаж в 2021 году превысит 1 832,60 миллиарда долларов. Выручка химической промышленности США от продаж также значительно выросла - на 7,3% в 2021 году по сравнению с 2020 годом. По данным India Brand Equity Foundation, Индия занимает прочные позиции по импорту и экспорту химических веществ во всем мире и занимает 14-е место по экспорту и восьмое - по импорту в мировом списке (за исключением фармацевтических препаратов). Индийская химическая промышленность производит более 80 000 коммерческих продуктов с общим объемом рынка в 178 миллиардов долларов (по данным за 2018-2019 годы). Из-за растущего спроса в сегментах конечных потребителей на нефтехимическую продукцию и специальные химикаты объем химической промышленности Индии, по прогнозам, вырастет на 9,3% и превысит 304 миллиарда долларов к 2025 году. Ожидается, что к 2025 году объем производства специальных химикатов достигнет 40 миллиардов долларов.

Более того, правительство Индии уже внедряет систему стимулирования производства для развития внутреннего производства агрохимикатов. Кроме того, в рамках Союзного бюджета на 2022-2023 годы правительство Индии выделило Департаменту химических веществ и нефтехимии 27,43 миллиона долларов. В результате ожидается, что химическое производство будет расти вместе с ростом химической промышленности, что также приведет к увеличению числа цифровых инноваций в химической отрасли в ближайшем будущем.

Химическая отрасль в развитых странах и регионах находится на переднем крае внедрения современных тенденций в сфере цифровых

инноваций для повышения конкурентоспособности, улучшения эффективности и стимулирования других инноваций. Внедрение цифровых инноваций в химической отрасли в развивающихся регионах может варьироваться в зависимости от таких факторов, как инфраструктура, технологические возможности и зрелость отрасли. Осведомленность о цифровых технологиях в химической отрасли быстро растет в таких странах, как Индия, Китай, Бразилия. Поэтому ожидается, что уже в ближайшие годы производители в развивающихся странах будут внедрять передовые цифровые инновации еще быстрее.

Отчет DigiChem SurvEY 2022, опубликованный корпорацией EY, показывает, что химические компании добились значительного прогресса в своих усилиях по цифровизации. 637 респондентов из участников опроса, представляющих высшее руководство и топ-менеджеров химических компаний различных сегментов и размеров, предоставили информацию о влиянии цифровизации на химическую промышленность. 56% респондентов сообщили, что скорость цифровизации ускорилась через два года после распространения COVID-19 [13]. Очевидный вывод заключается в том, что большинство химических компаний осознают, что цифровизация быстро трансформирует химическую отрасль, оказывая значительное влияние на эффективность цепочки поставок, инновации и развитие.

Потенциальные последствия цифровой трансформации в 21 веке для тех, кто сегодня занят в химической промышленности, имеют решающее значение. Так, авторы книги *The Future of Work in Chemicals and Materials* отмечают, что химическая промышленность претерпевает экспоненциальные изменения, поскольку технологии, такие как робототехника и AI, очень быстро меняют рабочие места в отрасли [14]. Уже сегодня нехватка квалифицированных специалистов является одной из серьезных проблем для всей отрасли в контексте такого движения. По оценкам "Делойта", в следующем десятилетии около 106 000 рабочих мест останутся вакантными

из-за нехватки работников, обладающих необходимым набором передовых навыков. [15].

### **Выводы**

Все перечисленные выше цифровые инновации – это лишь некоторые из тенденций цифровизации, которые трансформируют химическую промышленность. Современное химическое производство использует такие технологии, потому что они повышают эффективность, ускоряют внедрение инноваций, повышают безопасность и создают новые бизнес-модели в условиях растущей конкуренции. Поэтому различные ведущие химические компании уже сегодня уделяют особое внимание инвестициям в цифровые инновации.

Цифровая трансформация способна революционизировать химическую промышленность, обещая повышенную устойчивость, улучшенную эффективность и конкурентоспособность. Современные тенденции, такие как интеллектуальное производство, анализ и моделирование больших массивов данных и другие, уже оказывают значительное влияние на текущее развитие отрасли. Забегая вперед, мы можем сказать, что AI, блокчейн, инициативы в области устойчивого развития и кибербезопасности будут определять будущее химической отрасли в России и других развивающихся странах. Чтобы сохранять конкурентоспособность, производители химической продукции должны использовать эти цифровые инновации и адаптироваться к вызовам концепции "Индустрия 4.0", а также к новым изменениям в химической отрасли.

Основными преимуществами внедрения технологий индустрии 4.0 в химическом производстве являются повышение эффективности, снижение затрат, повышение безопасности и возможность разрабатывать и производить передовые материалы. Эти технологии также позволяют производителям химической продукции оптимизировать свои цепочки

поставок, сокращать количество отходов и повышать удовлетворенность клиентов.

Исходя из вышеизложенного, мы приходим к выводу, что истинная отдача от цифровизации заключается в устойчивом развитии будущего химической промышленности. Именно тогда, когда все данные становятся цифровыми и функционально связанными, мы можем полагаться на маркетинговые исследования и тенденции, чтобы лучше прогнозировать развитие всей химической промышленности. Происходящая цифровая трансформация уже разрушает многие парадигмы в химической промышленности - от исследований и разработок до соответствия продукции требованиям, от закупок до продаж и маркетинга.

#### **Список источников**

1. Teichert R. Digital transformation maturity: A systematic review of literature. *Acta Univ Agric Silvic Mendel Brun*. 2019.
2. Softline Digital. URL: <https://softline.ru/industries> (access date: March 12, 2024)
3. Correa D. IoT in Chemical Industry Market Demand Analysis and Projected huge Growth by 2031. URL: [https://chemicals.einnews.com/pr\\_news/704957511/iot-in-chemical-industry-market-demand-analysis-and-projected-huge-growth-by-2031](https://chemicals.einnews.com/pr_news/704957511/iot-in-chemical-industry-market-demand-analysis-and-projected-huge-growth-by-2031) (access date: March 12, 2024)
4. Duroc Y., Tedjini S. RFID: A key technology for Humanity. *Comptes Rendus. Physique*, Volume 19 (2018) no. 1-2, pp. 64-71. DOI: 10.1016/j.crhy.2018.01.003
5. Gurcan F, Dalveren GG, Cagiltay NE, et al. Evolution of software testing strategies and trends: Semantic content analysis of software research corpus of the last 40 years. *IEEE Access*. 2022; DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3211949
6. Xia Y., Shenoy M., Jazdi N., et al. Towards autonomous system: flexible modular production system enhanced with large language model agents. *IEEE 28th*

International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFAs), 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2304.14721

7. Manual for Measuring ICT Access and Use by Households and Individuals, 2020 Edition. ITU 2020, Geneva, Switzerland. Available at: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/manual.aspx> (access date: May 8, 2024)

8. Глобальный инновационный индекс – 2022: Резюме. Geneva, Switzerland: World Intellectual Property Organization, 2022. DOI: 10.34667/tind.46618

9. Bruggemann R., Koppatz P., Scholl M., et al. Global Cybersecurity Index (GCI) and the Role of its 5 Pillars. Social Indicators Research 159 (2), pp:125-143 (2022). DOI:10.1007/s11205-021-02739-y

10. European Commission, Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology, International Digital Economy and Society Index (I-DESI) – Executive summary, European Commission, 2016, DOI : **10.2759/71377**

11. Organization for Economic Co-operation and Development. OECD.Stat URL: <https://stats.oecd.org/#> (access date May 16, 2024)

12. List of largest chemical producers. Wikipedia (2024) URL : [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_largest\\_chemical\\_producers](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_chemical_producers) (access date May 8, 2024)

13. Jenner F. Is the Chemical Industry Ready for the Future? CHEManager International 3, pp.12-13 (2022) URL: <https://www.chemanager-online.com/en/restricted-files/226066> (access date May 8, 2024)

14. The future of work in chemicals and materials. URL: <http://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/oil-and-gas/the-future-of-materials.html> (access date May 8, 2024)

15. Practical insights from Deloitte thought leaders. <http://www2.deloitte.com/gz/en/pages/about-deloitte/articles/books.html> (accessed date March 2, 2024)

## References

1. Teichert R. Digital transformation maturity: A systematic review of literature. *Acta Univ Agric Silvic Mendel Brun*. 2019.
2. Softline Digital. URL: <https://softline.ru/industries> (access date: March 12, 2024)
3. Correa D. IoT in Chemical Industry Market Demand Analysis and Projected huge Growth by 2031. URL: [https://chemicals.einnews.com/pr\\_news/704957511/iot-in-chemical-industry-market-demand-analysis-and-projected-huge-growth-by-2031](https://chemicals.einnews.com/pr_news/704957511/iot-in-chemical-industry-market-demand-analysis-and-projected-huge-growth-by-2031) (access date: March 12, 2024)
4. Duroc Y., Tedjini S. RFID: A key technology for Humanity. *Comptes Rendus. Physique*, Volume 19 (2018) no. 1-2, pp. 64-71. DOI: 10.1016/j.crhy.2018.01.003
5. Gurcan F, Dalveren GG, Cagiltay NE, et al. Evolution of software testing strategies and trends: Semantic content analysis of software research corpus of the last 40 years. *IEEE Access*. 2022; DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3211949
6. Xia Y., Shenoy M., Jazdi N., et al. Towards autonomous system: flexible modular production system enhanced with large language model agents. *IEEE 28th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2304.14721
7. Manual for Measuring ICT Access and Use by Households and Individuals, 2020 Edition. ITU 2020, Geneva, Switzerland. Available at: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/manual.aspx> (access date: May 8, 2024)
8. Global Innovation Index – 2022: Resume. Geneva, Switzerland: World Intellectual Property Organization, 2022. DOI: 10.34667/tind.46618
9. Bruggemann R., Koppatz P., Scholl M., et al. Global Cybersecurity Index (GCI) and the Role of its 5 Pillars. *Social Indicators Research* 159 (2), pp:125-143 (2022). DOI:10.1007/s11205-021-02739-y

10. European Commission, Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology, International Digital Economy and Society Index (I-DESI) – Executive summary, European Commission, 2016, DOI : 10.2759/71377
11. Organization for Economic Co-operation and Development. OECD.Stat URL: <https://stats.oecd.org/#> (access date May 16, 2024)
12. List of largest chemical producers. Wikipedia (2024) URL : [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_largest\\_chemical\\_producers](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_chemical_producers) (access date May 8, 2024)
13. Jenner F. Is the Chemical Industry Ready for the Future? CHEManager International 3, pp.12-13 (2022) URL: <https://www.chemanager-online.com/en/restricted-files/226066> (access date May 8, 2024)
14. The future of work in chemicals and materials. URL: <http://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/oil-and-gas/the-future-of-materials.html> (access date May 8, 2024)
15. Practical insights from Deloitte thought leaders. <http://www2.deloitte.com/gz/en/pages/about-deloitte/articles/books.html> (accessed date March 2, 2024)

© Дайнеко Д.В., 2024. Московский экономический журнал, 2024, № 5.