

Баймурзин Азат Ишмурзович, магистр,
Башкирская академия государственной службы
и управления при Главе Республики Башкортостан

ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В РОССИИ

Аннотация. Рассматриваются ключевые тенденции цифровизации нефтехимической промышленности России в рамках концепции "Индустрия 4.0": большие данные, аналитика, цифровые двойники, облачные технологии, искусственный интеллект и др. Выделяются проблемы оценки уровня цифровизации и обсуждаются соответствующие индексы, такие как I-DESI.

Ключевые слова: Цифровая трансформация, цифровые бизнес-процессы, искусственный интеллект, интернет вещей, большие данные, облачные технологии.

Цель проведенного исследования заключалась в выявлении ключевых элементов структуры цифровых бизнес-процессов, детальном изучении процесса цифровой трансформации предприятий химической и нефтехимической отраслей, а также определении важнейших факторов успеха при внедрении цифровых решений с особым вниманием к формированию эффективных цифровых бизнес-процессов. Для достижения поставленных целей были использованы академические базы данных Scopus, Google Scholar и eLibrary, при этом отбор публикаций осуществлялся с упором на последние пять лет, чтобы гарантировать современность и релевантность собранной информации.

Анализ проводился на основании изучения реальных примеров цифрового преобразования предприятий нефтехимической сферы, представленных в открытых научных публикациях и отчетах. Исследование охватывает изучение фундаментальных аспектов цифровой трансформации, ее влияния на бизнес-стратегии и модели функционирования предприятий химической отрасли. Подчеркнута роль прорывных технологий, таких как Интернет вещей (IoT), искусственные нейронные сети (AI), системы анализа больших данных (Big Data) и облачная инфраструктура (Cloud Computing), в создании и развитии цифровых бизнес-процессов.

Представлена подробная классификация цифровых бизнес-процессов, раскрыта логика их построения и рассмотрены успешные практики их внедрения крупными компаниями. Исследованы препятствия и потенциальные угрозы, возникающие в процессе перехода предприятий на цифру, а также разработаны практические рекомендации по минимизации рисков и повышению эффективности цифровых инициатив. Завершается исследование обсуждением текущих проблем и перспектив дальнейшего развития цифровых платформ в химической промышленности, направленных на создание надежных и устойчивых цифровых инфраструктур.

Введение

Современные условия характеризуются рядом ключевых факторов, влияющих на мировую экономику. Глобальная нестабильность, внедрение инновационных технологий, цифровизация и усиление конкуренции оказывают активное влияние на развитие всех отраслей и секторов экономики. Особую роль играет цифровая трансформация, которая выступает важным направлением повышения эффективности бизнес-процессов и становится необходимым условием успешного функционирования отечественных предприятий.



Цифровые инструменты и ИТ-решения становятся основой формирования новых моделей управления и менеджмента, обеспечивая значительные преимущества компаниям. Технологии, такие как предиктивная аналитика, большие данные (Big Data) и искусственный интеллект, помогают снизить неопределенность, повысить точность управленческих решений и формировать конкурентоспособные стратегии [1].

ERP- и CRM-системы, используемые предприятиями, способствуют оптимизации ресурсов, снижению операционных рисков и транзакций, повышая производительность труда работников [4]. Российские ученые подчеркивают важность автоматизации учета и анализа финансовых показателей, а также оптимизации процесса принятия управленческих решений благодаря цифровизации [7, с. 96].

Российская химическая, нефтехимическая отрасль столкнулась с рядом особых трудностей, связанных преимущественно с необходимостью импортозамещения и активной цифровизации. Возникновение множества нестандартных задач, связанных с поиском альтернатив иностранным техническим решениям, заставило компании пересмотреть привычную стратегию развития. Актуальными проблемами стали поддержка существующей ИТ-инфраструктуры, поиски локальных аналогов зарубежным программам и создание собственных отечественных программных продуктов взамен ушедших зарубежных поставщиков. Всё это накладывает дополнительную нагрузку на предприятия, вынуждая заниматься вопросами, которые раньше не считались приоритетными для отрасли.

Актуальность исследования. Процесс цифровой трансформации промышленных предприятий стал ключевым фактором современного экономического развития. Помимо повышения производственной эффективности, он создает предпосылки для появления новых бизнес-моделей, базирующихся на применении больших данных, искусственного интеллекта и других современных технологий.

Цель исследования – определить основные структурные компоненты цифровых бизнес-процессов, проанализировать процесс цифровой трансформации химических предприятий и выявить ключевые факторы успешной реализации с фокусом на формировании цифровых бизнес-процессов.

Материалы и методы исследования

Первым этапом исследования стало систематическое изучение научной и технической литературы, доступной в авторитетных источниках, таких как Scopus, Google Scholar и eLibrary. Были собраны и детально проанализированы публикации за последние пять лет, обеспечивающие максимальную актуальность полученной информации. Особое внимание уделялось материалам, связанным с практической стороной цифровой трансформации промышленных предприятий, публикуемым в открытом доступе.

Теоретический анализ позволил изучить существующие теории, касающиеся цифровой трансформации, цифровых бизнес-процессов и смежных дисциплин.

Сравнительный анализ помог сравнить разные подходы к цифровой трансформации, различные модели цифровых бизнес-процессов и соответствующие кейсы.

Системный анализ использовался для выявления взаимосвязей между отдельными элементами цифровой бизнес-экосистемы и их совокупного влияния на эффективность работы предприятия.

Анализ данных включал детальное рассмотрение количественных и качественных показателей, полученных в результате исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

Традиционно массовое производство однотипной продукции считалось нормой для индустриальных предприятий. Система стандартных процедур позволяла развивать эффективные схемы управления производством, такие как система «бережливого



производства», основанная на строгой регламентации рабочих процессов («стандартная работа»). Однако современный контекст претерпел существенные изменения: с развитием автоматизации и искусственного интеллекта рутинные задачи выполняются машинами, тогда как человеческий труд все чаще концентрируется на нестандартных задачах и специальных проектах, ставших частью ежедневной практики.

Это новое положение усложняет привычную систему управления предприятием, поскольку функциональная структура накладывается на проектную работу, создавая хаотичность, замедленность и неэффективность принятия решений.

Цифровая трансформация предполагает коренную перестройку традиционных бизнес-моделей и организационных процессов посредством глубокой интеграции цифровых технологий. В промышленной среде такая трансформация включает внедрение передовых технологий, таких как Интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (AI), обработка больших данных (Big Data), облачные сервисы и прочие инновации. Их задача – повысить продуктивность производства, разработать новые продукты и услуги, усовершенствовать взаимоотношения с потребителями и партнёрами. Процессы цифровой трансформации предполагают создание единых цифровых платформ, интегрирующих различные технологические решения для полной цифровизации бизнеса и продвижения инноваций в организации.

Эти направления становятся основой для активного внедрения новейших решений, способствующих значительному росту эффективности и устойчивости современного химического и нефтехимического производства.

Большие данные и продвинутая аналитика

Современное химическое производство ежедневно генерирует колоссальные объёмы данных, которые требуют применения передовых аналитических инструментов и алгоритмов машинного обучения (ML). Использование таких технологий позволяет профессионалам выявлять скрытые паттерны и отклонения, основываясь на этих данных, что существенно улучшает принятие решений и увеличивает общую эффективность предприятий. К примеру, специализированные алгоритмы предиктивного технического обслуживания могут заранее спрогнозировать возможные поломки оборудования, что даёт возможность своевременно провести профилактические мероприятия и избежать серьёзных поломок [1].

Применение технологий большой аналитики (AA) и искусственного интеллекта (AI) в нефтехимической промышленности решает целый спектр задач. Компании обрабатывают огромные потоки данных, извлекая полезную информацию для оптимизации производственных циклов, повышения качества конечного продукта и прогнозирования выхода оборудования из строя. Алгоритмы AI находят широкое применение даже в таких научноёмких областях, как разработка лекарственных препаратов и синтез новых материалов. Благодаря обработке больших объёмов данных, учёные открывают новые химические формулы и свойства веществ, которые иначе могли бы остаться незамеченными. Отечественные разработчики предлагают решения, специально предназначенные для нужд нефтехимической промышленности: централизованное хранилище данных, аналитические системы реального времени и вычислительные мощности для анализа массивов данных [2].

Продвинутые аналитические инструменты играют ключевую роль в управлении современным химическим производством, так как позволяют оперативно собирать и анализировать данные, необходимые для принятия эффективных решений. Производители получают всестороннюю картину происходящего на предприятии, включая мониторинг производственного цикла, соблюдение стандартов качества и выполнение технологических режимов.

Использование анализа больших данных (BD) приобрело особое значение и в нефтехимической промышленности, как и в других сферах производства. Оно служит



эффективным средством оптимизации производственных процессов и снижения возможных рисков. Специалисты оценивают состояние текущего производственного процесса, анализируя такие важные переменные, как потребление сырья, температурные показатели, давления и прочее. Это позволяет находить точки роста и повышать общие показатели эффективности производства, снижая издержки и улучшая качество продукции.

Особое внимание уделяется процедурам мониторинга оборудования. Постоянный сбор и анализ эксплуатационных данных позволяет операторам выявлять сигналы, свидетельствующие о необходимости профилактики или ремонта техники, предотвращая серьезные неисправности и длительные остановки производства. Таким образом, своевременный анализ данных способен серьёзно сэкономить средства на ремонтах и ремонте оборудования, сократив период простоя и снизив потери от внепланового прекращения работы.

Кроме того, анализ данных применяется и в логистике, позволяя предприятиям точно определять потребности в ресурсах и материальных запасах. Оценка ситуации в режиме реального времени способствует эффективной закупке необходимого сырья и материалов, уменьшению складских запасов и сроков исполнения заказов, что снижает себестоимость продукции и ускоряет оборот капитала.

Интернет вещей в нефтехимической промышленности

Современные нефтехимические заводы и предприятия, как в России, так и за рубежом, повсеместно внедряют устройства Интернета вещей (IoT) для непрерывного мониторинга и управления своими производственными процессами в режиме реального времени. Умные сенсоры регистрируют широкий спектр показателей, таких как химический состав сырья, уровни давления, температуры и влажности, что позволяет операторам мгновенно реагировать на возникающие отклонения и оптимизировать рабочие процессы. Вдобавок, устройства IoT служат надежной мерой безопасности, сигнализируя о потенциально опасных ситуациях и обеспечивая дистанционный контроль над ключевыми узлами оборудования.

Ежегодно ведущие мировые исследовательские центры выпускают обзоры рынков химических технологий, освещая самые перспективные разработки в отрасли. Например, отчёт AMR описывает сценарии применения IoT в нефтехимической промышленности, раскрывая способы повышения производительности и безопасности с помощью умных приборов [3].

Идея IoT воплощается в нефтехимической отрасли путём подключения широкого спектра устройств, таких как сенсоры, контроллеры и исполнительные механизмы, к единой информационной сети. Эта технология позволяет вести постоянный сбор и анализ важнейших производственных параметров, обеспечивая мгновенный доступ к информации для быстрого принятия решений.

Примером использования IoT в нефтехимической промышленности служит внедрение специализированных датчиков для диагностики состояния технологического оборудования. Сенсорные системы отслеживают функционирование агрегатов, фиксируя малейшие отклонения от заданных параметров, что позволяет своевременно обнаруживать неполадки и планировать профилактическое обслуживание, исключая аварийные простои и дорогостоящее восстановление.

Ещё одно важное применение IoT касается контроля качества готовой продукции. Датчики постоянного мониторинга позволяют отслеживать химико-физические характеристики продуктов прямо в ходе производственного процесса, своевременно выявляя дефекты и отклоняя брак ещё до попадания на рынок. Это сокращает процент брака, уменьшает расходы на утилизацию и поддерживает высокий уровень потребительской лояльности.

Отечественные разработчики также создают специализированное программное обеспечение и аппаратуру для химического производства, работающую на принципах IoT. В числе таких решений выделяются системы позиционирования персонала и оборудования, мониторинг физического состояния операторов и технических установок, автоматизированные



комплексы управления технологическими линиями и специальные системы радиочастотной идентификации (RFID) для промышленной автоматизации [4].

Цифровые двойники и имитационное моделирование в нефтехимической промышленности

Одной из наиболее значимых цифровых технологий в нефтехимической отрасли являются цифровые двойники (DTs) – виртуальные реплики физических объектов или производственных процессов. Цель использования таких копий – точное воспроизведение химических реакций и производственных схем в виртуальном пространстве, что позволяет проводить эксперименты и тестирование без риска повреждения оборудования или выпуска дефектной продукции.

Главное отличие цифрового двойника от простой компьютерной модели заключается в способности учитывать мельчайшие нюансы реальных процессов, вплоть до микродвижений молекул и точности показаний датчиков. Именно эта детализация позволяет компаниям оценивать реакцию системы на изменения параметров и проверять гипотезы без привлечения большого количества экспериментального материала и временных затрат.

Интеграция данных с устройствами IoT добавляет новый уровень реалистичности и скорости обновления виртуальных моделей. Химические предприятия могут мгновенно получать информацию о состоянии оборудования и немедленно обновлять свои виртуальные прототипы, что позволяет более точно прогнозировать выходы реакторов.

Примером эффективного применения технологии цифровых двойников в российском нефтегазовом секторе выступает проект, реализованный предприятием «Щекиноазот», расположенным в Тульской области. Завод постоянно модернизируется и адаптируется к требованиям Индустрии 4.0, внедряя передовые системы управления технологическими процессами и автоматизации производства. Модернизация позволила значительно сократить число операторов и свести к минимуму вероятность ошибок, вызванных человеческим фактором. Проектировочные решения принимаются исключительно на основе тестирования в виртуальной среде, прежде чем переходить к запуску оборудования в эксплуатацию. Виртуальная среда лаборатории воспроизводится настолько полно, что впоследствии перенос программного проекта на реальную установку осуществляется без серьезных доработок. «Щекиноазот» сотрудничает с международными производителями ПО и оборудования, такими как Honeywell, Yokogawa и Emerson, что гарантирует постоянное обновление технологий и инструментариев, поддерживающих цифровые двойники.

Таким образом, цифровые двойники выступают мощным инструментом повышения эффективности и надежности химического производства, предлагая безопасный и экономически обоснованный путь к модернизации и устойчивости предприятий.

Облачные вычисления

На сегодняшний день облачные технологии стали незаменимым элементом эффективной организации нефтехимической промышленности. Облачные инфраструктуры предлагают промышленным компаниям гибкую и финансово эффективную экосистему для управления большими массивами данных, необходимых для аналитики больших данных (Big Data), реализации ресурсоемких вычислительных процессов и оперативного реагирования на изменения рыночной конъюнктуры. Платформы облачных вычислений обеспечивают удобный обмен информацией и тесное сотрудничество между различными подразделениями и предприятиями. Пользователи получают круглосуточный доступ к необходимым ресурсам, таким как сервера, базы данных и корпоративные приложения, благодаря чему достигается высокий уровень координации действий и оперативной совместимости.

Одна из главных функций облачных технологий в нефтехимической промышленности – это оптимизация управления большими массивами данных и улучшение операционного потенциала. Облачная инфраструктура обеспечивает гибкость и лёгкость в управлении базами



данных, существенно сокращая временные затраты на подготовку и вывод новых продуктов на рынок. Помимо этого, производители получают дополнительные возможности для анализа Big Data, что помогает разрабатывать новые вещества и эффективно управлять производством.

Особенное внимание уделяется обеспечению высокого уровня безопасности хранящихся данных. Использование облачной архитектуры позволяет сохранить ценные сведения в надежных центрах обработки данных, сводя к минимуму риск потери информации и нарушения конфиденциальности.

Сейчас российские провайдеры облачных решений активно развиваются частные и гибридные облачные инфраструктуры, направленные на ускорение цифровизации нефтехимической отрасли. Один из ярких примеров отечественного программного обеспечения в этой области – технологическая платформа Evolution Stack.

Система предиктивной аналитики

Предиктивный анализ данных представляет собой современную методологию, позволяющую предприятиям формировать прогнозы будущих событий на основе тщательного изучения предшествующей информации и выявления скрытых зависимостей. В контексте производственной деятельности данная технология широко применяется для прогнозирования широкого спектра сценариев – от вероятности неисправности оборудования до вариаций спроса на готовую продукцию. Рассмотрим подробнее, какую пользу приносит предиктивная аналитика бизнесу и как правильно организовать ее внедрение.

Предиктивные технологии представляют собой совокупность методик и инструментов, направленных на предсказание дальнейших событий на основе анализа архивных данных и наблюдаемых трендов. Главная цель этих методов – получение ценной информации, которая помогает руководству принимать хорошо аргументированные решения и эффективно готовиться к возможным изменениям внешней среды.

При помощи предиктивного анализа производства удаётся решить ряд задач, связанных с повышением производительности, поддержанием высокого качества продукции и снижением издержек. Далее мы проанализируем наиболее востребованные задачи и подходы к их решению.

Ключевые задачи предиктивного анализа

1. Прогнозирование отказов оборудования;
2. Оптимизация запасов сырья и готовой продукции;
3. Управление качеством продукции;
4. Оптимизация планирования производства;
5. Повышение энергоэффективности.

Таким образом, предиктивный анализ данных представляет собой универсальный инструмент, позволяющий предприятию грамотно распоряжаться имеющейся информацией и добиваться существенных успехов в деле повышения эффективности производства и конкурентоспособности.

Искусственный интеллект и машинное обучение

Перспективные направления цифровой трансформации – это искусственный интеллект (AI) и машинное обучение (ML). По мере углубленного развития AI и ML, их значимость в нефтехимической отрасли неуклонно растёт. Алгоритмы AI демонстрируют способность обрабатывать колоссальные объёмы данных, формулировать инсайтные рекомендации и предлагать уникальные решения, в то время как ML совершенствует управляемый контроль за производственными процессами и способствует повышению качества продукции. Примечательно, что внедрение AI параллельно стимулирует оптимизацию протекания химических реакций на предприятиях, подчёркивая огромную важность этих технологий для будущей промышленной революции [5].



Производители нефтехимической продукции начинают применять алгоритмы AI для глубокого анализа огромного массива данных, что позволяет обнаружить новые способы улучшения продукта, разработать оригинальные рецептуру и сократить продолжительность разработки. Интеграция AI в производственный цикл кардинально меняет индустрию, заметно повышая точность и эффективность технологического процесса, а также расширяя границы возможностей самих исследователей.

Главная задача – интеграция AI в традиционные химические процессы, учитывая бурное развитие AI последних лет. Подобные нововведения позволяют достичь совершенно новых горизонтов в науке и технике, начиная от непосредственной интеграции AI в производственные процессы и заканчивая созданием принципиально новых химических соединений и материалов.

Анализируя потенциал GenAI применительно к нефтехимической отрасли, в первую очередь отметим следующее направление его применения:

1. Решение общих задач: уменьшение временных затрат на обработку документации, подробный анализ поступающей информации, автоматизация рутинных операций, снижение риска совершения ошибок, содействие поиску креативных решений, повышение эффективности производственных процессов и улучшение качества продукции.

2. Управление кадрами: создание образовательных курсов, методик и рекомендаций, основанных на актуальных научных открытиях и передовом опыте, адаптация сложного материала для понимания сотрудников разного уровня подготовки, что существенно облегчит процесс профессионального обучения.

Также отдельно рассмотрим тематику глубокого обучения, компьютерного зрения и видеоаналитики. В данном направлении стоит подчеркнуть, что реализация этих инструментов решает широкий спектр практических задач, таких как промышленная безопасность, видеонаблюдение, дистанционные консультации в реальном времени, выявление несоблюдения правил охраны труда, фиксация дефектов на линиях сборки, исследование причин появления брака, оптимизация производственных циклов на основе собранных видеоданных и даже идентификация контейнеров и транспортных платформ.

Промышленное ПО

В марте 2024 года российский разработчик промышленных ИТ-решений Bimeister стал частью Группы «ОМЗ Перспективные Технологии». Компания Bimeister единственный на рынке отечественный разработчик цифровых моделей предприятий – комплексных инфосистем для сквозного управления процессами на всех этапах жизненного цикла.

В июле прошлого года Группа ОМЗ совместно с Аметист Кэпитал и Инспарк инициировала проект по созданию инновационного ПО для IoT-рынка. Первоочередной задачей стала разработка цифровых решений на базе Inspark IoT Platform – программной площадки для мониторинга и диспетчеризации распределенных объектов, включающей инструменты сбора, анализа и визуализации данных с различных сенсоров и систем управления в реальном времени.

Заключение

Рассмотренные выше цифровые инновации представляют собой лишь малую часть широкомасштабных изменений, происходящих в современной химической промышленности. Цифровые технологии радикально преобразуют химическое производство, обеспечивая беспрецедентный рост производительности, ускорение инновационных решений, повышение уровня промышленной безопасности и формирование новых подходов к ведению бизнеса в условиях обостряющейся конкуренции. Современные лидеры отрасли целенаправленно инвестируют значительные средства в комплексную цифровизацию собственных предприятий.

Трансформация посредством цифровых инструментов открывает уникальные возможности для устойчивого развития, максимальной эффективности и сохранения



конкурентных преимуществ в долгосрочной перспективе. Сегодняшние тенденции, включающие умное производство, глубокий анализ огромных массивов данных и построение виртуальных моделей, оказывают решающее воздействие на эволюцию химической промышленности, превращаясь в обязательный элемент современных технологических процессов.

Взгляд в будущее показывает, что ключевыми факторами успеха станут искусственные интеллекты (AI), технологии блокчейн, экологичность и безопасность производства, которые определят дальнейшее развитие химической отрасли в России и иных развивающихся странах. Чтобы оставаться конкурентоспособными, производителям придется идти в ногу с этими изменениями, приспосабливаясь к принципам Индустрии 4.0 и новым вызовам.

Основные выгоды от внедрения технологий четвертой промышленной революции заключаются в следующем:

- значительное повышение эффективности производства;
- существенное сокращение издержек;
- улучшение безопасности рабочих процессов;
- создание предпосылок для разработки и выпуска инновационных материалов.

Это также ведет к совершенствованию цепочек поставок, уменьшению количества отходов и повышению уровня удовлетворения заказчиков.

Мы убеждены, что реальные плоды цифровизации проявляются тогда, когда все производственные данные переходят в цифровую плоскость и становятся функционально взаимосвязанными. Только в таком случае появляется возможность полноценно использовать маркетинговые исследования и современные тренды для качественного прогнозирования развития химической отрасли. Таким образом, идущая полным ходом цифровая трансформация перестраивает устоявшиеся принципы работы в химической промышленности, переориентируя ее на новую эру эффективности и экологической ответственности – от начальных стадий проектирования до конечных точек продаж и маркетинга.

Список литературы:

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: December 15, 2025)
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-mdustry-market-demand-analysis-and-projected-huge-growth-by-2031 (access date: December 15, 2025)
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. Глобальный инновационный индекс - 2022: Резюме. Geneva, Switzerland: World Intellectual Property Organization, 2022. DOI: 10.34667/tind.46618



9. Bruggemann R., Kopatz P., Scholl M., et all. 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 December 20, 2025)

12. List of largest chemical producers. Wikipedia (2024) URL : https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_chemical_producers (access date December 20, 2025)

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 December 20, 2025)

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 December 20, 2025)

15. Practical insights from Deloitte thought leaders. <http://www2.deloitte.com/gz/en/pages/about-deloitte/articles/books.html> (accessed date December 20, 2025).

