

УДК 338.45      DOI: 10.14451/1.225.28

# Цифровая трансформация и совершенствование деятельности химических компаний

© 2023 **Кони́на Ната́лия Ю́рьевна**

доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой Менеджмента, маркетинга и ВЭД Московский государственный институт международных отношений (Университет) МИД России, Москва.

E-mail: nkonina777@gmail.com

**Ключевые слова:** бизнес-процессы, химические компании, химическая промышленность, повышение эффективности хозяйственной деятельности химических компаний, конкурентоспособность химических фирм, цифровая трансформация, цифровизация.

В данной статье рассмотрены вопросы влияния цифровизации на деятельность химических компаний. Выделены характерные черты текущей внешней среды и специфика бизнес-операций химических компаний, которые обуславливают особенности цифровой трансформации в этом секторе. Сделан вывод о том, что цифровые и инновационные технологии существенно влияют на бизнес-стратегию химических фирм, подталкивая компании к концентрации усилий на основных направлениях цифровой трансформации деятельности. Проанализированы возможности и вызовы, связанные с цифровизацией в химической отрасли. В результате исследования выявлены основные направления цифровой трансформации химических фирм в зависимости от регионов и их специализации. Проанализированы факторы, замедляющие цифровое преобразование химических фирм. Сделан вывод, что помимо повышения операционной эффективности, цифровая трансформация в химической промышленности помогает компаниям решать такие задачи, как оптимизация цепочек поставок, разработка новых продуктов, обеспечение устойчивого развития и безопасность на рабочих местах

## Введение

Химическая промышленность играет важную роль в мировой экономике и глобальном промышленном производстве [3]. По оценкам, в глобальной химической отрасли непосредственно занято около 15 миллионов человек, а косвенно поддерживается еще 105 миллионов рабочих мест [8]. Более 80% химикатов продаются другим компаниям и претерпевают многочисленные

преобразования в различных цепочках создания стоимости, прежде чем попасть к конечному потребителю [7]. Уровень использования химикатов в значительной степени отражает развитие производственного потенциала каждой страны [6]. В региональном разрезе на страны Азиатско-Тихоокеанского региона приходится наибольшая доля мирового рынка химических веществ [4]. Несмотря на бурный рост компаний

из стран с быстрорастущими экономиками, химические компании развитых стран сохраняют лидирующие позиции [5].

По мере глобализации химической промышленности конкуренция, особенно со стороны Азии и Ближнего Востока, растет, а стоимость сырья становится все более неустойчивой, что увеличивает давление на ценообразование [2]. В то же время клиенты требуют лучшего обслуживания от своих поставщиков химикатов. Кроме того, отрасль быстро консолидируется, о чем свидетельствуют ряд крупных слияний [1].

Химические компании осуществляют свои операции на высококонкурентном рынке, для которого характерна растущая сегментация продукции, будь то базовые химические продукты или инновационные специализированные продукты. Эти сдвиги в отрасли создают растущую нагрузку на производителей химической продукции и, в частности, на их цепочки поставок. По мере слияния ведущих игроков другие компании должны реагировать на большую рыночную власть консолидирующихся компаний, дифференцируя качество своих услуг, сокращая свой оборотный капитал и повышая производительность своих активов [17].

Химические компании сталкиваются с обострением конкуренции, растущим давлением по снижению цен, ростом затрат на сырье и энергию [19].

В этой ситуации главной целью цифровизации химических фирм является повышение конкурентоспособности за счет операционной эффективности, инноваций, адаптации или взаимодействия с клиентами.

### **Результаты исследования**

Химические компании занимались цифровой трансформацией в целом медленнее, чем компании большинства отраслей промышленного производства развитых стран. Как и в большинстве базовых вертикально интегрированных отраслях, COVID-19 значительно увеличил скорость цифровизации химических компаний.

Цифровизация в химической промышленности имеет много общего с цифровизацией в других отраслях промышленности, но она также имеет свои уникальные характеристики и проблемы, которые связаны с отличиями и особенностями химической отрасли. Усилия по цифровизации с учетом большей сложности процессов химического производства, призваны реализовать расширенное моделирование процессов, мониторинг в реальном времени и точные прогнозы на основе анализа больших данных для обеспечения качества и безопасности продукции. Исключительно большое значение в химической промышленности имеют НИОКР и инновации, многие из которых могут быть дорогостоящими и длительными. Цифровая трансформация дает возможность ускорить исследования и разработки, позволяя проводить виртуальные эксперименты, моделирование и прогнозное моделирование новых материалов и рецептур. Химические фирмы производят широкий спектр разнообразной продукции с применением очень разного сырья, оборудования и технологических процессов. Предлагаемые цифровые решения должны быть адаптируемыми и масштабируемыми для различных линеек продуктов и процессов. Цифровизация позволяет химическим компаниям предлагать персонализированные химические продукты для удовлетворения конкретных потребностей клиентов по более низким ценам. Цепочки создания стоимости химических компаний, как правило, очень сложны и включают большое число разных поставщиков и потребителей. Цифровизация призвана оптимизировать цепочки поставок, минимизировать расходы на логистику и повысить рентабельность. Задача минимизации загрязнения окружающей среды и устойчивого развития является важнейшей для химических компаний. Цифровизация должна обеспечить мониторинг окружающей среды, оптимизацию ресурсов и внедрение технологий замкнутого цикла. Для успешного осуществления цифровизации требуются высококвалифицированные специалисты, которые разбираются как в химических процессах, так и в цифровых технологиях. Химические компа-

нии часто используют десятилетиями неплохо работающие, но устаревшие системы и оборудование, которые необходимо интегрировать с новыми цифровыми решениями. Совместимость и интеграция данных могут оказаться непростой задачей. Проекты по цифровизации в химических компаниях должны учитывать необходимость модернизации существующего оборудования с учетом длительного жизненного цикла и обеспечение возможности интеграции новых технологий со старым оборудованием [11].

Успешная цифровизация в химической промышленности требует баланса между технологическими инновациями, оптимизацией процессов и соблюдением стандартов безопасности и нормативных требований. Цифровизация химических компаний варьируется в зависимости от региона и зависит от комбинации факторов, включая технологические достижения, нормативно-правовую базу, рыночные требования и экономические условия. Цифровизация стала второй по важности проблемой инвестирования для химических компаний – 65% ожидают, что это значительно повлияет на их бизнес [14].

По мере роста потребности в онлайн-модели – как для бизнес-операций, так и для взаимодействия с клиентами – химические компании добились максимального прогресса в цифровизации административных функций и взаимодействия с клиентами. От исследований и разработок до взаимодействия с клиентами цифровые технологии стали неотъемлемой частью цепочки создания стоимости. 80% игроков химической промышленности ожидают, что с такими технологиями, как автоматизированный химический синтез цифровые инструменты все больше будут использоваться для разработки новых продуктов и услуг, причем склоняются в этом направлении. Компании уделяют все больше внимания цифровой безопасности по мере ускорения цифровизации своих операций.

Химические компании рассчитывают инвестировать в среднем 5% своего годового дохода в решения для цифровых операций в течение следующих 5 лет, а 75% фирм прогнозируют,

что к 2026 году они достигнут продвинутой цифровизации [11]

Производственная отрасль в целом достигла цифровой зрелости, ее уровень оценивается в 39%, но уровень цифровой зрелости химической промышленности немного выше – 42,2% [14]

Согласно опросу EY CEO Outlook Survey 2022, цифровая трансформация является второй по важности инвестиционной проблемой для компаний химической отрасли по всему миру.

Необходимость приспосабливаться к методам удаленной и гибридной работы, справляться с разорванными цепочками поставок и реагировать на меняющиеся требования клиентов заставили даже самые неторопливые химические фирмы осознать безотлагательность цифровой трансформации. Последствия пандемии COVID-19 наряду с геополитическими проблемами привели к ограничениям в цепочке поставок и инфляции материальных и трудовых затрат. Они также подтолкнули химические компании к ускорению цифровизации функций бэк-офисов: более 40% фирм химической отрасли сообщили о разрушительном или революционном воздействии цифровизации за последние три года [14]

Ожидается, что этот темп цифровизации сохранится, поскольку более 65% фирм химической отрасли ожидают, что цифровизация повлияет на их бизнес более революционным или прорывным образом.

Согласно опросу KPMG, 96% руководителей химических компаний отметили ускорение цифровой трансформации в своих фирмах за последние годы. В недавнем опросе Совета по лидерству в производстве (MLC) 82% участников согласились с тем, что пандемия «создала новое ощущение безотлагательности» в привлечении инвестиций в новые технологии и цифровизацию.

Цифровизация предполагает интеграцию цифровых технологий и решений на основе данных в различные аспекты деятельности химической

компании, включая исследования и разработки, производство, управление цепочками поставок и взаимодействие с клиентами. Различные типы производителей находятся на разных этапах пути к цифровой зрелости и движимы разными мотивирующими факторами. Компании США являются лидерами по внедрению цифровых технологий в химической промышленности. Северная Америка извлекает выгоду из сильной технологической экосистемы, исследовательских институтов и благоприятной нормативно-правовой среды. Многие химические компании в США и Канаде внедрили цифровые технологии для оптимизации технологических процессов, управления цепочками поставок, а также исследований и разработок. У этих фирм широко распространено использование искусственного интеллекта, анализ больших данных, применение датчиков Интернета вещей для профилактического обслуживания и оптимизации технологических процессов. Европейские химические компании также активно внедряют цифровые технологии, что обусловлено установкой ЕС на устойчивое развитие, ужесточением нормативных требований и стремлением к инновационным решениям для снижения воздействия на окружающую среду, повышения энергоэффективности и оптимизации химических процессов. Многие химические компании Азиатско-Тихоокеанского региона внедряют цифровые технологии для повышения эффективности производства, снижения эксплуатационных расходов и повышения качества продукции. Химические компании Китая, Японии и Южной Кореи, инвестировали значительные средства в автоматизацию, робототехнику и решения на основе искусственного интеллекта.

Ряд химических компаний являются лидерами в плане принятия и реализации стратегий цифровизации. Немецкая компания BASF, вторая по величине среди крупнейших в мире химических компаний, активно проводит цифровую трансформацию [10]. Компания инвестирует в анализ больших данных, машинное обучение и искусственный интеллект, чтобы улучшить свою деятельность, цепочку поставок и качество обслужи-

вания клиентов. Британская компания Linde, глобальный лидер в сфере промышленных газов и инжиниринга, внедряет цифровые решения для улучшения своей деятельности, управления цепочками поставок и качества обслуживания клиентов. Компания использует Интернет вещей и анализ данных для оптимизации добычи и распределения газа. Ведущая компания Саудовской Аравии SABIC инвестирует в цифровые технологии для оптимизации своей цепочки поставок и операций, для анализа данных и оптимизации профилактического обслуживания для сокращения времени простоев.

Стратегии и приоритеты цифровизации химических компаний действительно могут различаться в зависимости от того, являются ли они поставщиками основной продукции или поставщиками специализированной продукции. Поставщики основных продуктов могут сосредоточиться на использовании цифровых технологий для оптимизации управления цепочками поставок, улучшения прогнозирования спроса и сокращения затрат на складские запасы, повышения энергоэффективности, сокращения отходов и улучшения использования ресурсов, а также автоматизации основных процессов, мониторинга оборудования в реальном времени и профилактическом обслуживании. Специализированные химические фирмы производят химикаты с уникальными свойствами и применением, часто обслуживая нишевые рынки. Примеры включают специальные полимеры, добавки, катализаторы и высокоэффективные химикаты. Компании, специализирующиеся на производстве специальных химикатов, вкладывают значительные средства в НИОКР для создания инновационных продуктов. Цифровизация может облегчить им прогнозное моделирование, симуляцию и анализ данных для ускорения разработки новых рецептур и продуктов согласно предпочтениям клиентов, что позволяет предлагать более персонализированные товары.

Бесшовная цифровая цепочка поставок с полным обменом данными вверх и вниз по цепочке создания стоимости позволяет компаниям

разрабатывать и производить нужные продукты, которые соответствуют как спросу, так и доступным материалам.

Улучшенный анализ данных (35%) и интеграция данных (30%) входят в число областей с высоким потенциалом для фирм химической отрасли, за которыми следует цифровая безопасность (30%), поскольку компании химической отрасли сталкиваются с растущими проблемами, такими как кража данных и хакерские атаки, которые могут привести не только к утрате конфиденциальной информации, но и остановить работу [15].

Первоначально снижение затрат считалось одним из ключевых преимуществ цифровизации. Тем не менее, химические фирмы все больше извлекают выгоду из цифровизации не только за счет снижения затрат, но и за счет сетевого эффекта (53%) и клиентоориентированности (51%) [18].

Химические фирмы, проводя цифровую трансформацию, прежде всего, нацелены на повышение эффективности использования оборудования, сокращение отходов, повышение гибкости и экологичности на основе промышленного Интернета вещей (IIoT) – доля 67% от опрошенных фирм, искусственного интеллекта (ИИ) – доля 64% от опрошенных фирм и облачных вычислений – доля 61% от опрошенных фирм [15]

Среди наиболее популярных решений по цифровизации, которые выбирают производители химической продукции:

- Программное обеспечение для анализа данных и сопутствующие услуги. Эта технология демонстрирует наибольший рост (средний годовой темп роста (CAGR) 9,5%) в химической промышленности с расходами около 1 миллиарда долларов США к 2031 году по сравнению с 410 миллионами долларов США в 2022 году. Варианты использования аналитики в химической промышленности включают профилактическое обслуживание и создание промышленного цифрового двойника.
- Услуги платформ устройств и приложений.

Расходы на услуги платформ устройств и приложений вырастут и станут крупнейшей статьёй расходов, обогнав промышленное программное обеспечение, для химической отрасли к 2031 году. Ожидается, что они составят около 2,3 млрд долларов США (по сравнению с 1,2 млрд долларов США в 2022 году).

- Приложения промышленного программного обеспечения относятся к программному обеспечению управления предприятием, такому как системы управления производством (MES), управление жизненным циклом продукта (PLM), программное обеспечение моделирования и решения для планирования ресурсов предприятия (ERP). Промышленное программное обеспечение продолжит привлекать высокие инвестиции среди химических компаний и к 2031 году станет вторым наиболее крупным сегментом рынка со стоимостью 2,2 миллиарда долларов США [18].

Технологии цифровизации и автоматизации могут оказать глубокое влияние на химическую промышленность. Например, датчики IoT могут обеспечивать сбор данных в режиме реального времени со всего оборудования и устройств на химических производствах, позволяя операторам отслеживать и анализировать производительность и выявлять проблемы до того, как они станут серьезными. Искусственный интеллект и машинное обучение могут помочь автоматизировать рутинные задачи и проанализировать огромные объемы данных, позволяя принимать более обоснованные решения и улучшать контроль качества.

Прогнозная аналитика, использующая машинное обучение (МО) и ИИ, позволяет заблаговременно выявлять аномалии, указывающие на загрязнение, надвигающиеся отказы деталей, узкие места или другие проблемы, которые могут повлиять на качество и/или количество продукции.

Сквозная (E2E) цифровая трансформация позволяет фирмам использовать данные и аналитику для прогнозирования реального спроса и введения на рынок объемов с более низкой нор-

мой прибыли для заполнения производственных мощностей и снижения фиксированных затрат или более эффективного перераспределения спроса в рамках компании.

Улучшенные платформы для связи и поддержки удаленной и гибридной совместной работы помогают удаленным командам работать вместе в химическом производстве так же, как и в любой другой производственной отрасли, согласно ответам представителей 61% компаний.

Цифровые двойники для доступа к данным обо всей цепочке поставок, от сырья до производства и рыночных прогнозов, удаленный мониторинг и профилактическое обслуживание являются важными практическими примерами преимуществ цифровизации. Цифровые двойники химических фирм обеспечивают дистанционное наблюдение за оборудованием и процессами, удаленную диагностику и часто удаленное техническое обслуживание и ремонт.

Более широкое и активное применение датчиков для контроля качества сырья, всех параметров технологических процессов, измерения коррозии, загрязнения позволяет химическим компаниям существенно экономить на издержках, оптимизировать расход сырья и энергии. Заблаговременные предупреждения о неэффективности и потенциальных отказах деталей позволяют заранее проводить недорогой профилактический ремонт вместо дорогостоящего капитального, продлевая жизненный цикл оборудования и сокращая простои.

Цифровая трансформация химических фирм связана не только с сетями, широким применением датчиков, доступностью данных и быстротой их обработки, технологиями материалов и инженерных решений, но и инновациями в продуктах и решениях. В частности, есть примеры использования платформы цифрового краудсорсинга для поиска способов снижения углеродного следа. Достижение цифровой зрелости химическими фирмами будет определяться стратегическими решениями в областях пользовательского опыта, использования талантов, надежно-

сти и производительности активов, инноваций в сфере материалов, развития экосистем.

Существует ряд факторов, замедляющих цифровое преобразование химических фирм. Главным из них является нехватка квалифицированных кадров, проблема, с которой сталкивается большинство производственных отраслей. Химическая промышленность считается более старой и менее интересной отраслью, что затрудняет привлечение молодых цифровых талантов. По данным Gulf Petrochemicals and Chemicals Association (GPCA), только 15% компаний имеют эффективный процесс найма цифровых специалистов. В глобальном масштабе нехватка квалифицированных сотрудников является самым большим препятствием для цифровизации, на что указали 40% компаний.

Среди крупных химических компаний отсутствует поддержка цифровизации со стороны руководства, и есть непонимание преимуществ цифровизации. 30% глобальных компаний говорят, что они все еще не уверены в экономических преимуществах цифровой трансформации, и только 38% участников GPCA считают, что их организация полностью понимает влияние цифровизации на химическую промышленность.

Переход к Индустрии 4.0 в химической промышленности потребует серьезных изменений в реализации функции координации, как и в организационной структуре компаний. В некоторых химических компаниях команды информационных технологий (ИТ) и операционных технологий (ОТ) в производственной сфере слишком отделены друг от друга. Если ИТ-руководители не могут понять, почему ОТ-специалисты нужны для цифровой трансформации, результат не является оптимальным. Более того, ОТ-отделы часто занимаются процессом цифровой трансформации, но бюджет контролируется ИТ-командой. Ситуация усугубляется тем, что разрозненность данных между ИТ-отделами и отделами затрудняет обмен данными внутри организации.

Процесс цифровой трансформации будет включать модификацию, а в некоторых случаях и пол-

ную замену существующей инфраструктуры. Кроме того, существуют проблемы с поддержанием совместимости систем и оборудования на переходном этапе. Уже вложив значительные средства в существующую заводскую инфраструктуру, многие производители химической продукции не планируют заменять оборудование до конца его жизненного цикла [16]. По этой причине химическая промышленность медленно и постепенно переходит к цифровой трансформации.

Одним из существенных преимуществ цифровизации и автоматизации является то, что они могут помочь повысить безопасность на рабочем месте. Химическое производство сопряжено со значительными рисками, поэтому очень важны мониторинг состояния оборудования в реальном времени, отклонений в технологических процессах и раннее обнаружение потенциальных опасностей. Благодаря цифровым технологиям работники могут удаленно контролировать процессы и оборудование, сводя к минимуму необходимость ручного вмешательства в опасных средах. Автоматизация также призвана снизить риск человеческой ошибки, которая может иметь серьезные последствия на химических производствах.

В настоящее время перед компаниями стоят задачи по созданию надежной технической инфраструктуры (40%), удовлетворению инвестиционных потребностей (38%) и разработке безопасных систем (38%). Многие фирмы изо всех сил пытаются увеличить масштабы своих пилотных проектов, испытывая трудности с оценкой результатов своих усилий и определением областей наибольшей ценности, что удерживает их от дальнейших усилий по ускорению цифровизации.

В связи с недавними геополитическими потрясениями и колебаниями цен на топливо ограничения цепочки поставок стали ключевой проблемой для мировой химической промышленности. Аналитические решения по контролю над изменением цен на сырье помогают химическим фирмам получать от поставщиков самые выгод-

ные предложения, позволяют оптимизировать загрузку производства, снижая риск избыточного предложения. Учитывая волатильность цен на сырье и энергию, почти 60% респондентов EY DigiChem CEO Outlook Survey 2022 сообщили, что цифровизация сильно повлияла на планирование их цепочки поставок. По мере роста потребности в более устойчивых сетях цепочки поставок химические игроки видят ценность в использовании цифровых инструментов для оценки спроса, отслеживания сырья до источников, отслеживания заказов в режиме реального времени, автоматизации складов и портов для сортировки и безопасности, а также оптимизации сетей поставок.

По мере того, как компании оцифровывают свои операции, риск киберпреступлений против бизнеса становится серьезной проблемой. В результате цифровая или кибербезопасность является одной из тем, максимально реализуемых среди компаний химической отрасли, особенно в случае основных и нефтехимических компаний с их огромными производственными предприятиями.

В последние годы растет обеспокоенность по поводу воздействия химического производства и производимой продукции на окружающую среду. В условиях меняющихся предпочтений клиентов и ужесточающихся правил переход к более устойчивому бизнесу имеет решающее значение для производителей химической продукции. Согласно опросу EY DigiChem CEO Outlook Survey 2022, более 80% игроков химической отрасли придают такое же значение экологическим, социальным и управленческим аспектам (ESG) и устойчивому развитию, как и росту доходов. Химические компании в ответ на озабоченность инвесторов и общественности уделяют повышенное внимание устойчивым производственным процессам, переработке и управлению отходами [12]. Химические компании стремятся сократить выбросы углекислого газа за счет использования большего количества возобновляемых источников энергии и снижения энергопотребления [9]. Кроме того, они

будут стремиться свести к минимуму использование воды и найти новые способы сокращения отходов и выбросов. Клиенты все чаще ищут экологически чистые и безопасные продукты, и химические компании разработали и предлагают биоразлагаемые пластики, поверхностно-активные вещества растительного происхождения и натуральные красители.

Согласно опросам, в четырех из каждых 10 химических компаний редприятий топ-менеджмент делает упор на цифровизацию для достижения целей компании в области устойчивого развития. Широкое применение цифровых технологий химическими фирмами призвано ускорить инновации и переход к циркулярной (замкнутой) экономике.

### Заключение

Цифровизация химических фирм ведет к адаптивной культуре, способствует гибкости и обу-

чению. Как и в случае любой крупной инициативы, цифровая трансформация химических фирм, является сложным процессом. Химические и другие производственные игроки уже используют такие технологии, как цифровой двойник, Интернет вещей (IoT), автоматизация, чтобы сократить потребление ресурсов и энергии. Это, в свою очередь, должно поддерживаться инфраструктурой для сбора данных и оборудованием для производства и контроля выбросов.

Лидеры химической промышленности все активнее внедряют цифровизацию для достижения целей роста бизнеса и устойчивого развития. Заводы, которые быстро внедряют цифровые решения для удаленного мониторинга, прозрачности цепочки поставок, сокращения отходов, оптимизации производства, повышения уровня безопасности и открытия новых возможностей, выигрывают по сравнению с конкурентами.

### Библиографический список

1. Дзедина В. И. Особенности глобальных финансовых стратегий транснациональных корпораций мировой химической отрасли // Вестник РЭА им. Г. В. Плеханова. – 2019. – 1 (103).
2. Кондратьев В. Б. Новый этап глобализации: особенности и перспективы // Мировая экономика и международные отношения. – 2018. – Т. 62, № 6. – С. 5–17.
3. Кондратьев В. Отрасли и сектора глобальной экономики: Особенности и тенденции развития. – М.: Международные отношения, 2015. – 448 с.
4. Кони́на Н. Ю., Арустамов Э. А. Последствия влияния мирового энергетического кризиса и геоэкономического противостояния стран на деятельность химических транснациональных компаний // Вестник евразийской науки. – 2023. – Т. 15, № 1.
5. Кони́на Н. Ю., Савинов Ю. А. Стратегия деятельности германских химических ТНК в постпандемийный период на мировом рынке // Российский внешнеэкономический вестник. – 2022. – № 8. – С. 7–19.
6. Кудинова О. Н. Трудный путь химической промышленности // Вестник химической промышленности. – 2014. – № 1. – С. 38–42.
7. Кудинова О. Н. Химпром – лидер релокации // The Chemical Journal. – 2017. – № 3. – С. 50–53.
8. Экономика О. процесса глобализации в отраслях и комплексах мировой / под ред. В. Б. Кондратьева. – М.: ИМЭМО РАН, 2020. – 245 с.
9. Beyond petrochemicals: the renewable chemicals industry / P. N. R. Vennestrøm [et al.] // Angew. Chem. Int. Ed. – 2011. – 50 (45). – P. 10502–10509.
10. Business model innovation processes in large corporations: insights from BASF / S. Winterhalter [et al.] // Journal of Business Strategy. – 2017. – 38(2). – P. 62–75.
11. Deloitte 2023 Chemical Industry Outlook. – URL: <http://www2.deloitte.com/us/en/pages/energy-and-resources/articles/chemical-industry-outlook.html> (visited on 08/05/2023).
12. Diaz L. F. J., Montalvo C. A comprehensive review of the evolving and cumulative nature of eco-innovation in the chemical industry // Journal of Cleaner Production. – 2015. – Vol. 102. – P. 30–43. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.04.007.
13. DigiChem SurVEY. – 2022. – URL: [https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en\\_fi/noindex/ey-digichem-survey-2022.pdf](https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_fi/noindex/ey-digichem-survey-2022.pdf) (visited on 08/09/2023).
14. F. J. Chemical Industry on the Edge of a Disruptive Digital Revolution. – URL: <https://www.chemanager-online.com/en/news/chemical-industry-edge-disruptive-digital-revolution> (visited on 08/06/2023).
15. F. J. Is the Chemical Industry Ready for the Future? – URL: <https://www.chemanager-online.com/en/news/chemical-industry-ready-future> (visited on 08/05/2023).
16. Implementing integrated management systems in chemical firms / A. Simon [et al.] // Total Quality Management & Business Excellence. – 2013. – 24(3–4). – P. 294–309.



17. *Koleske J. V.* Economic Aspects of the Chemical Industry // Kent and Riegel's Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology / ed. by J. A. Kent. – Boston, MA : Springer, 2007. – DOI: [10.1007/978-0-387-27843-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-0-387-27843-8_2).
18. *Martin R.* A Thorough Assessment of Digital Transformation in the Chemical Industry / ABIresearch. – URL: <https://www.abiresearch.com/blogs/2023/02/01/digital-transformation-in-chemical-industry>.
19. *Mendivil R., Fischer U., Hungerbühler K.* Impact of technological development, market and environmental regulations on the past and future performance of chemical processes // Journal of Cleaner Production. – 2005. – 13(9). – P. 869–880.