

УДК 681.518.5

Перспективы развития систем диагностики и мониторинга параметров оборудования, используемых в химической промышленности

Даруткин Александр Александрович

darutkin_aa@bmstu.ru

Пармут Станислав Леонидович

parmut@bmstu.ru

SPIN-код: 1608-4532

Лукьянов Глеб Дмитриевич(*)

lukianovgd@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Проведен обзор современных систем диагностики и мониторинга параметров оборудования в химической промышленности с учетом мировых тенденций цифровизации и специфики российского рынка. Выявлены ключевые проблемы, такие как зависимость от импортных технологий, высокая стоимость внедрения, уязвимости кибербезопасности, интеграция с унаследованными системами и отсутствие унифицированных стандартов для Интернета вещей, дефицит квалифицированных кадров, влияние систем радиоэлектронной борьбы, сложности интеграции искусственного интеллекта. Рассмотрены пути решения, включая цифровизацию с использованием Интернета вещей, цифровых двойников и искусственного интеллекта, импортозамещение, разработку устойчивых к помехам устройств, программы переобучения и отраслевые инициативы по стандартизации. Приведены реальные примеры внедрения на предприятиях России, такие как системы в компаниях «СИБУР», «ПРАНА» и использование отечественных блоков в компании «PUMP» на объектах нефтепереработки. Проведенный обзор позволяет систематизировать вызовы отрасли, включая глобальные тренды, и продемонстрировать подходы к их преодолению.

Ключевые слова: системы мониторинга, диагностика оборудования, химическая промышленность, цифровые двойники, импортозамещение, кибербезопасность

Введение. Системы диагностики и мониторинга параметров оборудования играют критическую роль в химической промышленности, обеспечивая безопасность, эффективность и устойчивость производства. В условиях глобальной цифровизации, геополитических вызовов и специфики российского рынка, включая влияние систем радиоэлектронной борьбы (РЭБ), отрасль сталкивается с необходимостью перехода к инновационным технологиям. Эти системы позволяют в реальном времени отслеживать такие параметры, как температура, давление, вибрация и химический состав, предсказывать сбои и оптимизировать операции. Однако их развитие сопряжено с проблемами, включая зависимость от импорта, риски кибербезопасности и влияние внешних факторов.

Основные проблемы систем диагностики и мониторинга и пути их решения. Проблематика развития систем мониторинга в химической промышленности многогранна. Ключевые проблемы и пути их решения рассмотрены ниже.

Проблема зависимости от импортных технологий. Высокая зависимость от импортных технологий усугубляется санкциями, что приводит к рискам поставок оборудования и ПО, вызывая простои производства, рост затрат на импортозамещение и снижение конкурентоспособности отечественных предприятий в условиях геополитической нестабильности. Для преодоления этой проблемы предлагается импортозамещение через развитие отечественных IoT-платформ и цифровых двойников (Digital Twins, DT), что позволяет снизить зависимость от иностранных поставщиков. Государственные инвестиции в исследования и разработки стимулируют создание локальных экосистем [1].

Проблема уязвимости к кибератакам. Уязвимость к кибератакам обусловлена тем, что интеграция IoT увеличивает поверхность атак, потенциально приводя к утечкам данных или саботажу, а в химической отрасли такие инциденты могут вызвать аварийные ситуации с риском для здоровья и жизни персонала. Решения включают внедрение многоуровневых систем защиты, включая блокчейн. Регулярные аудиты и симуляции атак помогают выявлять уязвимости заранее [2].

Проблема интеграции с существующими системами и отсутствия унифицированных стандартов для IoT. Интеграция с существующими унаследованными системами и отсутствие унифицированных стандартов для IoT в промышленной среде, где несовместимость протоколов и фрагментация технологий требует значительных вложений, наличие множества проприетарных решений и конкурирующих стандартов затрудняет передачу информации между устройствами разных производителей, усложняет обмен данными и анализ в реальном времени, в химической промышленности это проявляется в трудностях интеграции IoT-систем с существующими процессами мониторинга, где несовместимые форматы данных или протоколы приводят к снижению эффективности диагностики оборудования, таким как реакторы или трубопроводы. Интеграцию с унаследованными системами облегчает использование промежуточного ПО и интерфейсов прикладного программирования, а также гибридные облачные решения. Для проблемы отсутствия стандартов IoT рекомендуется активное участие в отраслевых инициативах, таких как Industrial Internet Consortium (ИИ) и Open Manufacturing Platform (OMP), направленных на разработку открытых стандартов и референсных архитектур, что способствует упрощению интеграции систем в химической промышленности [3]. Примером унифицированного подхода может служить индекс технического состояния (ИТС) из приказа Министерства энергетики Российской Федерации (Минэнерго РФ) от 26 июля 2017 г. № 676. Этот индекс, рассчитываемый как интегральный показатель от 0 (наихудшее) до 100 (наилучшее), оценивает состояние оборудования в энергетике на основе параметров износа, надежности и эксплуатационных данных. В химической промышленности ИТС можно адаптировать для мониторинга, трубопроводов и компрессоров, интегрируя его с IoT-данными для прогноза аварий и оптимизации ремонтов. Это позволит унифицировать оценку и снизить субъективность диагностики [4].

Проблема дефицита квалифицированных кадров. Дефицит квалифицированных кадров тормозит внедрение, так как персонал нуждается в переобучении для работы с искусственным интеллектом, что особенно актуально для опасных производств, где ошибки в диагностике могут иметь катастрофические последствия. Для дефицита кадров предлагаются программы переобучения в партнерстве с вузами, с фокусом на цифровой грамотности [5].

Проблема влияния систем радиоэлектронной борьбы. Влияние РЭБ, которые глушат радиосигналы в ряде регионов, нарушает беспроводную передачу данных от датчиков, это особенно критично для химических производств, где мониторинг требует надежной связи, и вынуждает переходить на проводные соединения, увеличивая затраты и время внедрения, а также ограничивая мобильность систем. Специфически для РЭБ предлагается разработка устройств с высокой устойчивостью к помехам: альтернативные протоколы связи, увеличение плотности сетей и продвинутые алгоритмы фильтрации данных. Это позволит сохранить беспроводной мониторинг даже в условиях глушения сигналов [6].

Проблема неправильного использования искусственного интеллекта. Неправильное использование искусственного интеллекта для анализа данных усугубляется нехваткой специалистов, недоверием к технологиям и низким качеством данных, снижая точность предиктивной диагностики и приводя к ложным срабатываниям или упущенным сбоям. Интеграция искусственного интеллекта требует улучшения качества данных, обучения персонала и изменения корпоративной культуры для повышения доверия к технологиям [7].

Проблема высокой стоимости внедрения. Высокая стоимость внедрения — от приобретения датчиков до интеграции ПО — делает системы недоступными для малых и средних предприятий, ограничивая их распространение, вызывая неравенство в отрасли и тормозя общий прогресс цифровизации. Чтобы снизить стоимость, предлагается поэтапное внедрение, начиная с пилотных проектов, и использование открытых стандартов. Стремиться следует к комплексным системам, сочетающим IoT для сбора данных, цифровые двойники для моделирования и искусственный интеллект для предиктивной аналитики, что позволит перейти от реактивного к проактивному обслуживанию.

Примеры внедрения систем мониторинга в России. В России наблюдается активное развитие систем мониторинга. Компания «СИБУР» обладает одной из крупнейших сетей IoT-устройств среди промышленных предприятий, включая датчики для анализа вибраций, температуры и химических параметров. Внедрение IoT-платформы в 2021 году позволило оптимизировать процессы, включая удаленный мониторинг опасных объектов. Это снизило время инвентаризации с 3,5 месяцев до 12 дней и уменьшило эквивалент полной занятости, в 5 раз, с ежегодных 528 часов до 100 часов. Система использует взрывозащищенные датчики, устойчивые к температурам от -56°C до $+50^{\circ}\text{C}$, и интегрируется с корпоративными хранилищами данных [8]. Система «ПРАНА» применяется для акустико-эмиссионного мониторинга в химической отрасли, отслеживая оборудование, такое как колонны, реакторы, теплообменники

и трубопроводы. Метод акустической эмиссии фиксирует высокочастотные сигналы от развивающихся дефектов, позволяя предсказывать сбои на ранних стадиях. Это предотвращает аварии, контролирует недоступные зоны и снижает частоту инспекций, продлевая срок службы оборудования. «ПРАНА» снижает затраты на ремонт и минимизирует простои, обеспечивая прогнозирование безаварийного времени на основе энергии сигналов [9]. На нефтеперерабатывающих заводах (аналогично химическим производствам) внедряются проводные системы мониторинга из-за РЭБ, где Wi-Fi запрещен, а кабели прокладываются на больших территориях (до 3×3 км). Компания «PUMP» использует локализованные отечественные блоки «Вега МТХ» и «Вега Абсолют» для IoT-устройств, переходя от итальянских к китайским компонентам для импортозамещения, что повышает надежность диагностики в условиях помех. Такие решения обеспечивают непрерывный мониторинг параметров оборудования, минимизируя риски сбоев [7].

Статистика и перспективы развития. Согласно данным, рынок цифровых технологий в химической отрасли России к 2030 году вырастет на 22 %, с фокусом на IoT-системы и цифровые двойники, что приведет к снижению аварий на 40 % и повышению операционной эффективности на 30-50 %. В 2025 году объем рынка IoT (общая стоимость товаров или услуг, проданных в отрасли за определенный период) в химической промышленности достигнет 97,32 млрд долларов США при среднегодовом темпе роста (Compound Annual Growth Rate, CAGR) 21,1 %. CAGR — это показатель, который измеряет средний годовой темп роста какого-либо параметра (например, прибыли или инвестиций) за определенный период времени, предполагая, что этот рост был равномерным. Рынок цифровых двойников в России прогнозируется на уровне 24,48 млрд долларов в 2025 году с среднегодовым темпом роста в 40,1 % до 2032 года [10].

Заключение. На основе реальных примеров, таких как IoT-системы «СИБУР», акустико-эмиссионный мониторинг «ПРАНА» и локализация в компании «PUMP», а также статистики роста рынка (средний годовой темп роста — 21,1 % для IoT), оценены перспективы развития систем диагностики и мониторинга в химической промышленности России выглядят оптимистично. Несмотря на проблемы зависимости от импорта, РЭБ, интеграции с унаследованными-системами и отсутствия стандартов IoT, высоких затрат, пути решения через импортозамещение, интеграцию искусственного интеллекта, стандартизацию и адаптацию ИТС позволяют минимизировать риски. Комплексный подход обеспечит конкурентоспособность отрасли, снижение аварий на 40 % и рост операционной эффективности.

Список источников

- [1] *Integrating Legacy Systems for Industry 4.0 Success. IIoT World.* URL: <https://www.iiot-world.com/smart-manufacturing/discrete-manufacturing/integrating-legacy-systems-modern-technologies/> (дата обращения 12.09.2025).

-
- [2] *Digital Twin Security: A Comprehensive Survey on Challenges, Opportunities, and Future Directions. Artificial Intelligence Review*, 2024. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10462-024-10805-3> (дата обращения 18.09.2025).
 - [3] *Overcoming the Top 10 Industrial IoT Challenges in Sustainable Manufacturing. Sustainable Manufacturing Expo*. URL: <https://www.sustainablemanufacturingexpo.com/en/articles/overcoming-iot-challenges.html> (дата обращения 08.09.2025).
 - [4] Новак А.В. Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей. Приказ Министерства энергетики РФ от 26 июля 2017 г. № 676 Гарант. 2017. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71679722/> (дата обращения 01.09.2025).
 - [5] Дайнеко Д.В. Тенденции цифровизации химической отрасли в России и за рубежом. *Московский экономический журнал*, 2024, т. 9, № 5. URL: <https://e-integral.ru/ru/nauka/article/84211/view> (дата обращения 01.09.2025).
 - [6] Dayneko D., Dayneko A., Dayneko V. Trends of digitalization in the Chemical industry in Russia and abroad. *E3S Web of Conferences*, 2024, vol. 549, art. no. 08015.
 - [7] *IoT в России: проблемы, решения, тенденции. Новостной портал Новокуйбышевска*. URL: <https://gorodnsk63.ru/59014> (дата обращения 05.09.2025).
 - [8] *Technology innovations for our customers. Oldmagazine Sibur*. URL: <http://oldmagazine.sibur.ru/en/21/article/focus/technology-innovations-for-our-customers/> (дата обращения 11.09.2025).
 - [9] *Monitoring in chemical and mining industries — PRANA predictive analytics system. Prana System*. URL: <https://prana-system.com/en/industry-solutions/chemical-industry/> (accessed 13.09.2025).
 - [10] *Russia Digital Twin Market Research Report, 2030. Actual Market Research*. URL: <https://www.actualmarketresearch.com/product/russia-digital-twin-market> (accessed 18.09.2025).