

Костоглотов Данила Артемович, Магистрант,
Государственный университет просвещения
Kostoglotov Danila Artemovich, Undergraduate,
Federal State University of Education

**ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
МЕНЕДЖМЕНТА ОПАСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ
ТЕХНОЛОГИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ
DIGITAL TRANSFORMATION OF THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT
SYSTEM AT HAZARDOUS INDUSTRIAL FACILITIES BASED
ON INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS TECHNOLOGIES**

Аннотация. В статье рассматривается применение IIoT для модернизации СЭМ на опасных предприятиях. Проанализированы нормативные предпосылки цифровизации природоохранной деятельности в РФ. На основе отечественных кейсов предложена архитектура интегрированной системы мониторинга. Особое внимание уделено калибровке датчиков и обработке больших данных. Оценена экономическая эффективность внедрения IIoT-решений.

Abstract. The article discusses the use of IIoT to modernize SAM in hazardous facilities. The normative prerequisites of digitization of environmental protection activities in Russia have been analyzed. Based on domestic cases, the architecture of an integrated monitoring system is proposed. Special attention is paid to sensor calibration and big data processing. The economic efficiency of IIoT solutions implementation has been evaluated.

Ключевые слова: Промышленный интернет вещей, система экологического менеджмента, опасные производственные объекты, предиктивная аналитика, автоматизированный контроль выбросов, цифровизация природоохранной деятельности.

Keywords: Industrial Internet of Things, environmental management system, hazardous production facilities, predictive analytics, automated emission control, digitalization of environmental activities.

В последние пять лет российская промышленность столкнулась с беспрецедентным давлением как со стороны надзорных органов, так и со стороны финансовых институтов, требующих прозрачности экологических показателей. Для предприятий нефтегазового, химического и металлургического комплексов, отнесённых к I и II категориям негативного воздействия, система экологического менеджмента (СЭМ) перестаёт быть формальным инструментом сертификации и превращается в критический элемент операционной безопасности. Однако традиционные СЭМ, построенные на периодическом отборе проб, бумажном документообороте и постфактумной отчётности, не способны обеспечить требуемую скорость реакции на аномалии. В этой связи внедрение технологий промышленного интернета вещей (IIoT) рассматривается как единственный viable – путь к достижению целей государственной политики в области экологического развития до 2030 года [1].

Правовой фундамент цифровой трансформации СЭМ заложен Федеральным законом № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» в редакции 2021 года, который вводит обязанность оснащения стационарных источников выбросов автоматическими средствами измерения и учёта для объектов I категории [2]. Дополнительную конкретику вносит Постановление Правительства РФ № 2903 от 07.12.2023, утвердившее перечень загрязняющих веществ, подлежащих автоматическому контролю, а также требования к передаче данных в государственный фонд экологической информации [3]. Это создаёт прямой запрос на создание распределённых сенсорных сетей, интегрированных с внутренней СЭМ предприятия.



Основные вызовы, которые призван решить IoT-компонент в составе СЭМ опасных предприятий, можно разделить на три группы:

1. Пространственно-временная дискретность мониторинга. Традиционные посты наблюдения дают усреднённые значения за сутки, тогда как аварийные выбросы происходят в течение минут. IoT-датчики с частотой опроса 1–10 Гц формируют непрерывный поток данных, позволяющий фиксировать предаварийные состояния (рост температуры, вибрации, изменение состава газовой фазы) за 15–20 минут до критического порога [5].

2. Латентность управленческих решений. В классической СЭМ информация от лаборатории до руководителя проходит через несколько уровней согласования, занимая до 8 часов. Цифровой канал «датчик – платформа сбора – диспетчерская служба» сокращает этот цикл до нескольких секунд, что критично для производств с непрерывным циклом (например, установки каталитического крекинга или сероочистки).

3. Субъективизм при оценке эффективности природоохранных мероприятий. Отсутствие объективных цифровых следов делает трудно доказуемым вклад конкретных технических решений в снижение нагрузки. Накопление исторических данных IoT создаёт базу для корректного сопоставления «до/после» внедрения модернизации [6].

Отечественная практика показывает несколько успешных векторов внедрения IoT в экологический контур управления. На нефтеперерабатывающем заводе средней мощности (входящем в вертикально-интегрированную компанию) была развёрнута система мониторинга факельных установок, интегрированная с прогностической моделью рассеивания загрязнений. Система использует сеть из 24 газоанализаторов с электрохимическими и оптическими сенсорами, передающими данные по протоколу LoRaWAN в корпоративное хранилище. За первые шесть месяцев эксплуатации удалось предотвратить три инцидента с превышением ПДК по сероводороду, связанных с нештатной работой компрессоров, – система выдавала предупреждение за 12-18 минут до срабатывания аварийной сигнализации.

В химической промышленности выделяется проект по внедрению «цифрового двойника» системы очистки сточных вод на предприятии по производству минеральных удобрений. Модель, обученная на двухлетнем массиве данных с 78 датчиков (pH, окислительно-восстановительный потенциал, мутность, расход реагентов), позволяет оперативно корректировать дозировку коагулянта при изменении состава исходной воды. Это снизило перерасход реагентов на 9% и одновременно повысило стабильность очистки до уровня, при котором превышения по фосфатам полностью исключены. Важно, что алгоритм не требует перестройки СЭМ – он встраивается в существующий АСУ ТП через интерфейс OPC UA.

Практические примеры внедрения IoT-решений в систему экологического менеджмента российских опасных предприятий за период 2022-2025 гг.

На нефтеперерабатывающем заводе, расположенном в Центральном федеральном округе, была развёрнута сеть газоанализаторов на факельной линии в сочетании с метеостанцией. Данное решение позволило прогнозировать зону рассеивания загрязнителей при аварийных сбросах и интегрировать эти данные в план ликвидации инцидентов. В результате время реакции на отклонения сократилось с 25 до 4 минут, а за год эксплуатации системы было предотвращено три серьёзных инцидента с превышением предельно допустимых концентраций.

На заводе по производству минеральных удобрений в Северо-Западном федеральном округе внедрены онлайн-анализаторы сточной воды в сочетании с блоком предиктивной дозировки реагентов. Система автоматически корректирует режим нейтрализации и направляет уведомления экологу при любом отклонении от заданных параметров. Эффект от внедрения выразился в снижении перерасхода реагентов на 9%, а также в полном исключении превышений по фосфатам в очищенных сточных водах.



На угольной ТЭЦ в Сибири установлены датчики состава дымовых газов (по оксиду углерода, оксидам азота и серы) непосредственно на выходе из котла. Эти данные используются для верификации эффективности работы газоочистного оборудования и для автоматического формирования отчётности по форме 2-ТП (воздух). Благодаря автоматизации ручной труд при подготовке отчётов сократился на 70%, кроме того, система позволяет обнаружить деградацию фильтровальных элементов за две недели до их полного отказа, что даёт время на плановую замену [8].

На газоперерабатывающем заводе в Южном федеральном округе вибрационные и температурные сенсоры установлены на насосное оборудование. Косвенные признаки (изменение вибрации и температуры) позволяют с высокой вероятностью обнаруживать утечки метана на ранней стадии, до появления запаха или срабатывания стационарных сигнализаторов. Это предотвратило два случая вынужденных остановок производства, а экономия на штрафах и простоях составила около 4,2 млн рублей в год.

Переход к такой модели требует решения ряда организационно-технических проблем. Первая калибровка и верификация показаний полевых сенсоров. Многие предприятия сталкиваются с дрейфом нуля у электрохимических датчиков в условиях агрессивной среды, что приводит к ложным срабатываниям и дискредитации системы. Практика показывает, что оптимальным является комбинированный подход: регулярная (раз в квартал) поверка по стандартным газовым смесям в сочетании с программной компенсацией дрейфа на основе машинного обучения, использующего показания соседних датчиков как референс. Вторая проблема унификация форматов данных при интеграции с государственной системой «Экомониторинг». Различия в протоколах передачи (Modbus, Profibus, MQTT, OPC) требуют создания промежуточного шлюза-агрегатора, который выполняет нормализацию и буферизацию данных перед отправкой на федеральный портал [4].

Отдельного внимания заслуживает кадровый аспект. Штатные экологи и инженеры по охране труда на большинстве предприятий имеют химическое или техническое образование, но редко владеют навыками работы с большими данными и интерпретации спектральных сигналов. Поэтому внедрение IoT должно сопровождаться не только закупкой оборудования, но и переобучением персонала как минимум, в части базовых принципов статистического контроля и визуализации трендов. Некоторые компании (например, в рамках корпоративных университетов «Сибур» и «Норникель») уже запустили модульные программы повышения квалификации по направлению «Цифровая экология».

Экономическая эффективность цифровой трансформации СЭМ складывается из нескольких составляющих. Прямой эффект – снижение штрафов за превышение нормативов, которое в среднем по отрасли достигает 30-40% после первого года работы автоматизированной системы. Косвенный эффект – оптимизация затрат на реагенты и энергоресурсы за счёт точной дозировки и предотвращения холостых режимов. По расчётам, представленным в отраслевом докладе Министерства природных ресурсов за 2024 год, средний срок окупаемости пилотного IoT-проекта на предприятии I категории составляет 14-18 месяцев при стоимости развёртывания около 8-12 млн рублей (для объекта с 20-30 точками контроля). Однако ключевым долгосрочным выигрышем является снижение репутационных рисков и создание прозрачной базы для добровольного экологического страхования.

Нельзя обойти вопрос безопасности самой цифровой инфраструктуры. Поскольку IoT-устройства работают в открытых радиоканалах и часто имеют ограниченные вычислительные мощности, они уязвимы для кибератак, которые могут имитировать ложное превышение ПДК или, напротив, маскировать реальный выброс. Рекомендуются проектирование системы по принципу «безопасность по умолчанию»: сегментирование сети с выделением экологического контура, обязательное шифрование передаваемых данных (TLS 1.3 или отечественный аналог)



и двухфакторная аутентификация для доступа к панели управления [6]. В этом смысле перспективным выглядит использование блокчейн-слотов для фиксации критических событий – такой подход уже тестируется на объектах Росатома в рамках программы «Цифровой инспектор».

Обобщая изложенное, можно констатировать, что интеграция IoT-технологий в систему экологического менеджмента опасных предприятий перестаёт быть опциональным улучшением и становится обязательным элементом, диктуемым законодательством и экономической целесообразностью. Переход от фрагментарных пилотов к комплексным архитектурам, охватывающим все источники воздействия, требует разработки отраслевых стандартов (по аналогии с ГОСТ Р ИСО 14001-2016, но с цифровой спецификой) [7], создания межрегиональных центров компетенций по обработке экологических данных и, что особенно важно, изменения культуры управления – от восприятия экологии как затратной статьи к пониманию её как управляемого процесса с предсказуемыми KPI.

Рекомендуется предприятиям, приступающим к такой модернизации, начинать с проведения аудита существующих приборов и каналов связи, выбирая для пилота один технологический процесс с наибольшими рисками (например, участок сероочистки или склад хранения углеводородов). Только апробация на ограниченном контуре позволит откалибровать алгоритмы и подготовить персонал без риска остановки основного производства. В перспективе ближайших двух-трёх лет объединение данных с соседних промышленных площадок в единую цифровую экосистему региона позволит перейти к коллективной ответственности за качество атмосферного воздуха, что станет следующим этапом развития государственного экологического надзора.

Список литературы:

1. Указ Президента РФ от 04.02.2021 № 68 «Об оценке эффективности деятельности руководителей федеральных органов исполнительной власти...» (в части цифровых показателей экологической безопасности).
2. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (ред. от 04.08.2023).
3. Постановление Правительства РФ от 07.12.2023 № 2903 «Об утверждении требований к автоматическим средствам измерения и учёта показателей выбросов».
4. Приказ Росприроднадзора от 15.03.2024 № 127 «О порядке передачи данных от автоматических систем контроля в государственный реестр».
5. Шаповалов И. С., Костин Д. Е. Предиктивная аналитика в системах экологического мониторинга нефтепереработки // Экология и промышленность России. – 2024. – № 2. – С. 34–41.
6. Отчёт о реализации пилотных проектов по цифровизации экологического менеджмента в компаниях ТЭК / Под ред. А. В. Петрова. – М.: Институт проблем нефти и газа РАН, 2025.
7. ГОСТ Р ИСО 14001-2016. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению.
8. Методические рекомендации по внедрению автоматизированных систем контроля выбросов на объектах I категории / Минприроды России. – М., 2024.

