

Оптимизация параметров технической безопасности в контексте экологизации логистической деятельности предприятий



А. Р. Михайленко,
аспирант кафедры
производственного
менеджмента Луганского
государственного
университета имени
Владимира Даля
(ЛГУ им. В. Даля)



А. В. Родионов,
д-р экон. наук, профессор,
заведующий кафедрой
производственного
менеджмента ЛГУ
им. В. Даля

Анализ актуальных методик прецизионной настройки техногенной безопасности логистических предприятий в условиях мировой тенденции к «зеленым» цепям поставок показывает, что прогрессивный рост надежности и отказоустойчивости инженерных систем линейно снижает антропогенное давление на биосферу и способствует минимизации совокупного углеродного следа компании.

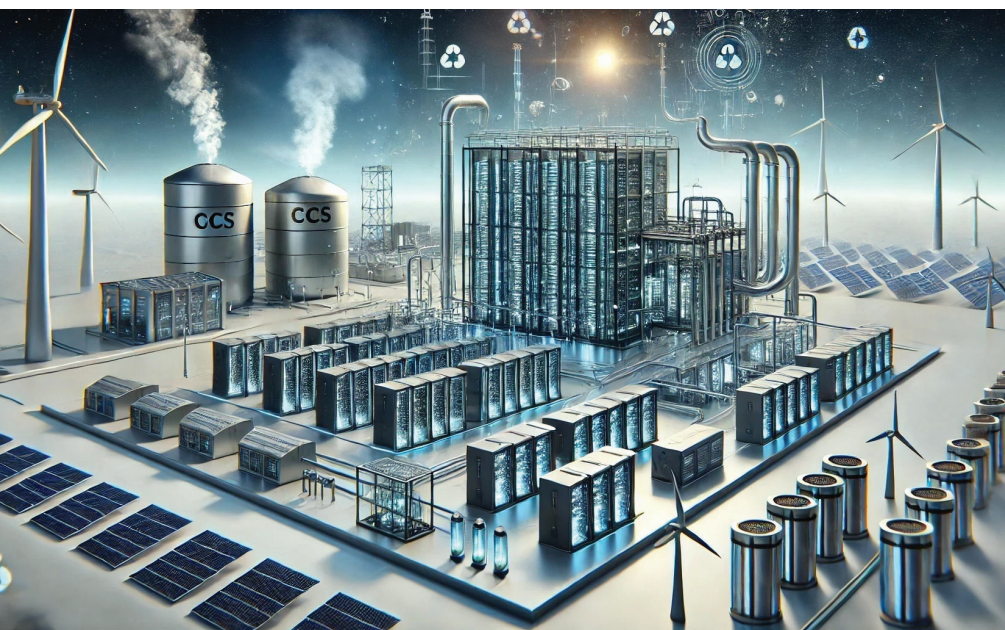
Современные глобальные цепи поставок находятся в стадии глубокой трансформации под давлением ужесточающихся экологических регуляторов и растущего общественного запроса на корпоративную устойчивость и отчетность [1, 2]. В рамках этой новой парадигмы вопросы технической безопасности на логистических объектах уже нельзя рассматривать как изолированную процедуру, направленную исключительно на снижение травматизма и прямых убытков. Они превращаются в базовый инструмент реализации стратегий декарбонизации, циркулярной экономики и «зеленого» роста компаний [2].

Иными словами, сегодня мало обеспечить безаварийность складов, автопарка и терминалов. Необходимо, чтобы эксплуатация активов одновременно способствовала сокращению углеродного следа, экономии ресурсов и минимизации воздействия на экосистемы.

Текущее техническое состояние подвижного состава, складской техники и инженерной инфраструктуры прямо влияет на ресурсный и углеродный профиль предприятия. Чем выше степень износа, чаще внеплановые простои и слабее цифровой контроль критических параметров, тем больше нецелесообразных расходов энергии, выше эмиссия парниковых газов и риск техногенных аварий с экологическими последствиями.

Согласно отраслевому обзору 2024 г., до 37–42 % инцидентов в логистике связаны именно с техническими отказами. При этом в 78 % случаев фиксируется сопутствующий экологический ущерб: разливы горюче-смазочных материалов, утечка смазок, повреждение опасных грузов. Статистика однозначно демонстрирует: надежность оборудования, цифровое техобслуживание и экологическая безопасность образуют единую взаимозависимую систему, где отказ любого элемента оборачивается как экономическими, так и природоохранными издержками [3].

Ключевым испытанием для современной промышленной инфраструктуры остается комбинированный риск, при котором единичная неисправность



оборудования способна вызвать цепочку неблагоприятных последствий для экосистем. Речь идет не просто о локальном отказе компонента, а о феномене «технологической домино-реакции», когда сбой техники мгновенно переходит в экологическую плоскость и приводит к загрязнению почвы, гидросферы либо атмосферы.

Так, простая поломка подъемно-транспортного устройства на складе нередко оборачивается не только утратой товарного запаса, но и разгерметизацией емкостей с химическими реактивами или нефтепродуктами. Классический пример: при выходе из строя гидросистемы вилочного погрузчика машина теряет устойчивость, падает и деформирует бочки с кислотами либо канистры с горючим, мгновенно формируя угрозу для персонала и биосферы.

Согласно сводной отчетности Росприроднадзора за 2020–2024 гг., около 23% всех аварийных проливов нефтепродуктов на складских площадках инициировано именно отказами гидравлических схем у погрузчиков и штабелеров. Каждое подобное происшествие загрязняло грунт на площади от 50 до 300 м². Прямые расходы на рекультивацию колебались в диапазоне 1,2–4,5 млн руб. Причем в эту сумму не входят убытки из-за простоя склада, порчи груза и штрафных санкций — учтены только затраты на очистку почвенного горизонта.

Аналогичная логика прослеживается в транспортном секторе. Дефекты контуров мониторинга выбросов в магистральных дизельных тягачах или микротрещины топливных баков неизбежно ускоряют эмиссию парниковых газов. Если датчик выдает искаженные показания, блок управления двигателем переводит агрегат в «богатый» режим, что ухудшает полноту сгорания дизтоплива. Лабораторные стендовые тесты фиксируют рост выбросов оксидов азота на 18–25% [4], а при нарушении герметичности топливной рампы удельный расход солярки повышается на 7–12% с параллельным скачком. Микротрещины снижают давление, ухудшают распыл и усиливают диффузные утечки топлива — отсюда прямой перерасход и дополнительная эмиссия.

Вывод очевиден: параметры промышленной безопасности следует оптимизировать сквозь призму эколого-ориентированного риск-менеджмента. Планируя ремонты, закупки и регламенты, предприятие обязано одновременно защищать людей от травм и природу от загрязнений. Стратегический вектор —

эволюция от классического регламентного сервиса к предиктивному и проактивному обслуживанию [5].

Система «по графику» либо приводит к завышенным издержкам, либо не успевает перехватить отказ, тогда как предиктивная концепция использует непрерывный сбор телеметрии. Развернутые сети и распределенные сенсорные узлы передают в режиме реального времени данные о вибрациях, температурах, давлениях и энергоемкости критических узлов. Алгоритмы машинного обучения обрабатывают поток и вычисляют вероятность сбоя задолго до наступления критического состояния. Например, аномальный рост вибрации подшипника или перегрев гидрораспределителя детектируются за несколько недель до фактической поломки, позволяя провести плановую замену без внеплановой остановки.

Показателен кейс логистического хаба «Северный» (Ленинградская обл.) [6]. Интеграция предиктивной аналитики для 26 мостовых кранов и 112 электропогрузчиков за 18 мес уменьшила число внеплановых простоев на 63% (с 41 до 15), предотвратила восемь потенциальных проливов гидравлической жидкости (5–60 л) и сократила выбросы CO₂ на 210 т/год за счет исключения холостых прогревов аварийной техники.

Даже небольшой пролив 5–10 л гидравлики обычно требует извлечения и очистки десятков кубометров почвы, что эквивалентно сотням тысяч рублей. Поэтому превентивные алгоритмы дают не только производственный, но и зримый экологический эффект. Переход к «зеленой» логистике диктует пересмотр критериев отбора подвижного состава.

В пакет техбезопасности теперь вшивается соответствие двигателей актуальным экологическим нормам (Евро-6, Евро-7)¹. Масштабный риск-анализ включает не только проверку тормозной и рулевой систем, но и верификацию устройств доочистки. Экологическая оптимизация требует не столько закупки «чистых» машин, сколько строгого мониторинга их состояния: регенерация сажевого фильтра, диагностика клапанов и калибровка датчиков должны идти строго по плану.

Инструментальные замеры 87 грузовых автомобилей выявили: пропуск регенерации всего на 2000 км увеличи-

вает выбросы твердых частиц (particulate matter, PM) в 3,2–4,5 раза, а неисправный клапан повышает относительно нормы Евро-6 на 34% (с 0,46 до 0,62 г/кВт·ч) [7]. При этом техника визуально «исправна», что маскирует экологический ущерб.

Росприроднадзор зафиксировал 12 штрафных кейсов (200–850 тыс. руб.) за превышение выбросов вследствие невнимания к техсостоянию — и это лишь вершина айсберга по сравнению с реальным ущербом для здоровья и экосистем. Современная повестка становится катализатором тотальной модернизации складской логистики и усиливает взаимосвязь между производственной и экологической безопасностью.

Предприятия, нацеленные на сертифициацию или попадание в рейтинги устойчивого развития, внедряют комплексные платформы вместе с роботизированными комплексами. Корректно настроенные алгоритмы маршрутизации сокращают долю ручного труда и оптимизируют траектории движения техники. Роботы не устают, не отвлекаются, двигаются по заранее вычисленным путям, что уменьшает вероятность коллизий и повреждений.

Данные дистрибуционного центра «Логистик-Центр» (Казань) за 2023–2024 гг. показывают [8]: после пуска 24 автономных роботов-паллетеров столкновения техники снизились на 76% (с 17 до 4), повреждения стеллажей с опасными грузами — на 100%. Экологический бонус проявился в сокращении простоев оборудования (–142 моточаса ежемесячно), уменьшении суммарного пробега погрузочной техники на 19%, экономии дизельного топлива на 23,7 т/год и снижении локальных эмиссий CO₂ на 74,8 т, плюс сокращение сажевых выбросов на 0,9 т.

Таким образом, технологическая надежность и экологическая результативность образуют самоподдерживающуюся систему метрик. Предиктивное обслуживание, IoT-мониторинг и роботизация, введенные для минимизации аварийного простоя, одновременно дают измеримый «зеленый» эффект. Эра, когда безопасность рассматривалась отдельно от экологии, окончательно ушла. Сегодня любое технико-экономическое решение оценивается сквозь призму способности снизить как операционные, так и природоохранные риски.

Заключительным, но принципиально важным элементом целостной экосистемы промышленной и экологической безопасности, выступает умелое управление

¹ Техрегламент Таможенного союза «О требованиях к выбросам вредных (загрязняющих) веществ автомобильной техникой» (ТР ТС 018/2011) в редакции от 14.10.2021, уточняющей пределы по стандартам Евро-6 и Евро-7.

инцидентами и молниеносное аварийное реагирование. Никакая, даже самая продвинутая предиктивная платформа, опирающаяся на машинное обучение и многослойную телеметрию, не способна устранить все риски: остаются человеческие ошибки, непредвиденные внешние воздействия, латентные конструктивные дефекты. Поэтому критична готовность быстро нивелировать последствия, ограничив их радиус и длительность.

Современная интегрированная система должна включать детально регламентированные сценарии ликвидации угроз для окружающей среды: разгерметизации цистерн с едкими реагентами, пожары с выбросом токсичных аэрозолей, утечки углеводородов. Четкость этих сценариев немыслима без соответствующей материально-технической базы: мобильных сорбирующих боновых заграждений, каскадно-модульных установок пожаротушения, спецконтейнеров для временного хранения загрязненного грунта, а также без регулярных тренингов, ролевых учений и пост-аудитов реагирования.

Например, при проливе кислоты важна не только быстрая сборка жидкости, но и ее химическая нейтрализация с последующей безопасной утилизацией абсорбента. Для этого нужны тест-комплекты pH-контроля, щелочные реагенты-нейтрализаторы и комбинезоны. Трехлетний мониторинг 15 логистических терминалов с совокупным грузооборотом 2,4 млн т опасных веществ показал [9]: наличие штатного аварийного комплекта (сорбенты, коагулянты, нейтрализаторы) и ежеквартальные тренировки персонала сократили среднее время локализации пролива с 47 до 12 мин, уменьшив площадь загрязнения на 65–80 %.

По методике Минприроды предотвращенный экологический ущерб составил 1,5–9,8 млн руб. на предприятие ежегодно. Тем самым капитальные инвестиции в техническую защиту логистических цепочек напрямую конвертируются в усиление экологической устойчивости компании и сокращение суммарных долгосрочных издержек: штрафы за просроченную ликвидацию разливов (средняя сумма около 450 тыс. руб.), восстановительные работы, расходы на судебные споры.

Причем репутационный урон зачастую превосходит прямые финансовые потери: контрагенты и клиенты все чаще расторгают договоры с организациями,

допускающими серьезные экаврии. Следовательно, предприятие эволюционирует от формального соблюдения нормативов к проактивному, стратегическому управлению устойчивостью. Безопасность перестает быть «статьей издержек» и превращается в конкурентное преимущество и драйвер долгосрочной эффективности бизнеса в условиях становления «зеленой» экономики и ужесточения требований заинтересованных сторон.

Глубокий аудит методов повышения технической безопасности в логистических контурах позволил сформулировать ряд ключевых выводов:

Доказано, что системная инженерная надежность всего парка материально-технических активов является краеугольным камнем экологической устойчивости предприятия. Дефекты, обнаруженные средствами неразрушающего контроля, вибродиагностики и тепловизионного анализа еще на предаварийной стадии, предотвращают разгерметизации, проливы и нештатные выбросы, тем самым кардинально снижая интегральный экориск.

Переход к предиктивному обслуживанию, опирающемуся на сенсорiku и алгоритмы машинного обучения, одновременно усиливает промышленную безопасность и оптимизирует потребление энергии, горюче-смазочных и упаковочных материалов, полностью соотносясь с принципами «зеленой» логистики и рекомендациями.

Сквозная цифровизация складских, транспортных и информационных потоков становится системообразующим драйвером снижения антропогенного следа. Продвинутое модули и цифровые двойники маршрутов сокращают холостые пробеги, а интеллектуальные частотно-регулируемые приводы повышают коэффициент полезного действия оборудования.

Глубокая интеграция природоохранных регламентов в процедуры обеспечения устойчивое снижение эксплуатационных затрат и практически обнуляет риск штрафных санкций за экологические нарушения.

Заключительный тезис: необходима единая управленческая концепция, в рамках которой техническая надежность и экологичность трактуются как взаимодополняющие детерминанты конкурентоспособности логистического бизнеса, превращающие расходы на безопасность в стратегические инвестиции и подкрепляющие устойчивое развитие

в условиях ужесточающегося эконадзора и ускоренного перехода к циркулярной экономике. T

Литература

1. Иванов Д. А. Управление цепями поставок в условиях высокой неопределенности: теоретические основы и прикладные решения обеспечения устойчивости. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2019. 312 с.
2. Ерофеева Н. И. Экологически ориентированная логистическая концепция стратегический инструмент обеспечения устойчивого развития транспортных предприятий // Логистика и менеджмент цепей поставок. 2020. Вып. 4 (105). С. 45–52.
3. Сидоренко В. Н. Техносферная безопасность логистических систем: монография. М.: Инфра-М, 2022. 195 с.
4. Отчет о стендовых испытаниях дизельных силовых установок, оснащенных некалиброванными NO_x-датчиками / испытательный центр ООО «Дизель-Тест». М., 2023. 12 с.
5. Федоров М. С. Предиктивное обслуживание как ключевой инструмент повышения эксплуатационной надежности и отказоустойчивости транспортного оборудования // Вестник транспорта. 2021. № 1. С. 34–41.
6. Технический отчет «Эффективность внедрения предиктивной аналитики в работе логистического комплекса «Северный» (Ленинградская область) / науч. ред. И. В. Соколов. СПб., 2025. 28 с.
7. Исследование воздействия пропуска плановой регенерации дизельного сажевого фильтра и некорректной работы клапана рециркуляции EGR на уровень эмиссии твердых частиц (PM) и оксидов азота (NO_x) в парке тягачей Scania, Volvo и KAMAZ / под науч. ред. В. А. Трофимова. М.: НИИ автомобильного транспорта, 2024. 34 с.
8. Практика цифровизации и автоматизации распределительного хаба «Логистик-Центр» (Казань): аналитический доклад о внедрении робототехнических комплексов / АО «Логистик-Центр». Казань, 2024. 41 с.
9. Комплексное трехлетнее исследование результативности систем аварийного реагирования на пятнадцати логистических объектах (суммарный оборот опасных грузов 2,4 млн т): обобщенный аналитический доклад / Межрегиональная ассоциация промышленной и экологической безопасности. Екатеринбург, 2025. 53 с.