

УДК 629.4.069

Разработка архитектуры единой цифровой платформы интеграции телематических данных автономных рефрижераторных вагонов с корпоративными системами ОАО «РЖД» на основе технологий промышленного интернета вещей и блокчейна

А.В. Шевченко

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта», Россия, 127055, Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9

Для цитирования: *Шевченко А. В.* Разработка архитектуры единой цифровой платформы интеграции телематических данных автономных рефрижераторных вагонов с корпоративными системами ОАО «РЖД» на основе технологий промышленного интернета вещей и блокчейна // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2026. Т. 23, вып. 2. С. 264–276. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-2-264-276

Аннотация

Статья посвящена решению актуальной проблемы фрагментации данных в процессе эксплуатации автономных рефрижераторных вагонов (АРВ) на сети железных дорог ОАО «РЖД». Ключевой задачей является разработка архитектуры единой цифровой платформы, автоматизация информационного поля, образуемого системами бортовой телематики (данные о температуре, местоположении, параметрах работы оборудования), его бесшовная интеграция с данными от корпоративных автоматизированных систем (АСУ) ОАО «РЖД» и объединение с внутренними системами оперативного, коммерческого и технического учета. **Цель:** разработка единой цифровой платформы АРВ, обеспечивающей формирование общего источника достоверных данных, сохранность грузов и безотказность оборудования АРВ. **Материалы и методы:** в работе использованы методы системного анализа для существующих решений в телематике рефрижераторного подвижного состава. Выявлены несовершенства информационного обмена между системами и проведена формализация требований к платформе. Принципы сервис-ориентированной архитектуры (СОА) использовались для проектирования архитектуры единой цифровой платформы АРВ. Концепции промышленного интернета вещей (IIoT) применялись для сбора данных от различных систем, а правила гибридного управления данными («единый слой данных» — Data Fabric) — для интеграции и обработки этих данных. **Результаты:** внедрение предложенной платформы позволит преодолеть проблемы разрозненности и запаздывания информации, оптимизировать логистические процессы, создать единый источник достоверных данных, реализовать переход к обслуживанию по фактическому состоянию и повысить безопасность движения поездов. **Практическая значимость:** информация от бортовых систем АРВ и от корпоративных АСУ ОАО «РЖД» поступает бессвязно, что требует ручного сопоставления данных и, как следствие, приводит к запаздыванию реакции на инциденты, что влечет порчу груза. Результаты работы позволят существенно увеличить эффективность использования рефрижераторного парка, обеспечить сохранность грузов, снизить операционные затраты и укрепят конкурентные позиции железнодорожного транспорта на рынке перевозок скоропортящихся продуктов.

Ключевые слова: автономный рефрижераторный вагон, телематика, интеграция данных, предиктивная аналитика

Введение

Перевозка скоропортящихся грузов железнодорожным транспортом представляет собой стратегически важный и технологически сложный сегмент логистики, обеспечивающий продовольственную безопасность и функционирование фармацевтической отрасли. Объем таких перевозок в России ежегодно составляет десятки миллионов тонн, а их стоимостное выражение исчисляется сотнями миллиардов рублей. В условиях глобализации рынков и ужесточения требований к качеству и безопасности продукции гарантия соблюдения заданного температурно-влажностного режима на протяжении всего логистического цикла трансформируется из конкурентного преимущества в обязательное условие перевозочного процесса [1, 2].

Согласно Правилам перевозок железнодорожным транспортом скоропортящихся грузов, перевозчик обязан не только обеспечивать, но и документально подтверждать соблюдение температурного режима на всем пути следования [3]. Исторически эта задача решалась с помощью механических терморегистраторов, данные с которых считывались вручную каждые 500 км и по окончании рейса, что значительно увеличивало срок доставки груза даже при отсутствии отказов и их устранения.

Современные АРВ оборудуются бортовыми системами телематики, регистрирующими в реальном времени температуру в грузовом отсеке, параметры работы дизель-генераторной установки (ДГУ), уровень топлива, координаты посредством ГЛОНАСС/GPS, а также коды возникающих неисправностей [4]. Однако формируемый этими системами информационный поток зачастую существует в виде технологического «острова». Он не интегрирован с данными, генерируемыми и обрабатываемыми в корпоративных автоматизиро-

ванных системах учета (АСУ) ОАО «РЖД», такими как:

- Автоматизированная система «Электронная транспортная накладная» (АС «ЭТРАН») — ключевая система коммерческого учета, фиксирующая договорные отношения, маршрут, грузоотправителя и грузополучателя.
- Автоматизированная система учета и контроля выполненного ремонта и комплектации грузового вагона нового поколения (АС УКВ НП) — система технического учета, содержащая историю ремонтов, данные о комплектности и состоянии вагона.
- Единая комплексная система управления вагонным хозяйством (ЕК АСУВ) — система оперативного управления и планирования работы парка.

Этот «информационный разрыв» приводит к ряду критических проблем:

1. Ручной труд и ошибки. Диспетчеры, коммерсанты и технические специалисты вынуждены вручную сопоставлять данные из разных интерфейсов телематики и АСУ, что отнимает время и может являться источником ошибок.
2. Запаздывание реакции. Отсутствие автоматической привязки телеметрии к накладной делает невозможным мгновенное оповещение технического персонала о нарушении температурного режима. Реакция на инцидент происходит постфактум, когда груз уже может быть испорчен.
3. Сложность анализа. Невозможность проведения консолидированного анализа «больших данных» по всему парку для выявления закономерностей в отказах, оптимизации режимов работы и маршрутов.
4. Юридические риски. В спорных ситуациях с грузовладельцами данные телеметрии, хранящиеся у перевозчика, могут быть подвергнуты сомнению ввиду потенциальной возможности их изменения.

Таким образом, возникает острая необходимость в преодолении данной фрагментации через комплексную автоматизацию информационного поля и создание единого цифрового контура, обеспечивающего сквозной поток данных от датчиков на борту АРВ для всех заинтересованных сторон: диспетчеров, инженеров, грузовладельцев и систем бизнес-аналитики.

Преодолеть вышеуказанные проблемы возможно посредством разработки архитектурных и методологических решений для создания единой платформы автоматизации информационного поля телематики АРВ и его интеграции с АСУ ОАО «РЖД».

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести детальный анализ существующих систем телематики АРВ, корпоративных АСУ и выявить узкие места в обмене данными.

2. Сформулировать функциональные и технические требования к сквозному информационному потоку «борт — сервер — клиент» (где клиент — диспетчер, коммерсант, грузовладелец, система аналитики).

3. Спроектировать масштабируемую, отказоустойчивую архитектуру единой платформы сбора, обработки, обогащения и анализа данных.

4. Разработать математические модели и алгоритмы для ключевых сервисов платформы: предиктивного технического обслуживания (Predictive Maintenance) и логистической оптимизации.

5. Дать количественную оценку экономической, операционной и технологической эффективности внедрения предлагаемых решений.

Анализ существующих систем телематики АРВ и АСУ

Парк рефрижераторного подвижного состава характеризуется технологической неоднородностью, что обусловлено длительным

жизненным циклом вагонов и поэтапным внедрением новых систем мониторинга. Все решения можно условно классифицировать на три эволюционные группы (табл. 1).

Параллельно с телематикой существует контур автоматизированных систем учета (АСУ), который также не является единым. Данные о коммерческой операции (АС «ЭТРАН»), техническом состоянии (АС УКВ НП) и оперативном управлении (ЕК АСУВ) зачастую слабо связаны между собой и обновляются с разной цикличностью. Проблемы интеграции данных между этими двумя мирами — «физическим» (телематика) и «виртуальным» (учетные системы) — систематизированы в табл. 2.

Таким образом, создание надстройки в виде единой платформы автоматизации, выступающей «цифровым посредником» и «семантическим мостом» между бортовыми системами, инфраструктурой связи и АСУ, является необходимым эволюционным шагом.

Архитектура единой цифровой платформы автоматизации

Предлагаемая архитектура платформы, получившая условное название «Единый центр мониторинга АРВ» (ЕЦМ АРВ), представлена на рисунке. ЕЦМ АРВ строится на принципах сервис-ориентированной архитектуры (СОА), промышленного интернета вещей (IIoT) и концепции Data Fabric — единого слоя данных. Она представляет собой многоуровневую экосистему, обеспечивающую сквозной поток данных от сенсора до пользователя [8].

Буферный уровень сбора данных

Данный уровень обеспечивает взаимодействие с физическим миром. Его ключевая задача — надежный сбор данных в условиях нестабильной связи и технологического разнообразия. Этот уровень включает:

ТАБЛИЦА 1. Классификация и сравнительный анализ систем мониторинга АРВ

Группа систем	Технологические особенности	Преимущества	Недостатки	Примеры внедрения
Локальные регистраторы (Data Loggers)	Автономные устройства, записывающие температуру на внутреннюю память (флеш-накопитель). Данные считываются физически через интерфейс (USB) по прибытии вагона	Низкая стоимость; независимость от каналов связи; высокая точность	Полное отсутствие оперативности; риск потери/поломки носителя; высокие трудозатраты на сбор данных	Механические термографы, электронные логгеры «Термоконт», Testo
Системы спутниковой телематики с периодической передачей	Бортовой контроллер с GSM/GPRS- и ГЛОНАСС/GPS-модулями. Передает пакеты данных с заданным интервалом (от 30 с до нескольких часов) на сервер оператора	Периодический удаленный мониторинг; контроль местоположения	Зависимость от покрытия сотовых сетей; задержка данных; высокая стоимость трафика; отсутствие двусторонней связи	Системы «Транс-Телематика», «ГЛОНАСС-мониторинг» от различных вендоров (АО «НИАС», «М2М Телематика»)
Перспективные комплексы на основе IoT	Многосенсорные платформы с поддержкой двусторонней связи. Используют гибридные каналы (сотовая + спутниковая связь)	Высокая частота и оперативность данных; возможность удаленной диагностики и управления; сбор дополнительных параметров (влажность, CO ₂ , состояние дверей)	Высокая стоимость внедрения; сложность интеграции с другими бизнес-системами; требования к кибербезопасности	Пилотные проекты с использованием оборудования IQFreeze, ThermoFleet отечественной разработки [4, 5]

ТАБЛИЦА 2. Проблемы интеграции данных телематики АРВ и корпоративных АСУ

Категория проблем	Конкретные проявления	Последствия
Технологические	Разнородные протоколы передачи данных (CAN, Modbus, RS-485) и форматы сообщений от разных производителей бортового оборудования. Отсутствие единого отраслевого стандарта на телематический обмен для АРВ. Закрытые каналы передачи данных АСУ	Высокая стоимость разработки и поддержки множества адаптеров; технологическая зависимость от вендоров
Временные	Асинхронность потоков: телеметрия поступает непрерывно, а учетные события (погрузка, выгрузка, перевод в НРП/РП) фиксируются дискретно. Задержки в передаче и обработке данных, особенно в районах со слабым покрытием связью	Невозможность построения точной картины «состояние груза — этап перевозки» в реальном времени; запаздывание реакции на инциденты
Семантические	Отсутствие автоматической привязки телеметрии к конкретной коммерческой накладной (ЭТРН). Разные системы идентификации одного и того же вагона в телематике и АСУ. Несогласованность справочников (номенклатура грузов, коды станций)	«Информационные разрывы»; необходимость ручного сопоставления; ошибки в аналитике

1. Бортовые устройства: контроллеры или RS-48, цифровые интерфейсы датчиков температуры/влажности). Критически важной является функция бортовой буферизации и интеллектуальной передачи: при потере канала

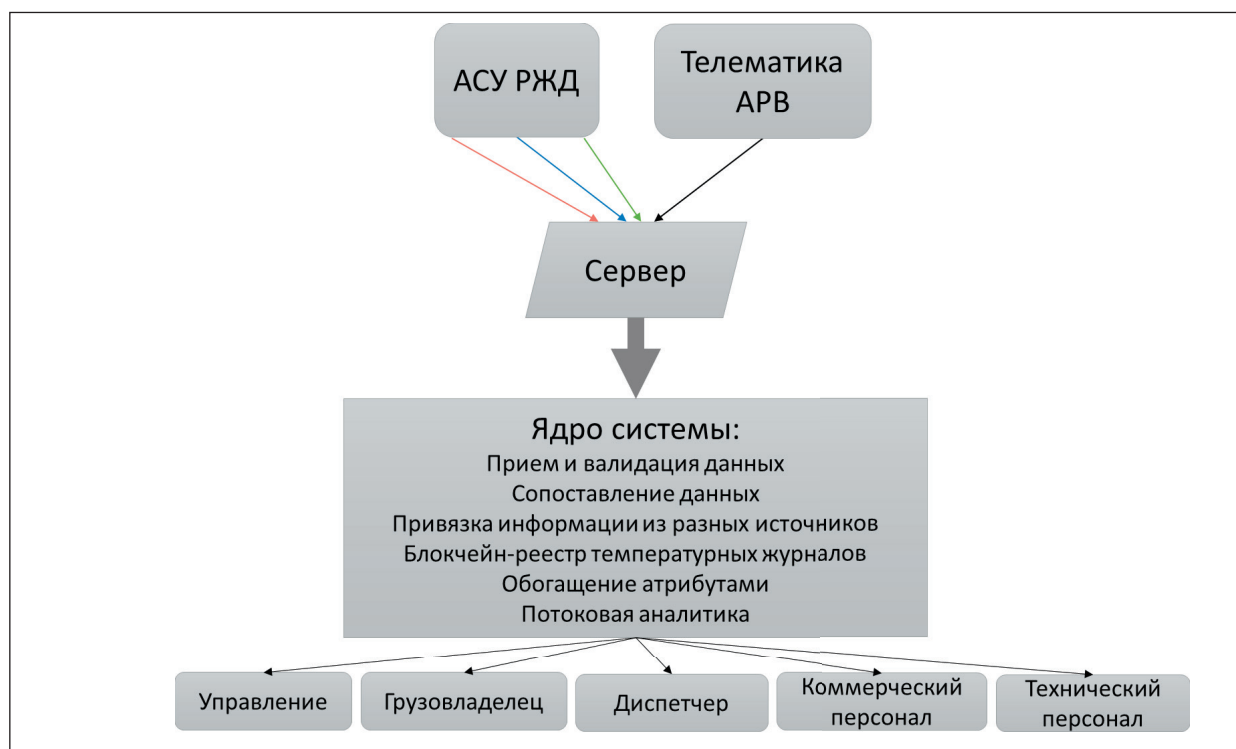


Рисунок. Архитектура платформы «Единый центр мониторинга АРВ»

данные сохраняются во внутренней памяти и передаются пачкой при восстановлении связи.

2. Гибридные каналы связи: для обеспечения покрытия на всей сети РЖД предлагается использовать многоабонентскую архитектуру:

- Основной канал: сотовая связь 4G/LTE (в перспективе 5G/NR) через российских операторов.

- Резервный канал: спутниковая связь (Iridium или отечественная система «Гонец») для критически важных сообщений и работы в удаленных регионах.

3. Шлюзы на инфраструктуре: установка приемных шлюзов на крупных станциях и в пунктах технического обслуживания для пакетной загрузки больших объемов данных при обработке поездов.

4. Протоколизация: внедрение открытого единого или адаптированного протокола обмена данными, что обеспечит обменом и исполь-

зованием информации две или более информационные системы / компоненты от разных производителей.

База для интеграции и обработки

Это ядро системы, развернутое в защищенном корпоративном облаке или дата-центре. Оно построено на базе микросервисов и выполняет следующие функции:

1. Прием и валидация: входящий поток данных проверяется на целостность, соответствие схеме и физическую правдоподобность (например, температура в грузовом отсеке не может быть $+100^{\circ}\text{C}$).

2. Блокчейн-реестр температурных журналов: это инновационный компонент, обеспечивающий доверие и неизменность данных. Каждое считанное значение температуры с метаданными (временная метка, координаты, номер вагона, хэш предыдущей записи)

формирует транзакцию, которая группируется в блоки и записывается в распределенный реестр. Для этого целесообразно использовать пермиссионный (разрешенный) блокчейн, где узлами-валидаторами выступают ОАО «РЖД», крупные грузоотправители и внешний регулятор. Полученный цифровой «паспорт поездки» криптографически защищен от изменений и может быть предоставлен любой заинтересованной стороне для аудита [6].

3. Сервис обогащения контекстом — решает ключевую задачу семантической привязки. На основе правил и алгоритмов он в реальном времени связывает поток телеметрии с данными из АСУ:

- Сопоставление вагона: по номеру вагона находится соответствующая запись в АСУ УКВ НП.

- Привязка к накладной: на основе временного интервала и данных о маршруте из АСУ «ЭТРАН» определяется активная электронная накладная, к которой относится текущая телеметрия.

- Обогащение атрибутами: к телеметрической записи добавляются данные о грузе (тип, допустимый температурный диапазон), грузоотправителе/грузополучателе, условиях договора.

4. Поточная аналитика: на базе технологий Apache Kafka Streams или Apache Flink анализируется обогащенный поток событий в реальном времени. Отслеживаются сложные события, например: *«температура вышла за верхний допустимый порог более чем на 4 °С и удерживается так дольше 15 минут»*. При обнаружении такого события запускаются автоматизированные сценарии [7].

Уровень бизнес-интеграции с АСУ

Обеспечивает двустороннюю синхронизацию с существующими системами учета через стандартизированные прокси-серверы, кото-

рые управляют входящими запросами, направляя их к нужным сервисам (API-шлюзы):

- Интеграция с АСУ «ЭТРАН»: платформа автоматически обновляет статус перевозки в накладной («Температурный режим в норме»/«Нарушение зафиксировано»). В обратную сторону при формировании новой накладной на АРВ в платформу передается информация о требуемом температурном режиме для данного груза.

- Интеграция с АСУ УКВ НП: передача данных о фактическом пробеге, моточасах работы ДГУ и холодильной установки для точного расчета межремонтных интервалов. Получение данных о плановых и выполненных ремонтах для корректировки предиктивных моделей [9].

- Интеграция с АСУ АСУВ: предоставление данных о текущем местоположении и технической готовности АРВ для оптимизации оперативного планирования подачи под погрузку.

- Интеграция с системой SAP ERP: передача данных о расходе топлива и других эксплуатационных затратах для расчета себестоимости перевозки и управления финансами.

Уровень аналитики, сервисов и представления

Это фронтальная часть платформы, представляющая ценность для конечных пользователей:

1. Предиктивные модели: на основе исторических данных, обогащенных контекстом, обучаются модели машинного обучения. Рекуррентные нейронные сети идеально подходят для анализа временных рядов телеметрии и прогнозирования остаточного ресурса компонентов (компрессора, дизельного генератора). А последовательность, создающая набор прогностических моделей, может использоваться для классификации типа потенциальной неисправности [11].

2. Сервис логистической оптимизации: используя данные о местоположении, состоянии оборудования, прогнозе погоды и графике движения, алгоритмы предлагают оптимальный порядок работы ХОУ для минимизации расхода топлива и соблюдения температурного режима [13].

3. Визуализация данных и порталы:

- оперативный диспетчерский портал: карта с реальным положением АРВ, «тепловая карта» нарушений, панели тревог;
- технический портал: детальная визуализация телеметрии по каждому вагону, прогнозы остаточного ресурса, рекомендации по ТО;
- клиентский портал (B2B): предоставление грузовладельцу защищенного доступа к температурному журналу своей партии груза в виде блокчейн-верифицируемого отчета, а также к прогнозу времени доставки.

4. Интерфейсы для внешних систем: открытые приложения, позволяющие интегрировать данные из ЕЦМ АРВ в системы клиентов, например, в финансовые или логистические и сторонние аналитические приложения.

Математическая модель и алгоритм предиктивного обслуживания холодильной установки

Сердцем системы предиктивного обслуживания является модель, оценивающая текущее техническое состояние агрегата и прогнозирующая момент наступления критического износа. Рассмотрим ее на примере ключевого узла — компрессора холодильной установки.

Формализация задачи

Пусть состояние компрессора в момент времени t описывается вектором контролируемых телеметрических параметров:

$$\vec{x}(t) = (T_H(t), T_B(t), P_M(t), I(t), V(t)), \quad (1)$$

где $T_H(t)$ — температура нагнетания;

$T_B(t)$ — температура всасывания;

$P_M(t)$ — давление масла в картере;

$I(t)$ — ток потребления электродвигателя;

$V(t)$ — уровень вибрации на корпусе.

При нормальной работе параметры $\vec{x}(t)$ колеблются вокруг некоторых номинальных значений, образуя многомерный временной ряд. Развитие дефекта (например, износ подшипников, утечка хладагента) приводит к изменению статистических свойств этого ряда и взаимосвязей между его компонентами.

Двухэтапный алгоритм детектирования аномалий и прогнозирования.

Этап 1. Обучение модели нормального поведения.

На историческом интервале данных, заведомо соответствующем нормальной работе оборудования АРВ, нейронная сеть обучается долговременным зависимостям. Ее задача — предсказывать значение вектора \vec{x} на следующем шаге ($t + 1$) по последовательности из n предыдущих значений [10]:

$$\hat{\vec{x}}(t + 1) = LSTM(\vec{x}(t - n), \dots, \vec{x}(t)). \quad (2)$$

На валидационном наборе оценивается точность модели и вычисляется базовая ошибка прогноза для нормального режима.

Этап 2. Оперативный мониторинг и вычисление интегрального показателя здоровья (Health Score).

Для каждого нового момента времени t модель выдает прогноз $\hat{\vec{x}}(t)$ и рассчитывается взвешенная среднеквадратичная ошибка — интегральный показатель отклонения от нормы $E(t)$:

$$E(t) = \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j (\hat{x}_j(t) - x_j^{fact}(t))^2}, \quad (3)$$

где $m = 5$ — число параметров;

$x_j^{fact}(t)$ — фактическое измеренное значение; w_j — весовой коэффициент, отражающий диагностическую значимость параметра ($\sum w_j = 1$). Веса могут определяться экспертно или на основе алгоритма случайного леса, обученного на данных с маркированными отказами.

Например: $w_{\text{вибрация}} = 0,35$, $w_{\text{ток}} = 0,25$,
 $w_{\text{давл.масла}} = 0,20$, $w_{\text{темп.нагн.}} = 0,15$, $w_{\text{темп.вс.}} = 0,05$.

Для сглаживания случайных выбросов рассматривается скользящее среднее ошибки за окно W :

$$\bar{E}(t) = \frac{1}{W} \sum_{i=t-W+1}^t E(i). \quad (4)$$

Этап 3. Принятие решения.

Динамика $\bar{E}(t)$ анализируется на предмет тренда (например, с помощью линейной регрессии). Пороговые значения устанавливаются статистически на основе исторических данных:

оповещение «Внимание»: $\bar{E}(t) > \mu_{\text{норм}} + 2\sigma_{\text{норм}}$. Рекомендуется усилить мониторинг;
 оповещение «Тревога»: $\bar{E}(t) > \mu_{\text{норм}} + 3\sigma_{\text{норм}}$. Планируется внеплановый осмотр при ближайшей технической возможности;

оповещение «Критический»: $\bar{E}(t) > \mu_{\text{норм}} + 5\sigma_{\text{норм}}$ или обнаружен резкий, монотонно возрастающий тренд. Требуется немедленный вывод вагона в ремонт.

Такой подход позволяет перейти от реагирования на абсолютные пределы параметров, которые часто превышаются уже при серьезной неисправности, к прогнозированию отказа на ранней стадии, по незаметным изменениям во взаимосвязях сигналов [12].

Оценка эффективности внедрения и пилотный проект

Внедрение платформы ЕЦМ АРВ — это масштабный инвестиционный проект. Его обоснование требует количественной оценки ожи-

даемого эффекта по технико-экономическим показателям, представленным в табл. 3.

Окупаемость проекта: суммарный годовой экономический эффект от прямых статей может составлять около 1 млрд руб. При предполагаемых капитальных затратах на разработку и внедрение платформы в 2–3 млрд руб. срок окупаемости составит 2–3 года.

Рекомендации по пилотному внедрению

Для минимизации рисков предлагается поэтапный подход.

Этап 1 (пилот, 6–9 мес.): развертывание платформы на 50–100 современных АРВ, задействованных на устойчивом маршруте (например, сообщение Север — Юг). Интеграция с АС «ЭТРАН». Отработка базовых сценариев мониторинга и оповещений.

Этап 2 (масштабирование, 1–1,5 года): расширение платформы на 1000 АРВ. Подключение интеграции с АС УКВ НП и ЕК АСУВ. Запуск предиктивных моделей на ограниченной группе вагонов.

Этап 3. (полное развертывание, 2 года): распространение платформы на весь парк АРВ, подключение всех АСУ, запуск системы блокчейн-реестра и клиентского портала [14].

Вопросы информационной безопасности и законодательного регулирования

Внедрение платформы сопряжено с серьезными требованиями по кибербезопасности, так как она становится критической информационной системой. Необходимо обеспечить:

- защиту периметра: межсетевой экран для глубокой фильтрации трафика и системы обнаружения вторжений;
- шифрование данных: сквозное шифрование при передаче от вагона до ЕЦМ АРВ; шифрование данных;

ТАБЛИЦА 3. Комплексная оценка эффективности внедрения платформы ЕЦМ АРВ

Категория эффекта	Ключевой показатель (KPI)	Базовый уровень (до внедрения)	Целевой уровень (после внедрения)	Расчетный годовой экономический эффект
Сохранность грузов и качество услуг	Доля перевозок с зафиксированными нарушениями темп. режима, ведущими к порче	По экспертной оценке: 0,5–1 % от стоимости перевозимых грузов	Снижение на 60–80 %	Прямое предотвращение убытков: 250–500 млн руб. (при объеме перевозок 50 млрд руб./год)
	Удовлетворенность клиентов (NPS)	Средний отраслевой уровень	Рост на 20–30 пунктов	Косвенный эффект от роста лояльности и объемов перевозок
Эффективность использования парка	Коэффициент груженого пробега АРВ	~0,55	Увеличение на 5–7 % (до 0,58–0,59)	За счет оптимизации логистики и сокращения простоев: ~300 млн руб.
	Среднее время оборота вагона	22–25 суток	Сокращение на 0,5–1 сутки	
Затраты на техническое обслуживание	Затраты на ТО и ремонт на 1 вагон-сутки	X руб.	Снижение на 15–20 %	Экономия на переходе от планово-предупредительного к предиктивному ТО: ~200 млн руб. (для парка в 5000 АРВ)
	Количество внеплановых отказов в пути	Y отказов/год	Снижение на 25–30 %	Снижение штрафов, простоев и затрат на аварийный ремонт
Операционная эффективность	Трудозатраты на сбор, сопоставление данных и формирование отчетов	Высокие, требуют труда нескольких сотен специалистов	Сокращение на 60–70 % за счет автоматизации	Высвобождение трудовых ресурсов, снижение ФОТ на ~150 млн руб.
Юридические и страховые риски	Количество спорных случаев с грузовладельцами	Десятки случаев в год	Снижение в разы	Сокращение судебных издержек; возможность снижения страховых тарифов на перевозку

- управление доступом: строгая аутентификация и авторизация, особенно для доступа к данным грузовладельцев;

- соответствие требованиям: ФЗ от 27.07.2006 № 152 «О персональных данных», ФЗ от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности КИИ», отраслевым стандартам РЖД.

Использование блокчейна для журналов температур должно получить юридическое признание. Требуется разработка и утверждение внутреннего стандарта ОАО «РЖД», а в перспективе – внесение изменений в нормативные акты Минтранса, признающих криптографически заверенные цифровые

журналы в качестве юридически значимого доказательства.

Заключение

Проведенное исследование подтверждает, что фрагментация информационного поля между системами телематики АРВ и АСУ является ключевым технологическим барьером на пути цифровизации перевозок скоропортящихся грузов. Это приводит к прямым экономическим потерям, операционной неэффективности и снижению клиентоориентированности, а также к нарушению безопасности движения поездов.

Предложенная архитектура единой цифровой платформы ЕЦМ АРВ представляет собой комплексное решение, интегрирующее современные технологии: промышленный интернет вещей для сбора данных, облачные вычисления для их обработки, блокчейн для обеспечения доверия и неизменности критичных журналов, машинное обучение для предиктивной аналитики. Разработанная математическая модель на основе рекуррентных нейронных сетей и взвешенной ошибки прогноза позволяет перейти от обслуживания по фактическому отказу или жесткому графику к предиктивному обслуживанию по фактическому состоянию. Это коррелируется с тремя основными векторами развития отрасли: переходом на предиктивное обслуживание, внедрением блокчейна для идентификации и верификации, комплексной автоматизацией и роботизацией процессов (цифровой вагон).

Расчеты демонстрируют значительный экономический потенциал от внедрения: совокупный годовой эффект может достигать 1 млрд руб. при сроке окупаемости 2–3 года. Основные драйверы экономии — предотвращение порчи грузов, оптимизация использования парка, снижение затрат на ТО и высвобождение трудовых ресурсов от рутинных операций.

Перспективы дальнейших исследований:

1. Разработка детальных отраслевых стандартов на формат обмена телематическими данными для рефрижераторного подвижного состава.

2. Создание цифровых двойников АРВ, которые в реальном времени будут отражать не только телеметрию, но и все связанные бизнес-процессы [15].

3. Исследование применения технологий искусственного интеллекта для полностью автономной оптимизации логистических цепочек с участием АРВ.

4. Развитие клиентского портала в сторону полноценной платформы «логистика как услуга» с элементами смарт-контрактов на блокчейне.

Реализация данной концепции позволит владельцам АРВ не только решить текущие операционные проблемы, но и совершить качественный скачок, выведя услуги по перевозке скоропортящихся грузов на новый уровень надежности, прозрачности и экономической эффективности, что соответствует стратегическим целям цифровой трансформации транспортного комплекса России в целом.

Список источников

1. ГОСТ Р 58664-2019. Услуги на железнодорожном транспорте. Перевозка скоропортящихся грузов. Общие требования к качеству. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/72246/> (дата обращения: 01.12.2025).

2. The International Union of Railways. Best Practices for Perishable Goods Transport by Rail. 3rd ed. Paris, UIC Publications. 2022. 134 p.

3. Правила перевозок железнодорожным транспортом скоропортящихся грузов (утв. приказом Минтранса России от 04.03.2019 №66). URL: <https://base.garant.ru/72265752/> (дата обращения: 30.10.2025).

4. Шевченко А.В. Современные решения для автономных рефрижераторных вагонов модели 16-5213, обеспечивающие повышение их эксплуатационной надежности и работоспособности // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2025. № 1 (70). С. 126–131. EDN AMPSPG

5. Ефанов Д.В., Смирнов А.А. Система мониторинга устройств железнодорожной автоматики на основе промышленного «Интернета вещей» // Мир транспорта. 2020. Т. 18, № 6. С. 118–134.

6. Лихова О.А., Кузьмина К.А., Жолондковский П.С. Технология блокчейн в логистике и управлении цепями поставок: описание применения и прогноз развития // Новое слово в науке: стратегии

развития: сборник материалов V Международной научно-практической конференции Чебоксары, 2018. С. 243–250.

7. Kafka: The Definitive Guide: Real-Time Data and Stream Processing at Scale / G. Shapira [et al.] USA: O'Reilly Media, 2021. Pp. 332–334.

8. Gartner Research. Innovation Insight: Data Fabric Architectures Are Key to Modern Data Management. 2023. URL: <https://www.gartner.com/en/documents/4018889> (дата обращения: 01.12.2025).

9. Предиктивная аналитика в железнодорожной логистике: матрица технологических решений и стратегия внедрения / Е. С. Гаврилюк, Т. Н. Бикмулина, Д. А. Попов, О. С. Хамдамов // Естественно-гуманитарные исследования. 2025. № 3 (59). С. 99–104.

10. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory // *Neural Computation*. 1997. Vol. 9, no. 8. Pp. 1735–1780.

11. Chen T., Guestrin C., Boost X.G. A Scalable Tree Boosting System // *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD'16)*. 2016. Pp. 785–794.

12. Качалов Д. Л., Мишустин А. В., Фархадов М. П. Современные методы обработки больших данных в крупномасштабных системах. Математические модели современных экономических процессов, методы анализа и синтеза экономических

механизмов // Актуальные проблемы и перспективы менеджмента организаций в России: материалы XI Всероссийской научно-практической конференции (Самара, 24–28 апреля 2017 года). Вып. 11. Самара: Самарский научный центр РАН, 2017. С. 65–71. EDN YMZHKD

13. Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey / D. Kreutz [et al.] // *Proceedings of the IEEE*. 2015. Vol. 103, no. 1. Pp. 14–76.

14. Blockchain Technology in the Energy Sector: A Systematic Review of Challenges and Opportunities / M. Andoni [et al.] // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 100. Pp. 143–174.

15. Шинкарук А. С., Куликов М. Ю., Барышников А. В. Совершенствование производственных и управленческих процессов при ремонте и техническом обслуживании пассажирских вагонов с использованием «цифровых двойников» // *Транспортное машиностроение*. 2024. № 12 (36). С. 70–77. DOI: 10.30987/2782-5957-2024-12-70-77. EDN ENMKIC

Дата поступления: 26.01.2026

Решение о публикации: 06.03.2026

Контактная информация:

ШЕВЧЕНКО Алексей Владимирович — аспирант; shevchenko@rusref.su

Development of the Architecture of a Unified Digital Platform for Integrating Telematics Data of Autonomous Refrigerated Wagons with Russian Railways Corporate Systems Based on Industrial Internet of Things and Blockchain Technologies

A. V. Shevchenko

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Russian University of Transport”, build. 9, 9 Obraztsova st., Moscow, 127055, Russia

For citation: *Shevchenko A. V.* Development of the Architecture of a Unified Digital Platform for Integrating Telematics Data of Autonomous Refrigerated Wagons with Russian Railways Corporate Systems Based on Industrial Internet of Things and Blockchain Technologies // *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2026. Vol. 23, iss. 2. Pp. 264–276. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-2-264-276 (In Russian)

Abstract

The article is devoted to solving the urgent problem of data fragmentation during the operation of autonomous refrigerated wagons (ARVs) on the Russian Railways railway network. The key task is to develop the architecture of a single digital platform, automate the information field generated by on-board telematics systems (data on temperature, location, equipment operation parameters), and seamlessly integrate it with data from corporate automated control systems JSC Russian Railways and integration with internal systems of operational, commercial and technical accounting. **Objective:** to develop a unified ARV digital platform that ensures the formation of a common source of reliable data, cargo safety and reliability of ARV equipment. **Materials and methods:** the paper uses system analysis methods for existing solutions in telematics of refrigerated rolling stock. The imperfections of the information exchange between the systems and the formalization of the platform requirements are revealed. The principles of service-oriented architecture (SOA) were used to design the architecture of a single digital ARB platform. The concepts of the Industrial Internet of Things (IIoT) were applied to collect data from various systems, and the rules of hybrid data management (“single data layer” – Data Fabric) were applied to integrate and process this data. **Results:** the implementation of the proposed platform will help overcome the problems of information fragmentation and delay, optimize logistics processes, create a single source of reliable data, implement the transition to maintenance based on the actual condition and improve train safety. **Practical significance:** information from on-board ARV systems and from corporate automated control systems of Russian Railways comes incoherently, which requires manual data comparison and, as a result, delayed response to incidents, which leads to damage to cargo. The results of the work will significantly increase the efficiency of using the refrigerated fleet, ensure the safety of goods, reduce operating costs and strengthen the competitive position of rail transport in the market of transportation of perishable products.

Keywords: autonomous refrigerated wagon, telematics, data integration, predictive analytics

References

1. GOST R 58664-2019. Uslugi na zheleznodorozhnom transporte. Perevozka skorporatyashchikhsya gruzov. Obshchie trebovaniya k kachestvu [Railway Transport Services. Transportation of Perishable Goods. General Quality Requirements], [cited: 12/01/2025]. Available at: <http://internet-law.ru/gosts/gost/72246>, accessed: January 12, 2026. (In Russian)
2. The International Union of Railways (UIC), Best Practices for Perishable Goods Transport by Rail, 3rd ed., Paris: UIC Publications, 2022, 134 p.
3. Pravila perevozok zheleznodorozhnym transportom skorporatyashchikhsya gruzov, utverzhennyye prikazom Mintransa Rossii ot 4 marta 2019 g. [Rules for the Transportation of Perishable Goods by Rail, approved by Order No. 66 of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated March 4, 2019]. Available at: <https://base.garant.ru/72265752/>, accessed: October 30, 2025. (In Russian)
4. Shevchenko A.V. Sovremennye resheniya dlya avtonomnykh refrizheratornykh vagonov modeli 16-5213, obespechivayushchie povyshenie ikh ekspluatatsionnoj nadyozhnosti i rabotosposobnosti [Modern Solutions for Autonomous Refrigerated Wagons of the 16-5213 Model, Ensuring an Increase in Their Operational Reliability and Operability], *Proceedings of the Rostov State University of Railway Transport*, 2025, no. 1 (70), pp. 126–131. Available at: <http://www.elibrary.ru/item.asp?id=82266992>, accessed: January 30, 2025. EDN AMPSPG (In Russian)
5. Efanov D. V., Smirnov A. A. Sistema monitoringa ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki na osnove promyshlennogo «Interneta veshchej» [Monitoring System of Railway Automation Devices Based on the Industrial “Internet of Things”], *Mir transporta [The World of Transport]*, 2020, vol. 18, no. 6, pp. 118–134. (In Russian)
6. Likhova O.A., Kuzmina K.A., Zholondkovsky P.S. Tekhnologiya blokchejn v logistike i upravlenii

tsepyami postavok: opisanie primeneniya i prognoz razvitiya [Blockchain Technology in Logistics and Supply Chain Management: Application Description and Development Forecast], *Novoe slovo v nauke: strategii razvitiya: sb. mat-lov V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Cheboksary [A New Word in Science: Development Strategies, Collection of Materials of the V International Scientific and Practical Conference]*, Cheboksary, 2018, pp. 243–250. (In Russian)

7. Shapira G., et al. *Kafka: The Definitive Guide: Real-Time Data and Stream Processing at Scale*, USA, O'Reilly Media, 2021, pp. 332–334.

8. Gartner Research. *Innovation Insight: Data Fabric Architectures are Key to Modern Data Management*. 2023. Available at: <https://www.gartner.com/en/documents/4018889>, accessed: January 12, 2025.

9. Gavrilyuk E.S., et al. *Prediktivnaya analitika v zheleznodorozhnoj logistike: matritsa tekhnologicheskikh reshenij i strategiya vnedreniya [Predictive Analytics in Railway Logistics: A Matrix of Technological Solutions and an Implementation Strategy]*, *Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya [Natural sciences and humanities research]*, 2025, no. 3 (59), pp. 99–104. (In Russian)

10. Hochreiter S., Schmidhuber J. *Long Short-Term Memory*, *Neural Computation*, 1997, vol. 9, no. 8, pp. 1735–1780.

11. Chen T., Guestrin C. *Boost X. G. A Scalable Tree Boosting System*, *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '16)*, 2016, pp. 785–794.

12. Kachalov D. L., Mishustin A. V., Farkhadov M. P. *Sovremennye metody obrabotki bol'shikh dannykh v krupnomasshtabnykh sistemakh. Matematicheskie modeli sovremennykh ekonomicheskikh protsessov, metody analiza i sinteza ekonomicheskikh mekhanizmov [Modern Methods of Big Data Processing*

in Large-Scale Systems. Mathematical Models of Modern Economic Processes, Methods of Analysis and Synthesis of Economic Mechanisms], *Current Problems and Prospects of Management of Organizations in Russia. Proceedings of the XI All-Russian Scientific and Practical Conference, Samara, April 24-28, 2017*, iss. 11, *Samarskij nauchnyj tsentr RAN [Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*, 2017, pp. 65–71. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32342348>, accessed: April 12, 2025. EDN YMZH KD (In Russian)

13. Kreutz D., et al. *Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey*, *Proceedings of the IEEE*, 2015, vol. 103, no. 1, pp. 14–76.

14. Andoni M., et al. *Blockchain Technology in the Energy Sector: A Systematic Review of Challenges and Opportunities*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, vol. 100, pp. 143–174.

15. Shinkaruk A. S., Kulikov M. Yu., Baryshnikov A. V. *Sovershenstvovanie proizvodstvennykh i upravlencheskikh protsessov pri remonte i tekhnicheskomo obsluzhivanii passazhirsikh vagonov s ispol'zovaniem "tsifrovyykh dvojniov" [Improvement of Production and Management Processes in the Repair and Maintenance of Passenger Cars Using "Digital Twins"]*, *Transportnoe mashinostroenie [Transport engineering]*, 2024, no. 12 (36), pp. 70–77. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=75251252>, accessed: January 12, 2025. DOI: 10.30987/2782-5957-2024-12-70-77. EDN ENMKIC (In Russian)

Received: January 26, 2026

Accepted: March 06, 2026

Author's information:

Alexey V. SHEVCHENKO — Postgraduate Student; shevchenko@rusref.su