

IT-ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/114>

INTEGRATION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES INTO THE TRAIN DATA TRANSMISSION AND REPORTING SYSTEM

^{1*}Algazin A.S., ^{1*}Kalinin A.A., ²Bashirov A.V.

¹Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, Kazakhstan

²Private Institution Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan

* Corresponding author email: a.kalinin@ktu.edu.kz

Author information:

Algazin A.Sh. - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Kalinin A.A. - Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan. E-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz

Bashirov A.V. - Private institution Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan

Abstract. The article is devoted to the integration of blockchain technologies into the train data transmission and reporting system of JSC “NC “KTZ”. It examines the limitations of the centralized ISOD architecture and proposes a distributed ledger model that ensures data immutability, transparency, and cryptographic protection. The interaction scheme of ISOD modules with Trip Optimizer and E-telegram is described, as well as the mechanism for recording key events in the blockchain through XML message hashing. The advantages of a permissioned blockchain network, such as fault tolerance, increased trust between departments, and improved logistics quality, are demonstrated. The article concludes that blockchain implementation is justified within the digital transformation of the railway sector.

Keywords: blockchain, distributed ledger, ISOD, logistics, KTZ, train data, smart contracts, ERP, SCM, transport integration.

ПОЕЗД ДЕРЕКТЕРІН БЕРУ ЖӘНЕ ЕСЕПТІЛІК ЖҮЙЕСІНЕ БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ

^{1*}Алгазин А.Ш., ^{1*}Калинин А.А., ²Баширов А.В.

¹ Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

² Қазтұтынуодағы Қарағанды университеті жеке мекемесі, Қарағанды, Қазақстан

*Корреспондент автор е-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz

Авторлар туралы ақпарат:

Алгазин А.Ш. - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

А.А. Калинин - Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан, E-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz

Баширов А.В. - Қазтұтынуодағы Қарағанды университеті жеке мекемесі, Қарағанды, Қазақстан

Аңдатпа. Мақала «ҚТЖ» ҰК» АҚ-ның поезд деректерін беру және есептілік жүйесіне блокчейн технологияларын интеграциялауға арналған. ИСОД-тың орталықтандырылған архитектурасының шектеулері қарастырылып, деректердің өзгермейтіндігін, ашықтығын және криптографиялық қорғалуын қамтамасыз ететін таратылған тізілім моделі ұсынылады. ИСОД модульдерінің Trip Optimizer және E-telegram жүйелерімен өзара әрекеттесу сұлбасы, сондай-ақ XML хабарламаларын хештеу арқылы блокчейнде негізгі оқиғаларды тіркеу тетігі сипатталған. Рұқсат етілген блокчейн желісінің ақауға төзімділік, бөлімшелер арасындағы сенімді арттыру және логистикалық үдерістердің сапасын жақсарту сияқты артықшылықтары көрсетілген. Теміржол саласының цифрлық трансформациясы аясында блокчейнді енгізудің орынды екендігі туралы қорытынды жасалған.

Түйін сөздер: блокчейн, таратылған тізілім, ИСОД, логистика, ҚТЖ, поезд деректері, смарт-келісімшарттар, ERP, SCM, көлік интеграциясы.

ИНТЕГРАЦИЯ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМУ ПЕРЕДАЧИ ПОЕЗДНЫХ ДАННЫХ И ОТЧЁТНОСТИ

^{1*}Алгазин А.Ш., ^{1*}Калинин А.А., ²Баширов А.В.

¹ Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан

² Частное учреждение Карагандинский университет Казпотребсоюза, Караганда, Казахстан

*Корреспондент автор e-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz

Информация об авторах:

Алгазин А.Ш. - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан

А.А. Калинин - Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
E-mail: a.kalinin@ktu.edu.kz

Баширов А.В. - Частное учреждение «Карагандинский университет Казпотребсоюза», Караганда, Казахстан

Аннотация. Статья посвящена интеграции блокчейн-технологий в систему передачи поездных данных и отчётности АО «НК «КТЖ». Рассматриваются ограничения централизованной архитектуры ИСОД и предлагается модель распределённого реестра, обеспечивающая неизменяемость, прозрачность и криптографическую защиту данных. Описана схема взаимодействия модулей ИСОД с Trip Optimizer и E-telegram, а также механизм фиксации ключевых событий в блокчейне посредством хеширования XML-сообщений. Показаны преимущества разрешённой блокчейн-сети, такие как отказоустойчивость, повышение доверия между подразделениями и улучшение качества логистических процессов. Сделан вывод о целесообразности внедрения блокчейна в рамках цифровой трансформации железнодорожной отрасли.

Ключевые слова: блокчейн, распределённый реестр, ИСОД, логистика, КТЖ, поездные данные, смарт-контракты, ERP, SCM, транспортная интеграция.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Предложена модель интеграции технологии блокчейн в систему передачи поездных данных и отчётности АО «НК «КТЖ» на основе разрешённого распределённого реестра. Показано, что применение блокчейн-технологии обеспечивает неизменяемость, прозрачность и криптографическую защиту данных посредством фиксации ключевых событий и хеширования XML-сообщений при взаимодействии модулей ИСОД, Trip Optimizer и E-telegram. Разработанный подход повышает надёжность информационного обмена, отказоустойчивость системы и доверие между подразделениями, способствуя цифровой трансформации железнодорожной отрасли.

ВВЕДЕНИЕ

Современные железнодорожные компании активно цифровизируют бизнес-процессы для повышения эффективности перевозок и оптимизации расходов. В рамках госпрограммы «Цифровой Казахстан» АО «НК «КТЖ» реализует проект «Цифровая железная дорога», нацеленный на автоматизацию ключевых процессов (электронная коммерция, промышленный интернет, аналитика больших данных). Значительное внимание уделяется оптимизации документооборота и учёту подвижного состава (например, внедрение интегрированных систем диспетчеризации и

управления парком поездов). Однако существующие решения по-прежнему основаны на централизованных базах данных, где информация может фрагментироваться между узлами и подвергаться риску искажения.

Информационные потоки становятся неотъемлемой частью логистики, и при множестве участников цепочки появляются риски рассогласований данных и задержек. Текущие показатели качества и эффективности перевозок остаются не всегда приемлемыми, что стимулирует поиск новых цифровых решений. Одной из перспективных технологий является блокчейн - децентрализованная технология записи транзакций с неизменяемостью данных. Блокчейн способен снизить затраты и препятствовать фальсификации информации, ускоряя обработку перевозочных запросов. При этом реализация блокчейна в логистических системах сталкивается с дополнительными организационными и техническими вызовами, требующими адаптации существующей инфраструктуры [1, 2].

Пробел в исследованиях. Несмотря на активное внедрение цифровых технологий в железнодорожной отрасли, существующие исследования преимущественно рассматривают применение блокчейн-технологий в управлении цепями поставок, логистике и смарт-контрактах. Вопросы интеграции блокчейна в системы передачи поездных данных и оперативной

отчётности железнодорожной инфраструктуры остаются недостаточно изученными. Кроме того, отсутствуют комплексные решения, обеспечивающие совместную работу существующих информационных систем с распределённым реестром без существенной модификации действующей архитектуры.

Научная новизна. Научная новизна работы заключается в разработке модели интеграции разрешённой блокчейн-сети в существующую архитектуру ИСОД АО «НК «КТЖ» с использованием механизма криптографического хеширования XML-сообщений и регистрации ключевых событий в распределённом реестре. Предлагаемый подход обеспечивает неизменяемость данных, повышает отказоустойчивость системы и сохраняет совместимость с действующими модулями Trip Optimizer и E-telegram.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В настоящее время в АО «НК «КТЖ» разрабатывается Интеграционная система обработки данных (ИСОД), которая предназначена для создания единого источника обработки данных, для формирования сообщений, гарантированной доставки сообщений при интеграции с внешними системами и обеспечения необходимыми данными ИС АО «НК «КТЖ». В состав ИСОД входят 3 модуля: Модуль «Передача поездных данных», Модуль «Интеграция с E-telegram», Модуль

«Отчетность».

Целью создания Модуля «Передача поездных данных» является разработка B2B-интерфейса для программного решения Trip Optimizer в части автоматизированного формирования и передачи поездных данных, необходимых для обработки приложением Trip Optimizer. Модуль получает информацию о предстоящих рейсах из внутренних систем (например, АСОУП через БД REPLWIN) и формирует соответствующие XML-сообщения: «Маршрут поезда», «Состав поезда» и «Удаление поезда». Затем XML-файлы отправляются в систему Trip Optimizer через надёжный канал обмена сообщениями (например, IBM WebSphere MQ). Цель модуля — автоматизировать B2B-интерфейс с Trip Optimizer: обеспечивать своевременное предоставление данных о поездках (состав, маршрут) для оптимизации движения локомотивов.

Модуль «Интеграция с E-telegram» отвечает за обмен данными с системой E-telegram, которая распространяет информацию об ограничениях движения (предупреждения, допустимые

скорости и ведомости ограничений) на сети КТЖ. Модуль обеспечивает приём уведомлений об ограничениях из E-telegram, затем конвертирует и передаёт их в Trip Optimizer. Например, при поступлении новых данных о дорожных ограничениях формируются XML-файлы «Ограничения» и «Ведомость ограничений», которые также отправляются в систему оптимизации маршрутов для учёта при планировании движения.

Модуль «Отчётность» интегрируется с Trip Optimizer в части получения отчётных данных о выполненных рейсах, анализирует их и формирует аналитическую отчётность. Это может включать статистику по соблюдению расписаний, расходу топлива, временным задержкам и другим метрикам. Цель — предоставление руководству и операторам достоверной информации для принятия управленческих решений и улучшения планирования перевозок.

ПО ИСОД реализовано в виде серверного java-приложения. По определенным событиям с поездами (готовность поезда к отправлению на станции формирования и смены локомотивных бригад, изменение состава поезда, изменение номера или индекса поезда, замена локомотива, прибытие на станцию назначения) модуль «Передача поездных данных» на основании таблиц L_TEKN, P_TEKN, V_TEKN формирует xml-сообщения (Маршрут поезда, Состав поезда, Удаление поезда) и отправляет посредством IBM WebSphere MQ 9.2 в Trip Optimizer.

При формировании xml-сообщения «Маршрут поезда» Модуль ИСОД «Интеграция с E-telegram» отправляет сообщение через REST-client в ИС «E-telegram», в ответ получает xml-сообщение

«Ведомость ограничений» на этот поезд, которое отправляет посредством IBM WebSphere MQ 9.2 в Trip Optimizer. Модуль ИСОД «Интеграция с E-telegram» получает сообщения «Ограничения» от ИС

«E-telegram» на REST-service по мере их появления в системе «E-telegram».

Интеграция ИСОД приведена на рисунке 1.

Модуль «Передача поездных данных» обеспечивает:

- интеграцию с системой АСОУП (через БД REPLWIN), Модулем «Интеграция с E-telegram» ИСОД и внешней системой Trip Optimizer;

- автоматизацию обработки входной информации из БД REPLWIN (репликационная копия данных АСОУП) по определенным событиям с поездами (готовность поезда к отправлению на станции формирования, изменение состава поезда, изменение номера или

индекса поезда, прибытие на станцию назначения) и формирование соответствующих xml-файлов (маршрут поезда; состав поезда; удаление поезда);

- автоматическую отправку в систему Trip Optimizer вышеперечисленных xml-файлов посредством IBM WebSphere MQ 9.2.

Модуль «Интеграция с E-telegram» обеспечивает:

- автоматическую отправку в Модуль «Интеграция с E-telegram» xml-файла - Маршрут поезда через REST;
- получение с E-telegram, запись в БД ИСОД и отправку xml-сообщений «Ограничения» в Trip Optimizer в Online-режиме;
- получение с E-telegram, запись в БД ИСОД и отправку xml-сообщений «Ведомость ограничений» на поезда в Trip Optimizer;
- автоматизированную отправку в
- систему Trip Optimizer вышеперечисленных xml-файлов посредством

IBM WebSphere MQ 9.2.

Модуль «Отчетность» обеспечивает:

- прием отчетных данных из системы Trip Optimizer;
- анализ и формирование выходных форм;
- формирование журнала сообщений;
- просмотр информации сообщений по выбранным критериям.

Канал связи между локомотивом и Сервером системы Trip Optimizer необходим для получения информации для движения локомотива по заданному участку в режиме автоведения.

В рамках обеспечения прозрачности передачи и получения данных организован промежуточный сервер для прохождения трафика между ИСОД, сетью оператора связи и серверами системы Trip Optimizer согласно рисунку 1.

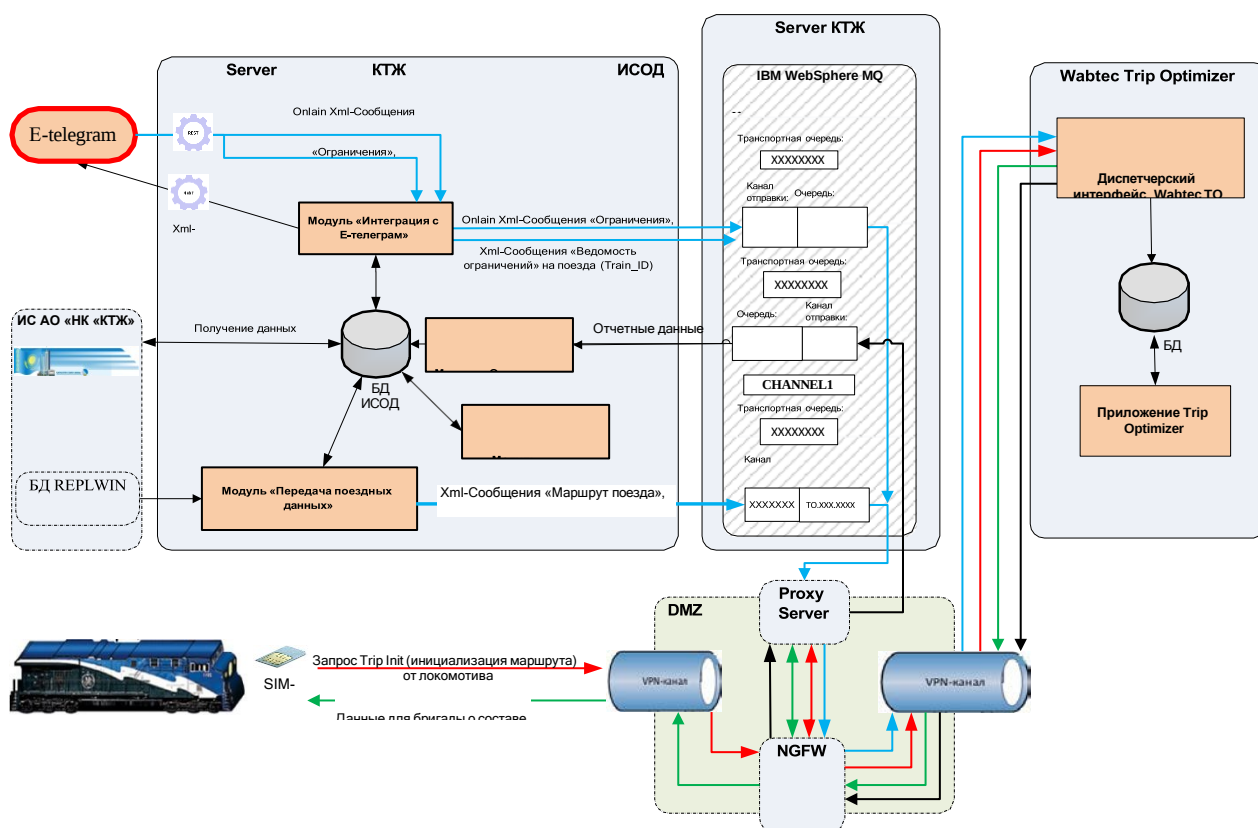


Рисунок 1 - Интеграционная схема ИСОД

Технически ИСОД строится на централизованной архитектуре: используется СУБД IBM DB2 для хранения данных, сервер приложений WildFly и обмен сообщениями по IBM MQ. Обмен XML-сообщениями с Trip Optimizer и E-telegram организован через REST и очереди сообщений, что обеспечивает надёжную передачу данных. Функциональная схема ИСОД основана на единой базе данных и центральных

сервисах, которые формируют и отправляют сообщения по событиям (готовность поезда к отправлению, поступление сведений об ограничениях и т.д.), а также собирают результаты для отчёта.

Интеграция блокчейна в существующие процессы. Предлагается добавить к архитектуре ИСОД уровень распределённого реестра (блокчейн). Основная идея заключается в том,

чтобы при ключевых событиях (например, при генерации и отправке каждого XML-сообщения) одновременно создавать запись в блокчейн-сети. Для этого каждому модулю или промежуточному шлюзу (gateway) присваивается функция фиксации события: шлюз вычисляет криптографический хеш содержимого XML-сообщения (или других данных), добавляет метаданные (время, идентификатор отправителя/модуля) и отправляет транзакцию в блокчейн.

В корпоративной среде предпочтительно использовать разрешённую (permissioned) блокчейн-сеть. Участники консорциума (например, ЦДАЦ, филиалы КТЖ и технические центры) разворачивают узлы блокчейна, каждый из которых хранит копию реестра. Механизм консенсуса (например, Proof-of-Authority или аналогичные) обеспечивает валидацию транзакций. Благодаря этому каждая новая запись проверяется сразу несколькими узлами, и данные становятся незаменяемыми: любые изменения задним числом приведут к несоответствию хешей. Такой подход исключает единую точку отказа – даже при недоступности части узлов остальные продолжают поддерживать актуальную копию журнала.

Техническая реализация интеграции предполагает подключение ИСОД через специальный шлюз данных. Этот шлюз получает события от модулей ИСОД (через API или выходы очередей), подписывает транзакции и отправляет их в блокчейн-сеть. Например, при формировании XML

«Маршрут поезда» модуль «Передача поездных данных» отправляет сообщение в Trip Optimizer, а одновременно шлюз блокчейн-интеграции берёт хеш этого XML и логирует событие на блокчейне. Аналогично, модуль «Интеграция с E-telegram» при получении ограничения создает запись в реестре с хешем полученной информации. Для связи с существующими системами подходят такие платформы, как Hyperledger Fabric или Quorum, где доступны контролируемые права узлов, настройка разрешений и отказоустойчивое хранение логов.

Таким образом, блокчейн вводится как дополнительный уровень аудита: все важные обмены сообщениями между ИСОД и внешними системами фиксируются в распределённом реестре [3, 4]. Остальные части ИСОД могут остаться без существенных изменений – встраивание новых записывающих коннекторов осуществляется параллельно с текущими каналами обмена. Это позволяет сохранить работоспособность существующей схемы и

одновременно обеспечить надёжный журнал событий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В сравнении текущей централизованной модели ИСОД с децентрализованной на основе блокчейна можно выделить несколько ключевых отличий и преимуществ. В централизованной системе все сообщения (поездные маршруты, ограничения, отчёты) собираются в единой базе данных организации. Это упрощает обработку информации внутри компании, но создаёт риски: серверы с базой данных могут выйти из строя или стать объектами атак, а в случае изменений или ошибок невозможно мгновенно проверить, кем и когда они были внесены. Кроме того, доверие к данным зависит от центрального администратора, а синхронизация информации между разными участниками (филиалами, депо, поставщиками) может быть неполной.

В децентрализованной модели данные распределяются между несколькими узлами блокчейна и согласуются через протокол консенсуса. Такое решение обеспечивает дополнительные гарантии [5, 6, 7, 8]: неизменяемость данных. Каждая транзакция блокчейна содержит криптографический хеш предыдущего блока. Поэтому запись в реестре нельзя скрыто изменить – любое изменение приведет к несовпадению хешей. Это исключает тайную правку истории данных: при проверке блокчейн-узлы сразу обнаружат, если кто-то пытался скорректировать переданные сообщения или отчёты.

Криптографическая защита. В блокчейне используется шифрование и цифровые подписи. При логировании сообщения вычисляется хеш XML и связывается с адресом отправителя (адресом аккаунта или ролью модуля). Таким образом гарантируется аутентичность источника: невозможно симитировать запись от имени другого участника без соответствующих ключей. Кроме того, сами данные хранятся таким образом, что их нельзя восстановить из хеша, сохраняя конфиденциальность содержимого.

Прозрачность и достоверность. Распределённый журнал доступен всем уполномоченным участникам сети. Каждый узел имеет идентичную копию всей истории транзакций. Все подразделения компании и партнёры могут самостоятельно проверить целостность и хронологию обмена сообщениями без обращения к центральному серверу. Это повышает доверие между сторонами: нет необходимости полагаться на отчёты или выгрузки из единой БД, поскольку каждый может свериться с записями блокчейна.

Отказоустойчивость. Благодаря распределённой архитектуре блокчейна отсутствует единственная точка отказа. Если один или несколько узлов выходят из строя, остальные продолжают поддерживать целостную копию реестра и могут оперативно восстановить работу сети. Это повышает надёжность системы передачи данных, особенно в критичных ситуациях, когда перерыв в работе недопустим (например, при крупных сбоях ж/д сети или кибератаке на центральный сервер).

Именно эти преимущества делают блокчейн-технологии привлекательной для логистических приложений. Сквозная проверяемость и неизменяемость данных позволяют оперативно выявлять и предотвращать мошенничество или ошибочные изменения графиков. К тому же прозрачность истории поездных операций способствует ускорению процессов расследования инцидентов и повышению уровня доверия среди участников цепочки поставок.

Текстовое описание предлагаемой схемы работы системы: все основные компоненты ИСОД сохраняются, но к ним добавляется слой распределённого реестра. Модуль «Передача поездных данных» формирует XML-файлы маршрутов и сразу отправляет их в Trip Optimizer; одновременно шлюз блокчейн-интеграции вычисляет их хеш и инициирует транзакцию в сеть. В транзакции указываются время, идентификатор поезда (или сообщение), хеш XML и адрес отправителя (например, роль модуля или код станции). Узлы блокчейна (например, сертифицированные сервера в ЦДАЦ и депо) проверяют транзакцию по цифровой подписи и включают её в блок посредством общего протокола. Модуль «Интеграция с E-telegram» аналогично при получении ограничений создаёт запись в блокчейне с данными о предупреждениях (временной меткой и хешем содержания). Модуль

«Отчётность» может фиксировать результаты выполнения рейсов: при поступлении отчётных данных из Trip Optimizer создаётся транзакция с хешем этих данных. Таким образом, в блокчейн заносится полная история обмена сообщениями между системами.

Блокчейн внедряется без разрыва существующих процессов: блокчейн-журнал формируется синхронно с текущими операциями, при этом сами бизнес-процессы работы ИСОД с Trip Optimizer и E-telegram остаются прежними. В результате достигается сквозная прослеживаемость и неизменяемость данных. Упрощается аудит: любое полученное сообщение можно сверить с записью в блокчейне – если хеш совпадает, значит сообщение не было изменено.

Это снимает необходимость сложных процедур проверки корректности переписки между системами.

В целом, децентрализованное решение обеспечивает более высокую надёжность и доверие по сравнению с чисто централизованной моделью. Ключевые транзакции становятся публично верифицируемыми внутри консорциума КТЖ, и любой узел сети может в реальном времени отслеживать ход событий. Это особенно важно при взаимодействии разных подразделений АО «НК

«КТЖ» и внешних подрядчиков, поскольку снижает риски разногласий данных и ускоряет процесс обмена информацией.

ВЫВОДЫ

Внедрение технологии блокчейн в систему передачи поездных данных и отчётности АО «НК

«КТЖ» открывает новые перспективы для цифровой логистики. Блокчейн обеспечивает неизменность и прозрачность информационного обмена, что критически важно при взаимодействии множества участников в железнодорожной цепочке. Реализация разрешённой блокчейн-сети позволит устранить риски, присущие централизованным БД (сбой сервера, несанкционированная правка данных), и повысить отказоустойчивость системы.

Для АО «НК «КТЖ» это означает возможность получить более надёжную инфраструктуру обмена данными о планировании и выполнении рейсов. Поскольку каждая операция фиксируется в блокчейне навсегда, снижается вероятность ошибок и мошеннических изменений. Ускоряется согласование информации между диспетчерами, инженерами и машинистами: вместо разбора несостыковок в документах достаточно сверить данные с распределённым реестром. Таким образом, блокчейн способствует более эффективному управлению перевозками и повышению качества логистических услуг.

В контексте программы «Цифровая железная дорога» интеграция блокчейна становится логичным шагом развития информационной инфраструктуры КТЖ. Она позволит объединить существующие ERP/SCM-системы и модули ИСОД в единую доверенную экосистему. В перспективе это приведёт к снижению операционных затрат, минимизации задержек из-за неточностей в данных и укреплению позиций КТЖ как технологического лидера отрасли.

Таким образом, блокчейн-технологии могут стать ключевым элементом цифровой трансформации железнодорожной логистики,

обеспечивая надёжность учёта и прозрачность операций на всех этапах движения грузов и локомотивов.

Авторский вклад (таксономия CRediT):

А.Ш.Алгазин: концептуализация, разработка методологии, исследование, анализ результатов, написание первоначального варианта рукописи.

А.А.Калинин: формальный анализ, разработка архитектуры интеграции блокчейн-технологии, валидация технических решений, научное редактирование и подготовка окончательной версии статьи. **А.В.Баширов:** анализ литературы, интерпретация результатов, визуализация материалов, рецензирование и редактирование рукописи. Все авторы ознакомились с окончательной версией статьи, одобрили её к публикации и несут ответственность за достоверность представленных результатов.

Финансирование. Исследование выполнено без привлечения внешнего финансирования.

Благодарности. Авторы выражают благодарность АО «Национальная компания «Қазақстан темір жолы» за консультационную поддержку и предоставленную информацию о функционировании системы передачи поездных данных, а также коллегам Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова и Карагандинского университета Казпотребсоюза за научное сотрудничество при подготовке исследования.

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам). Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бажина М. А. Применение смарт-контрактов в транспортно-логистической деятельности: особенности правового регулирования // Проблемы частноправового и публично-правового регулирования транспортной деятельности: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Уфа, 2023.
- [2] Назаров М. Ю. В смешанной перевозке: правовое регулирование смешанной перевозки груза посредством смарт-контракта // International Law Journal. 2023. № 8. С. 94–99.
- [3] Полешкина И. О., Васильева Н. В. Технология blockchain как инструмент управления цепями поставок с участием воздушного транспорта // Научный вестник МГТУ ГА. 2020. С. 72–86.
- [4] Alqarni M. A., Alkathiri M. S., Chauhdary S. H., Saleem S. Use of Blockchain-Based Smart Contracts in Logistics and Supply Chains // Electronics. 2023. Vol. 12, No. 6. Art. 1340. DOI: 10.3390/electronics12061340.
- [5] Aslam J., Lai K. H., Kim Y. B., Treiblmaier H. The Implications of Blockchain for Logistics Operations and Sustainability // Journal of Innovation and Knowledge. 2024. Vol. 9, No. 4. Art. 100611. DOI: 10.1016/j.jik.2024.100611.
- [6] Lantz L., Carwey D. Mastering Blockchain. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, Inc., 2020.
- [7] Gelmanova Z., Latypova M., Volokitina I., Fayez Wazani A., Davletshin I. Risk-Oriented Approach to Inventory Management of a Processing Enterprise: From Accounting to Strategic Decisions (on the Example of Qarmet LLC Recycling) // Bulletin of the Karaganda State Industrial University. 2025. Vol. 50, No. 3. Pp. 131–139. DOI: 10.53002/079.
- [8] Hong Z., Shen H., Sun W., Zhang J., Liang H., Zhao G. Research on the Location-Routing Optimization of International Freight Trains Considering the Implementation of Blockchain // Mathematics. 2024. Vol. 12, No. 23. Art. 3797. DOI: 10.3390/math12233797.

REFERENCES

- [1] M. A. Bazhina, "Primenenie smart-kontraktov v transportno-logisticheskoi deyatel'nosti: osobennosti pravovogo regulirovaniya [Application of Smart Contracts in Transport and Logistics Activities: Features of Legal Regulation]," in Proc. VI All-Russian Sci. Pract. Conf. "Problems of Private-Law and Public-Law Regulation of Transport Activities," Ufa, Russia, 2023. (In Russian).
- [2] M. Yu. Nazarov, "V smeshannoi perevozke: pravovoe regulirovanie smeshannoi perevozki gruzha posredstvom smart-kontrakta [Legal Regulation of Multimodal Cargo Transportation through Smart Contracts]," International Law Journal, no. 8, pp. 94–99, 2023. (In Russian).
- [3] I. O. Poleshkina and N. V. Vasilyeva, "Tekhnologiya blockchain kak instrument upravleniya tsepyami postavok s uchastiem vozdušnogo transporta [Blockchain Technology as a Tool for Supply Chain Management Involving Air Transport]," Nauchnyi Vestnik MGTU GA [Scientific Bulletin of Moscow State Technical University of Civil Aviation], pp. 72–86, 2020. (In Russian).
- [4] M. A. Alqarni, M. S. Alkathiri, S. H. Chauhdary, and S. Saleem, "Use of Blockchain-Based Smart Contracts in Logistics and Supply Chains," Electronics, vol. 12, no. 6, Art. no. 1340, 2023. doi: 10.3390/electronics12061340.

- [5] J. Aslam, K. H. Lai, Y. B. Kim, and H. Treiblmaier, "The Implications of Blockchain for Logistics Operations and Sustainability," *Journal of Innovation and Knowledge*, vol. 9, no. 4, Art. no. 100611, 2024. doi: 10.1016/j.jik.2024.100611.
- [6] L. Lantz and D. Carwey, *Mastering Blockchain*. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, Inc., 2020.
- [7] Z. Gelmanova, M. Latypova, I. Volokitina, A. F. Wazani, and I. Davletshin, "Risk-Oriented Approach to Inventory Management of a Processing Enterprise: From Accounting to Strategic Decisions (on the Example of Qarmet LLC Recycling)," *Bulletin of the Karaganda State Industrial University*, vol. 50, no. 3, pp. 131–139, 2025. doi: 10.53002/079.
- [8] Z. Hong, H. Shen, W. Sun, J. Zhang, H. Liang, and G. Zhao, "Research on the Location-Routing Optimization of International Freight Trains Considering the Implementation of Blockchain," *Mathematics*, vol. 12, no. 23, Art. no. 3797, 2024. doi: 10.3390/math12233797.