

К.И. Кулешов, Г.Д. Когай, А.А.Калинин

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

Применение технологии блокчейн в транспортно-логистической сфере

В статье рассматриваются проблемы достоверности и безопасности данных о техническом состоянии подвижного состава в транспортной логистике. Новизна исследования заключается в предложении архитектуры блокчейн-системы с использованием смарт-контрактов, обеспечивающей неизменность записей и децентрализованный контроль. Проведен анализ ИТ-инфраструктуры КТЖ, рассмотрена интеграция блокчейна с ERP/SCM-системами. Разработан фрагмент смарт-контракта с разграничением ролей участников. Описаны преимущества над традиционными централизованными системами. Сделан вывод о целесообразности внедрения блокчейн для повышения прозрачности, отказоустойчивости и доверия между подразделениями АО «НК «КТЖ» в рамках цифровой трансформации логистики.

Ключевые слова: блокчейн, логистика, КТЖ, транспорт, смарт-контракт, ERP, SCM, подвижной состав.

Введение

Современные железнодорожные компании стремятся к цифровизации бизнес-процессов с целью повышения эффективности перевозок и оптимизации расходов. В рамках госпрограммы «Цифровой Казахстан» АО «НК «КТЖ» разработала программу «Цифровая железная дорога» для автоматизации основных процессов (электронная коммерция, промышленный интернет, аналитика больших данных). Значительное внимание уделено оптимизации документооборота и учету подвижного состава: так, например, в АО «КТЖ Экспресс» внедрена информационно-расчетная система перевозок с модулями «Диспетчеризация, учет и управление парком подвижного состава» и «Коммерческая работа, планирование и расчеты». Тем не менее существующие системы по-прежнему опираются на централизованные БД, в которых данные о техническом состоянии вагонов могут быть фрагментированы и уязвимы к искажению.

Информационные потоки становятся неотъемлемой частью логистики наряду с материальными и финансовыми потоками. Чем больше звеньев в цепи, тем труднее контролировать процессы и согласовывать данные между участниками. Текущие показатели качества и эффективности перевозок остаются низкими, что побуждает искать новые цифровые решения. Одной из наиболее перспективных технологий является блокчейн, обеспечивающий децентрализованную запись транзакций и неизменяемость данных [1, 2]. Блокчейн способен решать упомянутые проблемы, снижая стоимость транспортировки, препятствуя фальсификации информации и ускоряя обработку запросов. При этом реализация блокчейна в логистике сталкивается с дополнительными организационными, финансовыми и техническими проблемами, требующими отдельного рассмотрения и новых регуляторных подходов.

Методы и материалы

Логистические процессы на железных дорогах включают приём, распределение и хранение грузов, планирование маршрутов и управление подвижным составом. ERP- и SCM-системы объединяют разрозненные операции по единой транзакционной схеме, создавая централизованную базу данных для учёта перевозок и складских операций. В таких системах (например, 1С:Предприятие, SAP, Oracle) реализуются модули управления запасами, планирования перевозок и учёта технического обслуживания. Ключевыми действиями при этом являются прием грузов, их распределение по маршрутам, контроль остатков и логистика складов. ERP позволяет отслеживать движение

контейнеров и запчастей, генерировать отчёты и планировать ресурсы, что значительно ускоряет обработку данных и улучшает качество управления [3].

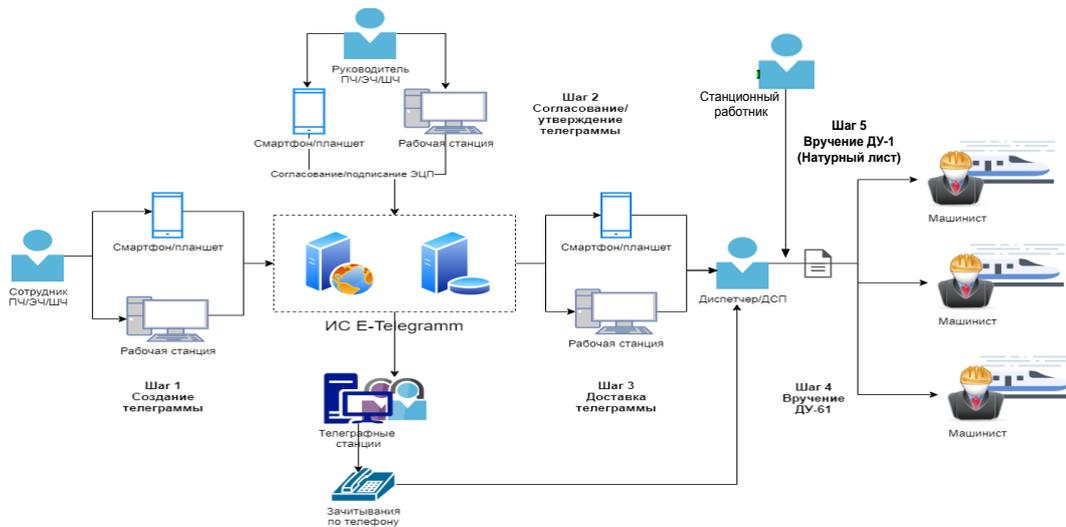


Рисунок 1 - Процесс формирования и обработки поездной телеграммы в ИС E-Telegram АО «НК «КТЖ»

Рисунок 1 иллюстрирует информационные потоки в современной интермодальной транспортно-логистической системе. В процессе участвуют оператор станции, руководитель, диспетчер и машинист. Телеграмма оформляется, утверждается, передаётся через ИС и вручается машинисту. Базы данных в таких системах могут быть изменены или повреждены, а один отказ сервера способен парализовать всю учётную систему. Отсутствие прозрачности между разными участниками цепочки снижает доверие – данные часто передаются вручную или через закрытые интерфейсы. В результате на практике возможны задержки, ошибки ввода и мошеннические изменения данных.

В контексте АО «НК «КТЖ» интеграция блокчейна с существующими ERP/SCM-платформами может проходить через API-шлюзы или промежуточное ПО. Например, используемая на АО «НК «КТЖ» электронная торговая платформа по грузоперевозкам реализует обмен данными между грузоотправителями и операторами. Данные о грузах, состоянии подвижного состава и плановых ремонтах могут передаваться из ERP-систем (или 1С) в блокчейн-узлы через коннекторы. Это обеспечивает единую доверенную запись событий: каждая операция (подача поезда, ремонт, отгрузка) фиксируется на смарт-контракте и становится недоступной для несанкционированного изменения [4].

Matenga и Mrofu описали блокчейн-ориентированную архитектуру SCM для производства железнодорожных вагонов. В их решении цепочки поставок металлопродукции интегрированы с разрешённой блокчейн-сетью и облачными сервисами, что обеспечило отслеживание происхождения деталей и прозрачность данных в реальном времени. В литературных источниках приводятся примеры использования блокчейна для контроля качества и предотвращения контрафакта в цепочках поставок: например, система отслеживания лекарств или продуктов питания использует смарт-контракты для проверки подлинности товаров, улучшая безопасность и минимизируя задержки. Эти кейсы демонстрируют, что применение блокчейна в логистике и SCM повышает надёжность учёта, снижает риск ошибок и делает процессы более прозрачными.

Архитектура предлагаемой системы базируется на разрешённой (permissioned) блокчейн-сети с учетом ролей участников. Такая сеть организуется консорциумом ключевых игроков (например, АО «НК «КТЖ», сервисные центры, поставщики), работающих по алгоритму Proof of Authority (PoA) или аналогичным механизмам. Узлы сети хранят копию распределённого реестра и совместно проходят консенсус по каждой транзакции. Таким образом, каждый узел является независимым валидатором, что исключает единую точку отказа: даже при выходе из строя части узлов сеть продолжит работу за счёт оставшихся копий реестра. Для повышения отказоустойчивости часто применяется кластеризация узлов и репликация данных (например, на базе Hyperledger Fabric или Quorum), что обеспечивает постоянную доступность логов и устойчивость к сетевым сбоям.

В архитектуру системы входят следующие основные компоненты:

1. Блокчейн-узлы. Серверы-валидаторы, отвечающие за запись и проверку транзакций в блокчейн. Узлы выполняют смарт-контракты и обновляют локальную копию реестра. Благодаря распределённой структуре каждый участник сети имеет идентичную копию данных, а согласование происходит через протокол консенсуса. Это обеспечивает целостность и неизменность информации – данные нельзя «подправить» задним числом.

2. Шлюзы данных (Gateway). Промежуточное ПО или сервисы, соединяющие внешние системы (ERP, SCM, базы данных, IoT-устройства) с блокчейном. Например, коннектор может подписывать транзакции на основе событий ERP (новый заказ, завершённый ремонт) и отправлять их в сеть. Такие шлюзы конвертируют корпоративные данные в формат, понятный смарт-контрактам, и гарантируют согласованность бизнес-логики. Интеграция ERP/SCM с блокчейном часто реализуется через API или шину данных; известный пример – объединение ERP (1C, SAP) и WMS через решение типа Enterprise Service Bus с последующей записью в распределённый реестр.

3. Смарт-контракты. Самостоятельный код, развернутый в блокчейн, реализующий бизнес-логику (например, создание и отслеживание задач ремонта, управление документами перевозок). Смарт-контракты автоматически исполняются при наступлении заданных условий, исключая необходимость доверенного посредника. Они могут выполнять такие функции, как проверка авторизации участников (роль пользователя), обновление статуса перевозки, расчёт оплаты и т.д. В роли исполнителя и хранителя данных выступает каждый узел сети: контракт сохраняет историю операций, которая доступна всем разрешённым участникам. При этом сетевая модель Proof of Authority (PoA) или аналогичная позволяет задавать ролевые права доступа на уровне контрактов. Например, контракт может позволять только роли “Оператор” создавать заявку на ремонт, а “Ремонтнику” – пометать её как выполненную.

Перечисленные компоненты формируют совместное решение: бизнес-процессы на АО «НК «КТЖ» (заказы на перевозку, графики обслуживания) проходят через ERP, поступают на шлюз и приводят к транзакциям в блокчейн; узлы сети записывают и верифицируют эти транзакции; смарт-контракты автоматически изменяют состояние логистической цепочки. Такая архитектура обеспечивает единую «версию правды», повышая прозрачность и снимая часть когнитивной нагрузки при аудитах.

Результаты и обсуждение

Технология блокчейн позволяет надежно фиксировать каждую операцию в цепочке поставок без участия центрального регулятора: при добавлении нового блока все узлы сети проверяют его подлинность, что исключает возможность подделки данных.

Анализ преимуществ блокчейн-подхода в логистике показывает следующие ключевые эффекты [5]:

1. Сокращение ошибок в документообороте благодаря автоматизированному заполнению и сверке записей;
2. Упрощение работы участников цепочки (производителей, перевозчиков, экспортеров) за счет единой децентрализованной платформы;
3. Прозрачность и достоверность информации об этапах поставки и характеристиках грузов (затраченное время, место, ответственные лица);
4. Ускорение документооборота и сокращение длительности логистического цикла за счет синхронизации данных и мгновенного подтверждения транзакций;
5. Формирование единой инфраструктуры управления товарами по всей цепочке поставок, что облегчает взаимодействие между разными участниками.

В условиях КТЖ можно представить блокчейн-сеть как консорциум между главным офисом и локальными сервис-центрами. Узлы сети могут размещаться на распределённых площадках (например, центры обработки данных Астаны, Алматы и регионах) для географической реплики. Благодаря этому система устойчива к региональным сбоям – отказ одного узла не приводит к потере данных, поскольку все транзакции зеркалируются другими нодами. Гибкие механизмы консенсуса (например, выбор лидера среди узлов) обеспечивают быстрое подтверждение операций и автоматическое восстановление при сетевых сбоях.

Конфиденциальность в корпоративной цепочке поставок особенно важна: коммерческая информация (цены, условия контрактов, объемы запасов) не должна быть доступна всем участникам.

В разрешённой блокчейн-сети этой задачи добиваются несколькими способами. Во-первых, уровни доступа настраиваются ролью: например, Hyperledger Fabric поддерживает приватные «каналы», через которые обмениваются данными только уполномоченные участники. Во-вторых, применяются криптографические методы: конфиденциальные транзакции (как в Quorum) позволяют проверять правильность операции без раскрытия её деталей. Третье – использование специальных технологий приватности, таких как доказательства с нулевым разглашением (ZKP). Они дают возможность, например, подтвердить качество ремонта или срок выполнения доставки, не раскрывая сами параметры. Таким образом, блокчейн в КТЖ может сочетать проверяемость и приватность [2]: каждый участник видит только те данные, на которые у него есть право, а остальные сведения остаются зашифрованными или неподписанными в общей цепи.

Кроме того, внедрение блокчейна на КТЖ должно учитывать интеграцию с уже существующими системами. В частности, сенсоры для предиктивного обслуживания уже установлены на локомотивах и вагонах. Данные с этих датчиков (температура, вибрация и др.) могут передаваться в блокчейн-платформу в виде зашифрованных логов, что позволит отслеживать состояние техники в режиме реального времени и оценивать надёжность узлов. Аналогично, электронная торговая платформа КТЖ может использовать смарт-контракты для проведения автоматических аукционов грузовых мест: все участники видят текущие заявки и делают ставки прозрачным образом. Поскольку блокчейн обеспечивает целостность и неизменность записей, такая система снижает риски мошенничества и ошибок операционной совместимости со смежными системами – например, с биржами грузовых заявок или международными регуляторами.

В сумме, блокчейн-модель на железной дороге выгодно отличается от традиционных систем тем, что предлагает распределённое хранение данных и крипто-протоколы для безопасности. У КТЖ при этом появляется независимый уровень верификации: даже при злоумышленных попытках фальсифицировать отчёты о ремонтах или грузах, эти изменения обнаруживаются участниками сети через механизм консенсуса. Таким образом, внедрение блокчейна может значительно повысить надёжность операций и упростить интеграцию с ERP/SCM (например, через двусторонние шлюзы), сохраняя при этом конфиденциальность коммерческих данных.

Ниже приведён упрощённый пример смарт-контракта для управления заявками на ремонт железнодорожного оборудования с разделением ролей. В контракте используются ролевые права доступа (через OpenZeppelin AccessControl), чтобы только определённые категории пользователей могли выполнять соответствующие действия. Код иллюстрирует основные структуры и функции, без проработки всех возможных проверок и исключений.

```
// SPDX-License-Identifier: MIT
pragma solidity ^0.8.0;
import "@openzeppelin/contracts/access/AccessControl.sol";

// Контракт управления ремонтными заявками
contract Maintenance is AccessControl {
    // Определяем роли
    bytes32 public constant OPERATOR_ROLE = keccak256("OPERATOR_ROLE");
    bytes32 public constant REPAIRMAN_ROLE = keccak256("REPAIRMAN_ROLE");
    bytes32 public constant CONTROLLER_ROLE = keccak256("CONTROLLER_ROLE");

    // Структура заявки на ремонт
    struct Task {
        uint id;
        string description;
        address operator;
        address repairman;
        bool completed;
        bool verified;
    }
    uint public nextTaskId;
    mapping(uint => Task) public tasks;
```

```

constructor() {
  // Дефолтный админ — адрес деплоя
  _setupRole(DEFAULT_ADMIN_ROLE, msg.sender);
  // Роли OPERATOR, REPAIRMAN, CONTROLLER управляются админом
  _setRoleAdmin(OPERATOR_ROLE, DEFAULT_ADMIN_ROLE);
  _setRoleAdmin(REPAIRMAN_ROLE, DEFAULT_ADMIN_ROLE);
  _setRoleAdmin(CONTROLLER_ROLE, DEFAULT_ADMIN_ROLE);
}
// Оператор создает новую заявку на ремонт
function createTask(string memory desc, address assignedRepairman) public
onlyRole(OPERATOR_ROLE) {
  tasks[nextTaskId] = Task(nextTaskId, desc, msg.sender, assignedRepairman, false, false);
  nextTaskId++;
}
// Ремонтник отмечает заявку как выполненную
function completeTask(uint taskId) public onlyRole(REPAIRMAN_ROLE) {
  require(tasks[taskId].repairman == msg.sender, "Not assigned repairman");
  tasks[taskId].completed = true;
}
// Контролер проверяет и подтверждает выполненную заявку
function verifyTask(uint taskId) public onlyRole(CONTROLLER_ROLE) {
  require(tasks[taskId].completed, "Task not completed");
  tasks[taskId].verified = true;
}
}

```

В этом контракте адресам с ролями OPERATOR, REPAIRMAN и CONTROLLER присвоены разные полномочия. Только оператор (Operator) может создать задачу createTask, только назначенный ремонтник (Repairman) — отметить её выполненной, а контролёр (Controller) — подтвердить выполнение. Модификатор onlyRole из AccessControl гарантирует, что функции не вызовет постороннее лицо. Такой подход демонстрирует принцип разделения обязанностей и контроля доступа в смарт-контрактах – роли обеспечивает четкое разграничение функций в системе без централизованного надзора.

Выводы

Проведенный анализ показывает, что применение блокчейн-технологий в транспортно-логистическом комплексе открывает новые возможности для повышения прозрачности цепочек поставок и надежности документооборота. Установлено, что блокчейн позволяет сократить влияние человеческого фактора при обработке данных, снизить количество ошибок и ускорить передачу ключевой информации между участниками процесса. Взаимодействие блокчейна с другими цифровыми технологиями и упор на децентрализацию создают основу для конкурентоспособности российских транспортных услуг на мировом рынке [2]. Основные проблемы (идентификация, совместимость систем, затраты) могут быть преодолены по мере развития стандартов и адаптации регуляторных механизмов. В итоге блокчейн должен стать частью программы цифровизации транспортно-логистической отрасли, обеспечивая согласованность информационных и материальных потоков от производителя до конечного потребителя.

Список литературы

1. Никонова Я.И. Применение технологии блокчейн на транспорте и в логистике // *Журнал монетарной экономики и менеджмента*, 2024, № 2, с. 43-47. DOI: [10.26118/2782-4586.2024.17.83.006](https://doi.org/10.26118/2782-4586.2024.17.83.006).
2. Дудин В.С. Перспективы и проблемы применения блокчейн-технологий в транспортной логистике // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2024, № 10, с. 75-87. DOI: [10.17308/meps/2078-9017/2024/10/75-87](https://doi.org/10.17308/meps/2078-9017/2024/10/75-87).

3. Анисимов А.В. Использование блокчейн-технологий в транспортных сделках // *Вестник Университета им. О.Е. Кутафина (МГЮА)*, 2024, № 1(11), с. 70-77. DOI: [10.17803/2311-5998.2024.123.11.070-077](https://doi.org/10.17803/2311-5998.2024.123.11.070-077).

4. Каргополов А.С., Крипак М.Н., Кияшко Л.А. Перспективы и возможности применения технологии блокчейн в сфере логистики // *International Journal of Advanced Studies: Transport and Information Technologies*, 2023, т. 13, № 4, с. 205-217. DOI: [10.12731/2227-930X-2023-13-4-205-217](https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-4-205-217).

5. Банщикова А.А., Кудрявцев К.В., Ковалёв А.Ю. Возможности применения технологии блокчейн при перевозке грузов в международном сообщении // *Мир транспорта*, 2018, т. 16, № 3, с. 134-154. DOI: [10.30932/1992-3252-2018-16-3-13](https://doi.org/10.30932/1992-3252-2018-16-3-13).

К.И. Кулешов, Г.Д. Когай, А.А. Калинин

Көлік-логистика саласында блокчейн технологиясын қолдану

Мақалада жылжымалы құрамның техникалық жағдайы туралы мәліметтердің шынайылығы мен қауіпсіздігі мәселелері қарастырылады. Зерттеудің жаңалығы – жазбалардың өзгермейтіндігін және децентрализован бақылауды қамтамасыз ететін смарт-келісімшарттармен блокчейн жүйесінің архитектурасын ұсыну. ҚТЖ-ның IT-инфрақұрылымы талданып, блокчейнді ERP/SCM жүйелерімен біріктіру жолдары көрсетіледі. Қатысушылардың рөлдерін бөлетін смарт-келісімшарт үлгісі жасалды. Дәстүрлі орталықтандырылған жүйелермен салыстырғанда артықшылықтары анықталған. Қорытындыда блокчейнді енгізу ҚТЖ ішіндегі сенімділік пен ашықтықты арттыру құралы ретінде негізделеді.

Кілттік сөздер: блокчейн, логистика, ҚТЖ, көлік, смарт-келісімшарт, ERP, SCM, жылжымалы құрам.

K.I. Kuleshov, G.D. Kogay, A.A. Kalinin

Application of Blockchain Technology in the Transport and Logistics Sector

The article addresses issues of data integrity and security regarding the technical condition of rolling stock in transport logistics. The novelty lies in the proposed blockchain-based system architecture using smart contracts to ensure record immutability and decentralized control. The IT infrastructure of KTZ is analyzed, and integration with ERP/SCM systems is discussed. A sample smart contract with user role separation is presented. The advantages over traditional centralized systems are outlined. The study concludes that blockchain implementation can enhance transparency, fault tolerance, and trust within JSC "NC "KTZ" as part of digital transformation in logistics.

Keywords: blockchain, logistics, KTZ, transport, smart contract, ERP, SCM, rolling stock.

References

1. Nikonova YA.I. «Primenenie tekhnologii blokchejn na transporte i v logistike» // *Zhurnal monetarnoj ekonomiki i menedzhmenta*, 2024, № 2, s. 43–47. DOI: 10.26118/2782-4586.2024.17.83.006.

5. Dudin V.S. «Perspektivy i problemy primeneniya blokchejn-tekhnologij v transportnoj logistike» // *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya*, 2024, № 10, s. 75–87. DOI: 10.17308/meps/2078-9017/2024/10/75-87.

2. Anisimov A.V. «Ispol'zovanie blokchejn-tekhnologij v transportnyh sdelkah» // *Vestnik Universiteta im. O.E. Kutafina (MGYUA)*, 2024, № 1(11), s. 70–77. DOI: 10.17803/2311-5998.2024.123.11.070-077.

3. Kargopolov A.S., Kripak M.N., Kiyashko L.A. «Perspektivy i vozmozhnosti primeneniya tekhnologii blokchejn v sfere logistiki» // *International Journal of Advanced Studies: Transport and Information Technologies*, 2023, т. 13, № 4, s. 205–217. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-4-205-217.

4. Banshchikova A.A., Kudryavcev K.V., Kovalyov A.YU. «Vozmozhnosti primeneniya tekhnologii blokchejn pri perevozke gruzov v mezhdunarodnom soobshchenii» // Mir transporta, 2018, t. 16, № 3, s. 134–154. DOI: 10.30932/1992-3252-2018-16-3-13.