

Применение технологии блокчейн в цепях поставок



А. В. Клюканов,
канд. техн. наук, доцент
кафедры «Технологии
грузовой и коммерческой
работы, станции
и узлы» Приволжского
государственного
университета путей
связи

Одной из наиболее перспективных цифровых технологий в логистической сфере является блокчейн. В частности, интеграция его в железнодорожные перевозки способна привести к снижению издержек, повышению конкурентоспособности железных дорог, повышению эффективности цепочек поставок. При этом блокчейн предоставляет возможность построения безопасных и прозрачных платформ для обмена данными.

В логистике передаются различные массивы данных, которые помогают управлять цепочками поставок, отслеживать грузы, оптимизировать маршруты и контролировать выполнение операций. Основные типы данных, используемые в перевозочном процессе железнодорожного транспорта, приведены на рис. 1 [1, 2].

Участники перевозочного процесса сталкиваются с объемами данных от небольших (мегабайты для временного хранения информации в локомотивах) до колоссальных (сотни петабайт для долгосрочного хранения в Центре обработки данных РЖД). Объем обрабатываемой и передаваемой информации постоянно

и быстро увеличивается, и существующее оборудование и алгоритмы часто не справляются с современными требованиями. Из-за перегрузки сети, неправильной работы программного обеспечения, устаревшего оборудования и перегруженных центральных серверов пользователи сталкиваются с низкой скоростью передачи данных и медленной загрузкой приложений.

В случае несанкционированного доступа к единому серверу существует серьезная угроза утечки данных об участниках перевозочного процесса, а также информации о его структуре и организации. Это может привести к значительным потерям. Эффективное управление данными в логистике по-



Рис. 1. Основные типы данных, используемые в перевозочном процессе

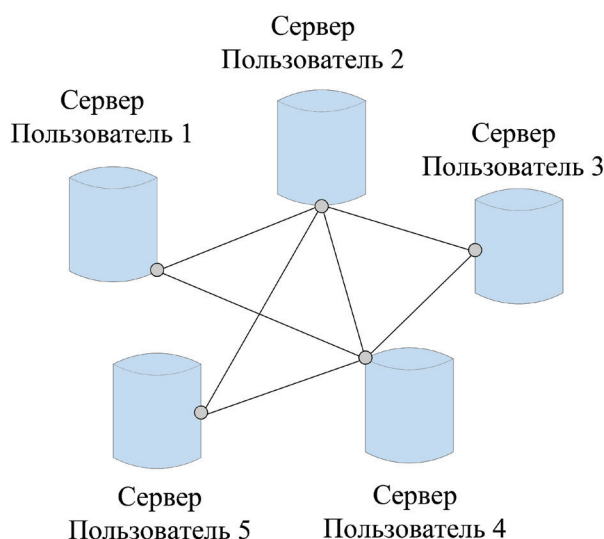


Рис. 2. Децентрализация технологии блокчейн

звolyет повысить производительность, безопасность и качество принимаемых решений. Технология блокчейн является одним из таких эффективных инструментов.

Исследования в области блокчейна характеризуются разнообразием определений и выделением различных технологических компонентов разными авторами. Зарубежные исследователи сыграли критическую роль в развитии блокчейн-технологий.

Сатоши Накамота определял блокчейн как дистрибутивную электронную книгу, в которой записываются все транзакции, произведенные с биткойнами [3]. Ник Сабо рассматривал блокчейн в первую очередь как основу для смарт-контрактов, видя в нем технологию, позволяющую автоматизировать коммерческие операции и договоры без посредников через компьютерные сети [4].

Дон и Алекс Тапскотт определяют технологию блокчейн как цифровую систему записей, которая позволяет передавать цифровые активы или информацию непосредственно от одного участника к другому без необходимости промежуточных участников [5]. Согласно их описанию — это цифровая экономическая сеть, построенная на принципах децентрализации, открытости, безопасности и прозрачности. Они также сравнивают ее с бесконечным цифровым журналом, который служит для записи всей информации, имеющей ценность.

Российские исследователи также проявляют значительный интерес к изучению и развитию блокчейн-технологий. Так, например, М. А. Сажина утверждает, что технология блокчейн — это цепь данных, представляющая собой единую, взаимосвязанную структуру для эффективной организации цифровой информации [6].

А. Ю. Чурилов определяет блокчейн как распределительную базу данных, которая совместно используется всеми устройствами, подключенными к сети блокчейн, и служит для осуществления передачи информации пользователями [7]. Блокчейн в контексте работ А. Ю. Орловой относится к децентрализованной, распределенной и неизменяемой базе данных, которая представляет собой цепочку взаимосвязанных блоков, содержащих информацию о транзакциях [8].

Таким образом, блокчейн — это децентрализованная база данных, спроектированная для обеспечения целостности и неизменности записанной информации. Блокчейн как децентра-

лизованная и неизменяемая база данных соответствует целям цифровизации, заложенным в Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом до 2035 г.

Передача информации с использованием технологии блокчейн

В целях понимания применения блокчейна в цепях поставок рассмотрим особенности передачи информации в децентрализованной базе данных. Децентрализация технологии блокчейн поясняется на рис. 2. По сути, блокчейн — это одноранговая сеть из нескольких серверов, каждый из которых имеет доступ к действиям, происходящим в блокчейне [9,10].

Блокчейн представляет собой цепочку последовательно связанных блоков, каждый из которых содержит данные. Связь между ними обеспечивается сложными криптографическими алгоритмами, что создает надежную и неизменяемую структуру. Прежде чем новый блок будет добавлен в эту цепочку, он проходит тщательную проверку, гарантирующую целостность и достоверность данных [10,11].

Блок в блокчейне состоит из трех ключевых частей:

- заголовок: содержит информацию о блоке, например, время его создания, число, использованное при создании (nonce), и ссылку на предыдущий блок (его хэш);
- хэш: «уникальный код» блока, созданный с помощью криптографии, гарантирующий, что блок не был изменен;
- данные: содержат саму информацию, которую нужно сохранить в блокчейне, например, записи о транзакциях или код смарт-контрактов.

Каждый блок содержит уникальный хэш, который зависит от данных в блоке и хэша предыдущего блока. Первый блок в блокчейне, известный как генезис-блок, не содержит ссылки на предыдущий блок. Структурная модель блокчейна показана на рис. 3.

Эта модель обеспечивает последовательную передачу данных в хронологическом порядке между всеми участниками сети. Проверка целостности блоков блокчейна и контроль доступа к ним реализуется в обратном направлении. Точная передача данных от отправителя получателю разграничивается нулевым и единичным битом.

Для защиты данных используется алгоритм блочного шифрования Advanced Encryption Standard. Это способ, при котором информация обрабатывается фиксированными блоками определенного размера с использованием алгоритма и ключа [11,12]. Система безопасности блокчейна работает по принципу «только добавление»: новые данные записываются, но существующие изменить невозможно. Схема реализации блокчейна в логистике и в цепи поставок приведена на рис. 4.

Каждый участник системы обладает парой криптографических ключей: закрытым, используемым для шифрования, и открытым — для дешифрования. Эта защищенная идентификация делает блокчейн устойчивым к взлому. В табл. 1 представлены примеры участников блокчейна и используемые ими инструменты [13–15].

Сравнение существующих традиционных технологий с блокчейном

В логистике передача и обработка данных в большинстве случаев реализуется с использованием централизованных баз, которые не всегда отвечают современным требованиям. Сравнение основных характеристик блокчейна с традиционными технологиями передачи данных отображены в табл. 2 [9,10,12].



Рис. 3. Структурная модель блокчейна

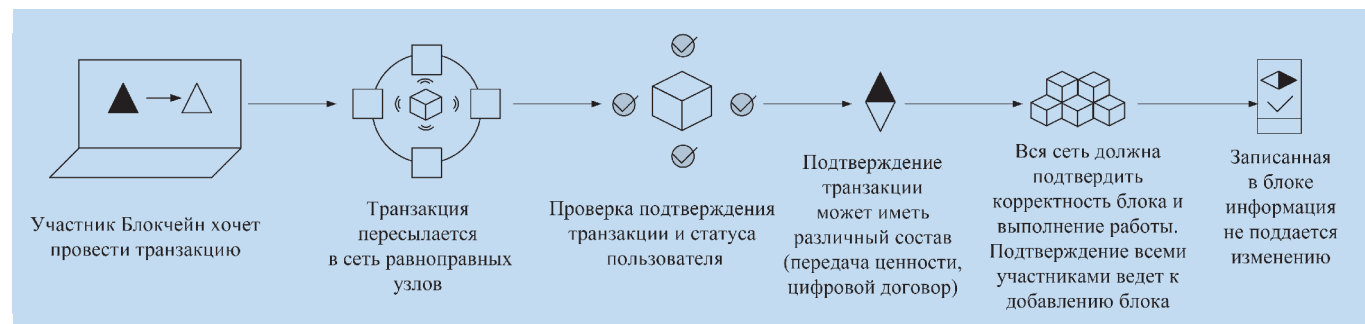


Рис. 4. Схема реализации блокчейна в логистике и в цепи поставок

Децентрализация и надежная природа блокчейна открывает новые возможности для более эффективной и безопасной обработки и обмена данными. Он позволяет создавать защищенные и прозрачные платформы для обмена информацией, гарантируя конфиден-

циальность и безопасность участников перевозочного процесса.

Блокчейн предоставляет возможность построения безопасных и прозрачных платформ для обмена данными. В частности, в логистике данная технология может быть востребована,

позволяя производить транзакции с повышенной безопасностью. Например, слежение в режиме реального времени и защита от несанкционированного доступа обеспечивают полную прозрачность всех событий, связанных с отправкой грузов, возможность отслеживания товаров и прогнозируемость проблем в цепочке поставок.

Блокчейн создает новые перспективы для разработки децентрализованных алгоритмов передачи информации. Смарт-контракты, использующие блокчейн, автоматизируют и упрощают обмен данными, устраняя необходимость в посредниках [4,5,8]. Например, смарт-контракты могут инициировать действия, запускать транспортные операции, осуществлять платежи, автоматизировать процесс утверждения, исключать задержки.

Помимо прочего алгоритмы в блокчейне могут быть направлены на повышение эффективности обработки данных. Блокчейн-технологии позволяют оптимизировать хранение и обработку информации, снижая зависимость от централизованных серверов и ускоряя передачу данных. В результате это может привести к снижению затрат и повышению производительности в сфере обработки информации. Производительность блокчейна оценивается с помощью разных ключевых метрик.

Таблица 1. Примеры компаний-участников блокчейна и используемые ими инструменты

Компании-участники блокчейна	Используемые инструменты блокчейна
Операторы железных дорог и контейнеров	
РЖД	Электронный документооборот
ТрансКонтейнер	Отслеживание контейнеров
Промышленные предприятия	
Евраз	Цифровое сопровождение угля и стали
Норникель	Выбор поставщика для экспортной поставки металлов
Газпром нефть	Электронный документооборот и отслеживание грузов
Сельскохозяйственные предприятия	
Русагро	Цифровые железнодорожные накладные на зерно
Черкизово	Мониторинг перевозок мяса и комбикормов
Мираторг	Контроль температуры при перевозке замороженного мяса
Финансовые компании	
Сбербанк	Смарт-контракты (автоматические платежи при доставке)

Таблица 2. Сравнение характеристик блокчейна с традиционными технологиями передачи данных

Характеристика	Технология блокчейн	Традиционные технологии
Децентрализация	Децентрализованная структура данных, где информация хранится на всех узлах сети	Централизованная структура с данными, которые хранятся и управляются на центральном сервере
Безопасность	Высокий уровень безопасности за счет криптографии и неизменяемости данных	Возможность централизованного контроля и уязвимость для атак на одну точку
Прозрачность	Прозрачность и возможность проверки данных для всех участников сети	Ограниченная прозрачность и зависимость от доверия к центральному узлу
Масштабируемость	Горизонтальное масштабирование с возможностью добавления новых узлов в сеть	Ограничения масштабируемости и вариантов расширения системы

В транспортной и складской логистике она может быть измерена с использованием пропускной способности [8,10]. На рис. 5 приведен пример графического отображения пропускной способности блокчейна в сравнении с традиционными технологиями передачи и обработки информации.

На рис. 5 фигурами ABCD и AEFD отображается пропускная способность (выраженная в TPS-количестве запросов в единицу времени) традиционных технологий и блокчейна соответственно. При этом время выполнения запроса можно описать формулой

$$T = T_{\text{сет}} + T_{\text{обс}} + T_{\text{аут}},$$

где T — время, которое потребуется для выполнения запроса, с;

$T_{\text{сет}}$ — время, затрачиваемое для передачи данных по сети, с;

$T_{\text{обс}}$ — время, затрачиваемое для обработки данных на сервере, с;

$T_{\text{аут}}$ — время, затрачиваемое для идентификации клиента, с.

Из рис. 5 видно, что при большом количестве транзакций (или пользователей) система блокчейн может работать значительно быстрее, чем традиционные технологии. Это связано прежде всего со свойством децентрализации блокчейна, где данные хранятся и обрабатываются сразу на всех узлах сети, а не на едином сервере. Это позволяет равномерно распределить нагрузку на узлы сети, что обеспечивает более высокую производительность обработки запросов при большом количестве транзакций.

Таким образом, интеграция технологии блокчейн в развитие алгоритмов

обработки и передачи информации, в том числе в логистике и цепях поставок, представляет огромный потенциал для улучшения безопасности, надежности и эффективности процессов обмена данными.

Предполагается, что блокчейн будет и дальше развиваться, все глубже проникая в сферу перевозок и управления цепями поставок. Представленные технологии способны значительно повысить значимость и применение блокчейна [15,16]:

- Интеграция с интернетом вещей — позволяет создавать автоматизированные и надежные каналы передачи данных. Умные контейнеры со встроенными датчиками могут автономно записывать и передавать данные о температуре, местоположении и состоянии непосредственно в блокчейн.

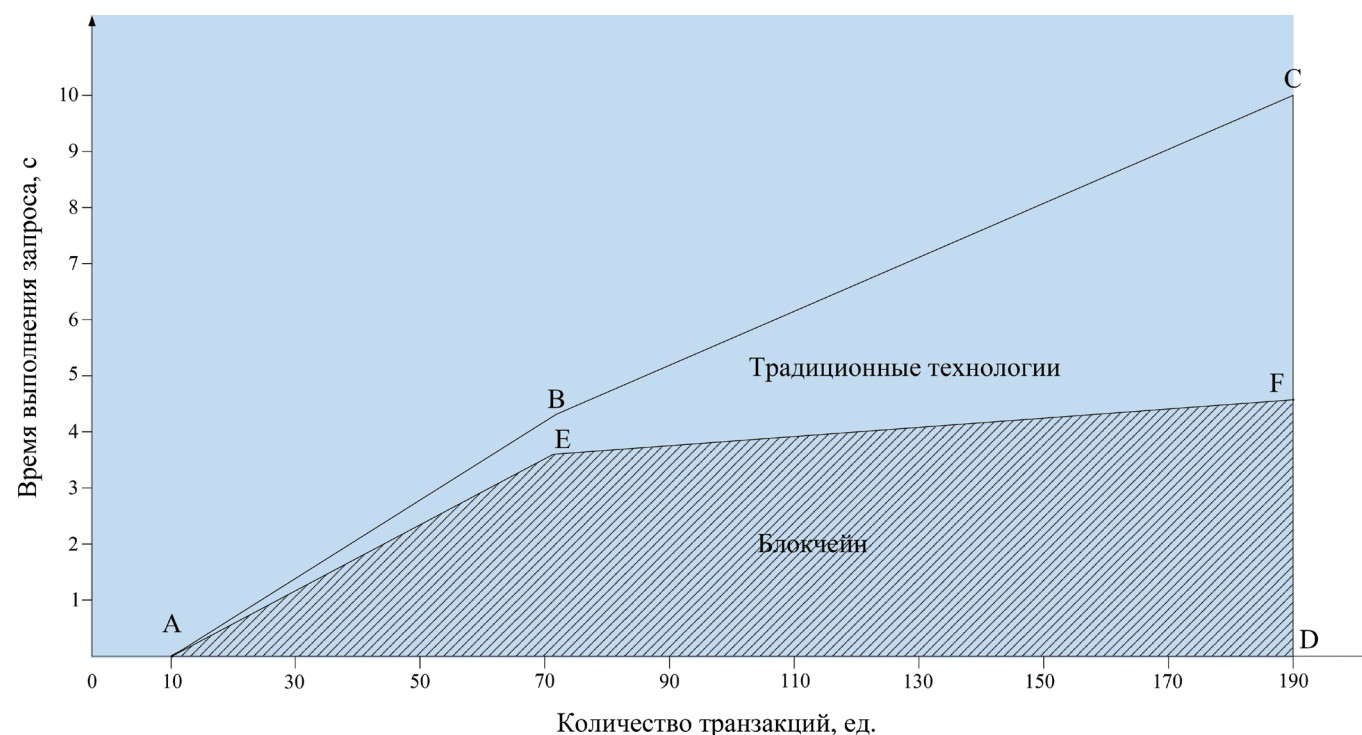


Рис. 5. Сравнение пропускной способности блокчейна и традиционных технологий передачи и обработки информации

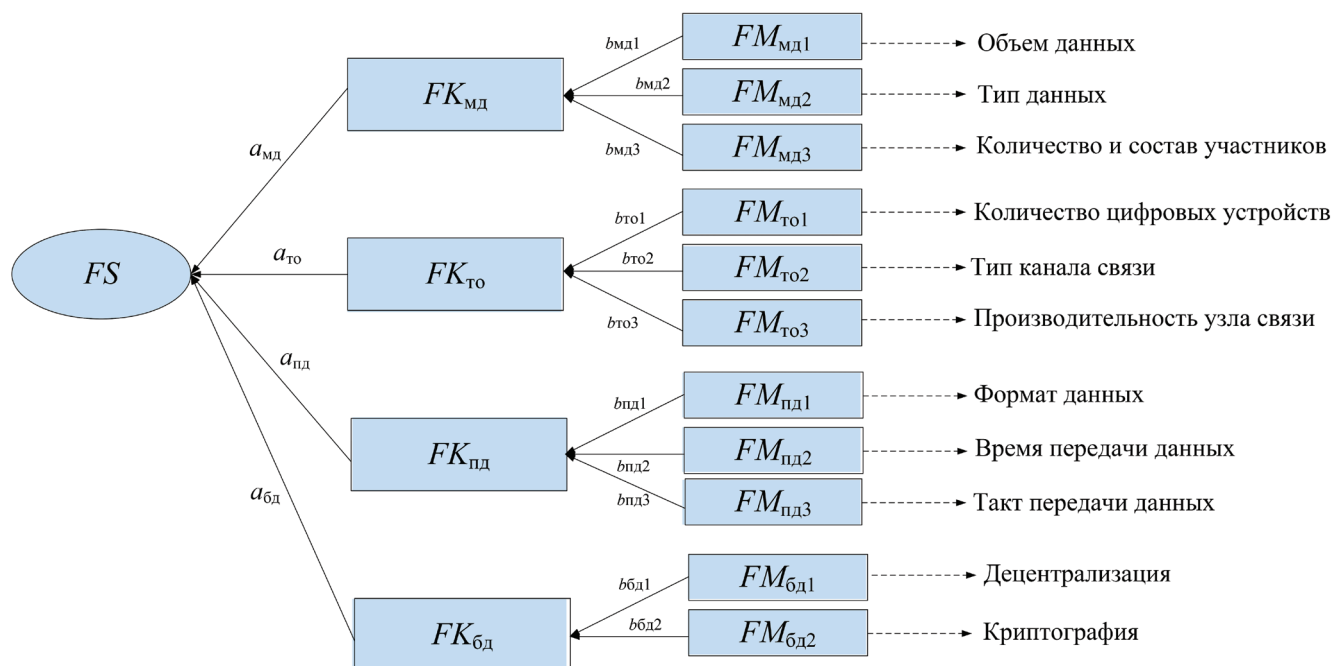


Рис. 6. Параметрическая модель, описывающая эффективность работы блокчейна на основе заданных критериев оценки

• Искусственный интеллект и машинное обучение — могут анализировать данные блокчейна для оптимизации маршрутизации, прогнозирования потребностей в обслуживании и выявления закономерностей, невидимых для аналитиков-людей.

• Токенизация физических активов — позволяет осуществлять доленое владение и использовать новые модели финансирования для дорогостоящей логистической инфраструктуры, такой как порты и склады.

• Протоколы децентрализации финансов — могут произвести революцию в сфере торгового финансирования, создав ликвидные рынки для финансирования цепочек поставок с меньшими затратами, чем притрадиционном банковском обслуживании.

Оценка эффективности технологии блокчейн в логистике и цепях поставок

Оценку эффективности технологии блокчейн проведем при помощи синтетического критерия FS. Это обобщающий показатель, который используется для оценки процесса или явления путем объединения различных факторов в единую числовую величину. Поскольку блокчейн представляет собой систему из множества взаимосвязанных блоков, оказывающих определенное воздействие, предложен синтетический критерий для оценки его эффективности, состоящий из подкритериев $FK_{мд}$, $FK_{то}$, $FK_{пд}$, $FK_{бд}$, которые позволяют учесть разные аспекты его функционирования. Выбор этих подкритериев предполагает наличие системы оценки [17]. Параметрическая модель, описывающая эффективность работы блокчейна и построенная на основе заданных критериев оценки, показана на рис. 6.

С помощью разработанных критериев можно оценить результативность внедрения блокчейна, получив численное значение в диапазоне от 0 до 1. Чем больше значение, тем эффективнее внедрение. Синтетический критерий выражается следующим образом:

$$FS = FK_{мд} a_{мд} + FK_{то} a_{то} + FK_{пд} a_{пд} + FK_{бд} a_{бд},$$

где $FK_{мд}$ — определяет массив данных используемого блокчейном:

$$FK_{мд} = (FM_{мд1} b_{мд1} + FM_{мд2} b_{мд2} + FM_{мд3} b_{мд3}),$$

$FM_{мд1}$ — объем данных в перевозочном процессе, зависит от множества факторов, включая вид транспорта, масштабы перевозок, уровень цифровизации и конкретные бизнес-процессы. Производительность систем транспортных компаний напрямую зависит от объема обрабатываемых данных, который значительно варьируется в зависимости от размера компании.

$FM_{мд2}$ — в перевозочном процессе могут использоваться разные типы данных: структурированные данные о грузе и транспортном средстве; координаты местонахождения транспорта, маршруты погрузки/разгрузки; юридические и финансовые данные; учет грузов на складах.

$FM_{мд3}$ — количество участников зависит от вида транспорта и конкретной логистической цепочки, но обычно включает следующих участников: отправитель, получатель, перевозчик, экспедитор. В зависимости от сложности перевозки количество и состав участников может увеличиваться, например, при мультимодальных и интермодальных перевозках вовлекаются участники, которые обеспечивают координацию между видами транспорта и документальное сопровождение.

При этом должно соблюдаться условие:

$$\begin{cases} b_{мд1} + b_{мд2} + b_{мд3} = 1 \\ 0 \leq b_{мд1}, b_{мд2}, b_{мд3} \leq 1 \end{cases}.$$

Подкритерий имеет следующий вид:

$$FK_{то} = (FM_{то1} b_{то1} + FM_{то2} b_{то2} + FM_{то3} b_{то3}),$$

где $FK_{то}$ — определяет техническую оснащенность блокчейна.

$FM_{то1}$ — количество цифровых устройств (узлов) в блокчейне напрямую влияет на его децентрализацию и производительность. Чем больше независимых узлов в архитектуре компьютерной сети, тем выше скорость обработки информации.

$FM_{то2}$ — в блокчейне нет единого централизованного канала связи, так как это децентрализованная система. В зависимости от целей могут использоваться публичные и private каналы связи. При этом private могут быть установлены как между всеми участниками, так и между отдельными.

$FM_{то3}$ — в блокчейне производительность каждого узла сети зависит от аппаратных характеристик (скорости вычислений, скорости чтения данных, пропускной способности передачи данных в сети).

При этом должно соблюдаться условие:

$$\begin{cases} b_{то1} + b_{то2} + b_{то3} = 1 \\ 0 \leq b_{то1}, b_{то2}, b_{то3} \leq 1 \end{cases}$$

Подкритерий формализуется уравнением:

$$FK_{нд} = (FM_{нд1}b_{нд1} + FM_{нд2}b_{нд2} + FM_{нд3}b_{нд3}),$$

где $FK_{нд}$ — определяет протокол передачи данных. $FM_{нд1}$ — в блокчейне в цепи поставок данные обычно структурируются так, чтобы обеспечить неизменяемость и отслеживаемость грузов на всех этапах перевозок. Примерами структурированного формата данных являются: данные о грузе, транспортном средстве, перевозчике и др. При этом данные могут обрабатываться в разном виде: текст, числовые значения, фото перевозочных документов, квитанции.

$FM_{нд2}$ — время передачи данных влияет на скорость транзакций, чем быстрее данные передаются между узлами, тем быстрее формируется цепь блокчейна. Этот подкритерий зависит от размера данных и загруженности сети в цепи поставок.

$FM_{нд3}$ — такт передачи данных — это среднее время, за которое в сети создается новый блок. Чем меньше такт, тем быстрее фиксируются изменения в цепочке поставок, что повышает отслеживаемость грузов в реальном времени.

При этом должно соблюдаться условие:

$$\begin{cases} b_{то1} + b_{то2} + b_{то3} = 1 \\ 0 \leq b_{то1}, b_{то2}, b_{то3} \leq 1 \end{cases}$$

Подкритерий имеет следующий вид:

$$FK_{бд} = (FM_{бд1}b_{бд1} + FM_{бд2}b_{бд2}),$$

где $FK_{бд}$ — определяет безопасность передачи данных.

$FM_{бд1}$ — децентрализация обеспечивается за счет распределенного хранения данных, т.е. когда информация о грузах, маршрутах, документах и транзакциях хранится не на одном сервере, а в распределенной сети узлов. Это исключает единую точку отказа и повышает отказоустойчивость системы.

$FM_{бд2}$ — определяется использованием различных инструментов защиты в перевозочном процессе: создание уникальных идентификаторов грузов, документов и блоков в цепочке; применение цифровых подписей, обеспечивающих подлинность участников; шифрование чувствительной информации (номера контейнеров, маршруты).

При этом должно соблюдаться условие:

$$\begin{cases} b_{бд1} + b_{бд2} = 1 \\ 0 \leq b_{бд1}, b_{бд2} \leq 1 \end{cases}$$

Результаты экспертной оценки эффективности применения блокчейна в логистике и цепи поставок крупной транспортной компании: $FK_{мд} = 0,24$; $FM_{мд1} = 0,07$; $FM_{мд2} = 0,11$; $FM_{мд3} = 0,06$; $FK_{то} = 0,26$; $FM_{то1} = 0,09$; $FM_{то2} = 0,16$; $FM_{то3} = 0,01$; $FK_{нд} = 0,1$; $FM_{нд1} = 0,06$; $FM_{нд2} = 0,02$; $FM_{нд3} = 0,02$; $FK_{бд} = 0,29$; $FM_{бд1} = 0,15$; $FM_{бд2} = 0,14$; синтетический критерий $FS = 0,89$. Значимость и вес каждого критерия определялся с использованием метода экспертных оценок. Для реализации методики выполнены следующие шаги: разработана рабочая анкета с заданными критериями / подкритериями, нормализованы критерии по шкале от 0 до 1, проведен опрос экспертов и обработаны полученные результаты.

Таким образом, несмотря на определенные сложности при внедрении, блокчейн открывает значительные перспективы для снижения издержек, повышения конкурентоспособности и оптимизации логистических цепочек.

Литература

1. Лукинский В. С., Лукинский В. В., Плетнева Н. Г. Логистика и управление цепями поставок. М.: Юрайт, 2025. 434 с.
2. Лукин К. А., Ключанов А. В. Обеспечение информационной безопасности в логистике и на железнодорожном транспорте // Дни студенческой науки: Сборник материалов 51-й научной конференции обучающихся СамГУПС, 6–26 апреля 2024 г., Самара, Россия. Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2024. С. 31–33. EDN: KWVSJZ.
3. Nakamoto S. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (дата обращения: 16.11.2025).
4. Szabo N. Smart Contracts. URL: <https://clck.ru/3QM4hc> (дата обращения: 15.11.2025).
5. Тапскотт Д. Технология блокчейн: то, что движет финансовой революцией сегодня / пер. с англ. К. Шашкова, Е. Ряхина. М.: Эксмо, 2018. 448 с.
6. Сажина М. А. Блокчейн в системе

управления знаниями / М. А. Сажина, С. В. Костин. М.: Форум, 2019. 90 с.

7. Чурилов А. Ю. Правовое регулирование применения технологии блокчейн. М.: Юстицинформ, 2021. 152 с.
8. Орлова А. Ю., Сорокин А. А. Технология блокчейн в управлении цепями поставок // Современное гуманитарное знание о проблемах социального развития, 22 апреля 2022 г., Ставрополь. Ставрополь: Северо-Кавказский социальный институт, 2022. С. 38–42. EDN: PSKULS.
9. Советов В. В., Цехановский В. В., Чертовской В. Д. Базы данных. М.: Юрайт, 2025. 403 с.
10. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. СПб.: Питер, 2012. 960 с.
11. Балдов Д. В., Петрова С. Ю., Лебедев А. А. Использование технологии блокчейн для защиты данных // International Journal of Open Information Technologies. 2021. Т. 9. № 9. С. 27–34. EDN: BGUWTT.
12. Щербakov В. В. Цифровая логистика. М.: Юрайт, 2025. 573 с.
13. Применение блокчейна в РЖД: пять самых перспективных направлений. URL: <https://rzdigital.ru/opinions/primenenie-blokcheyna-v-rzh-d-pyat-samykh-perspektivnykh-napravleniy/> (дата обращения: 15.11.2025).
14. Банщикова А. А., Кудрявцев К. В., Ковалев А. Ю. Возможности применения технологии блокчейн при перевозке грузов в международном сообщении // Мир транспорта. 2018. Т. 16. № 3. С. 134–154.
15. Ларин О. Н., Буш Ю. Д., Некрутова С. П. Особенности использования цифровых блокчейн-платформ в транспортной логистике // Актуальные проблемы управления — 2018: материалы 23-й Международной научно-практической конференции, 14–15 ноября 2018 г., Москва, Россия. М.: Государственный университет управления, 2019. Вып. 2. С. 61–64. EDN: SJANVT.
16. Петренко С. А., Петренко А. С. О развитии технологии блокчейн в России // Защита информации. Инсайд. 2019. № 2 (86). С. 19–25. EDN: ZBAYPB.
17. Демин В. А. Критерии эффективности транспортно-логистических систем // Мир транспорта. 2021. Т. 16. № 5 (78). С. 192–198. EDN: YNQNVB.