

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КАДАСТРОВОМ УЧЕТЕ НЕДВИЖИМОСТИ

С. В. Мещеряков^а, В. Ф. Шуршев^б

Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация

^а  Serg-93@list.ru, ^б v.shurshev@mail.ru

Аннотация: современные системы учета недвижимости сталкиваются с проблемами безопасности, прозрачности и скорости обработки данных. Предложена инновационная блокчейн-модель кадастрового учета, обеспечивающая децентрализованное хранение данных, защиту от несанкционированных изменений и автоматизированную верификацию сделок. Разработан механизм регулирования комиссий в зависимости от численности населения и интеграции блокчейна с государственными реестрами. Представлены модели транзакций, алгоритмы работы системы и перспективы внедрения.

Ключевые слова: блокчейн, учет недвижимости, децентрализация, смарт-контракты, кадастр, IPFS.

Для цитирования: Мещеряков С. В., Шуршев В. Ф. Децентрализованные технологии в кадастровом учете недвижимости. *Успехи кибернетики*. 2025;6(2):80–85.

Поступила в редакцию: 11.04.2025.

В окончательном варианте: 22.04.2025.

DECENTRALIZED TECHNOLOGIES FOR CADASTRAL SYSTEMS

S. V. Meshcheryakov^а, V. F. Shurshev^б

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation

^а  Serg-93@list.ru, ^б v.shurshev@mail.ru

Abstract: we analyzed the limitations of modern real estate accounting systems in terms of security, transparency, and data processing speed. To address these challenges, we proposed an innovative blockchain-based model for cadastral accounting that ensures decentralized data storage, protection against unauthorized modifications, and automated transaction verification. We developed a mechanism for regulating transaction fees based on population size and for integrating the blockchain system with state registries. We also presented transaction models, system operation algorithms, and potential implementation scenarios.

Keywords: blockchain, real estate registration, decentralization, smart contracts, cadastral system, IPFS.

Cite this article: Meshcheryakov S. V., Shurshev V. F. Decentralized Technologies for Cadastral Systems. *Russian Journal of Cybernetics*. 2025;6(2):80–85.

Original article submitted: 11.04.2025.

Revision submitted: 22.04.2025.

Введение

Традиционные кадастровые системы имеют централизованную структуру, что делает их уязвимыми для манипуляций, ошибок и взломов. Такие недостатки снижают доверие к системе учета недвижимости, усложняют процесс подтверждения прав собственности и создают препятствия для быстрого принятия решений при осуществлении сделок. Проблемы, связанные с дублированием записей, отсутствием прозрачности и длительными бюрократическими процедурами, требуют поиска инновационных решений [1–3].

Применение технологии блокчейн позволяет радикально изменить процесс учета недвижимости, обеспечивая неизменяемость данных, защиту от несанкционированного доступа и автоматизацию сделок. Использование смарт-контрактов минимизирует влияние человеческого фактора, снижая вероятность ошибок. Внедрение децентрализованной модели учета недвижимости способствует повышению эффективности кадастрового администрирования, создавая более прозрачную, безопасную и оперативную среду для всех участников рынка недвижимости [4, 5].

Блокчейн представляет собой распределенный реестр, который состоит из последовательности блоков, содержащих записи о транзакциях. Основное преимущество этой технологии заключается в неизменяемости данных: после добавления информации в блок ее нельзя удалить или подделать без изменения всей цепочки блоков, это достигается благодаря криптографическим методам защиты и механизмам консенсуса [6, 7].

В системе блокчейна каждая транзакция подписывается цифровой подписью владельца, после чего проверяется сетью узлов на предмет подлинности. Успешно подтвержденные транзакции объединяются в блоки, которые добавляются в цепочку с привязкой к предыдущему блоку, что исключает возможность фальсификации данных. Среди ключевых механизмов, обеспечивающих безопасность и функционирование системы, можно выделить [8]:

1. Механизм консенсуса — алгоритм, определяющий, как узлы сети достигают единого решения по валидации новых блоков (например, Proof-of-Stake или Practical Byzantine Fault Tolerance).
2. Криптографическое хеширование — применение алгоритмов хеширования (SHA-256) для создания уникальных идентификаторов блоков.
3. Децентрализация — отсутствие единого центра хранения данных, что повышает устойчивость системы к внешним атакам и сбоям.
4. Смарт-контракты — программируемые алгоритмы, автоматически выполняющие условия сделок при соблюдении заданных параметров.

Была предложена модель учета недвижимости с помощью технологий блокчейн, которую можно представить в виде кортежа:

$$\text{Блокчейн} = \{K, T, B, P\}, \quad (1)$$

где:

K — механизм консенсуса (PoS, PBFT), обеспечивающий верификацию транзакций;

T — набор транзакций, фиксирующих изменения прав собственности;

B — цепочка блоков, содержащих зашифрованные данные кадастра;

P — правила валидации данных и механизмы защиты.

В предложенной системе комиссия за обработку транзакций динамически изменяется в зависимости от численности населения региона. Это решение обусловлено необходимостью балансировки нагрузки на сеть, повышения скорости обработки сделок в мегаполисах и обеспечения доступности сервиса в малонаселенных регионах.

Разработана формула для баланса комиссий:

$$C = \alpha + \beta \times V \times P_{\text{пор}} \quad (2)$$

где:

C — комиссия за транзакцию;

α — фиксированная базовая комиссия за проведение транзакции;

β — коэффициент масштабирования, зависящий от объема данных;

V — объем данных, внесенных в кадастр;

$P_{\text{пор}}$ — коэффициент приоритета, связанный с численностью населения города, откуда отправляется транзакция.

Данный подход позволяет гибко настраивать систему, обеспечивая высокую пропускную способность там, где она необходима, и снижая затраты на проведение транзакций в регионах с низкой активностью сделок. В густонаселенных районах коэффициент $P_{\text{пор}}$ увеличивает комиссию, ускоряя обработку записей, а в малонаселенных регионах снижает, поддерживая доступность системы для пользователей.

Коэффициент приоритета рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{пор}}(i) = \frac{N_i}{N_{\text{max}}}, \quad (3)$$

где:

$P_{\text{пор}}(i)$ — коэффициент приоритета;

N_i — население города, откуда отправлена транзакция i ;

N_{max} — население самого большого города в системе.

Данная формула добавляет приоритетность транзакциям из крупных городов, так как $P_{\text{пор}}(i)$ принимает значение от 0 до условно 100, где 100 соответствует самому крупному городу. Таким образом, комиссия C будет выше в густонаселенных районах, обеспечивая ускоренную обработку записей, и ниже в малонаселенных регионах, поддерживая доступность системы для всех пользователей [9].

Дополнительно система предусматривает динамическое изменение коэффициента α в зависимости от текущей нагрузки сети. В пиковые моменты параметр увеличивается, ускоряя обработку данных, а в периоды низкой активности — снижается, уменьшая стоимость транзакций.

В блокчейне модель адаптации комиссий выглядит следующим образом:

$$B = H(\phi + \tau + \gamma + \nu + \zeta) + (\alpha + \beta \times V \times P_{\text{pop}}), \quad (4)$$

где:

B — блокчейн;

H — криптографическая хеш-функция;

ϕ — предыдущий блок в цепи блоков;

τ — список транзакций, включаемых в текущий блок;

γ обозначает временную метку, указывающую время создания блока;

ν обозначает уникальный номер блока в цепи блоков;

ζ обозначает число (Нонс), которое изменяется для поиска подходящего хеша.

Формула, описывающая блокчейн как результат хеширования структурных данных блока, является основой понимания его работы и ключевым элементом, объясняющим механизмы его неизменяемости, безопасности и децентрализации. Включение в формулу таких элементов, как хеш предыдущего блока, транзакции, метка времени, номер блока и нонс, подчеркивает ее прикладное значение в реализации технологии. Данные элементы не только формируют структуру, но и задают поведенческую модель системы, что особенно важно для понимания, как блокчейн достигает своих уникальных характеристик.

Интеграция блокчейна с государственными реестрами

Внедрение технологии блокчейн в государственные реестры недвижимости представляет собой важный этап цифровой трансформации кадастровой системы, позволяющий устранить множество системных проблем, характерных для традиционных централизованных методов управления данными. Процесс интеграции блокчейна с государственными кадастровыми системами базируется на использовании API-интерфейсов, которые обеспечивают двусторонний обмен данными между существующими централизованными структурами и децентрализованным блокчейн-реестром. В рамках такой архитектуры все внесенные изменения фиксируются в блокчейне в форме неизменяемых записей, что предотвращает возможность несанкционированных изменений и манипуляций с информацией. Использование криптографических методов аутентификации позволяет гарантировать подлинность записей, сохраняя высокую степень защиты от несанкционированного доступа [10, 11].

Особое значение в системе интеграции приобретают смарт-контракты, которые автоматизируют процессы проверки данных и их юридической верификации. При изменении прав собственности или наложении обременений смарт-контракты выполняют алгоритмический анализ условий сделки, проверяют соответствие данных нормативно-правовым требованиям и фиксируют все изменения в блокчейне без необходимости ручного подтверждения со стороны операторов кадастра. Данная технология позволяет существенно снизить нагрузку на государственные структуры, исключая необходимость в промежуточных проверках и бумажном документообороте.

Дополнительным преимуществом интеграции блокчейна с кадастровыми реестрами является возможность обеспечения прозрачности сделок и их оперативной верификации. Поскольку вся история операций с объектами недвижимости фиксируется в блокчейне, заинтересованные стороны, включая нотариусов, банковские структуры и государственных регистраторов, могут получить мгновенный доступ к актуальной информации о статусе конкретного объекта. Это не только ускоряет процессы принятия решений, но и исключает возможность фальсификации данных или дублирования записей.

Государственные реестры, интегрированные с блокчейн-системой, получают значительные преимущества с точки зрения безопасности и отказоустойчивости. Традиционные централизованные базы данных подвержены рискам взлома, коррупции и технических сбоев, тогда как блокчейн, благодаря децентрализованной структуре, минимизирует вероятность разрушения или модификации данных из-за несанкционированного вмешательства. Даже в случае выхода из строя отдельных узлов сети блокчейн вся информация остается доступной благодаря множеству копий, распределенных среди участников сети. Кроме того, интеграция блокчейна с государственными кадастрами может значительно упростить

процессы аудита и контроля со стороны регулирующих органов. Поскольку все транзакции, связанные с объектами недвижимости, хранятся в неизменяемом виде, проверяющие инстанции могут оперативно анализировать историю владения, правовые обременения и юридическую чистоту сделок, исключая возможность манипуляций и ошибок, характерных для традиционных бумажных архивов и централизованных цифровых баз данных.

Таким образом, применение блокчейна в кадастровом учете не только обеспечивает прозрачность и достоверность данных, но и кардинально изменяет принципы взаимодействия между участниками рынка недвижимости. Снижение количества бюрократических процедур, повышение уровня автоматизации, уменьшение количества посредников и ускорение всех процессов, связанных с регистрацией и передачей прав собственности, делает блокчейн перспективной технологией для внедрения в государственные системы управления недвижимостью. В долгосрочной перспективе подобные изменения могут способствовать созданию глобальной децентрализованной сети кадастровых реестров, обеспечивая единый стандарт учета недвижимости и трансграничного взаимодействия между различными государственными системами. Блокчейн-реестр должен взаимодействовать с государственными кадастрами через API-интерфейсы, обеспечивая автоматическую сверку данных и их неизменяемость. Это взаимодействие реализуется через безопасные каналы передачи информации, где данные верифицируются в режиме реального времени, исключая человеческий фактор и снижая вероятность ошибок.

Механизм интеграции:

1. Передача данных в блокчейн — при внесении новой информации в государственный кадастр ее хеш фиксируется в блокчейне, что обеспечивает подтверждение подлинности.
2. Использование смарт-контрактов — каждая операция с недвижимостью (передача права собственности, наложение обременений) фиксируется с помощью смарт-контрактов, которые автоматически проверяют корректность изменений и соответствие законодательным требованиям.
3. Обратная связь с кадастром — при запросах из государственных реестров система сверяет данные в блокчейне, обеспечивая их актуальность и предотвращая возможные дублирования или расхождения в информации.
4. Проверка правового статуса объектов — блокчейн хранит историю всех транзакций, что позволяет мгновенно получать подтверждение о статусе объекта недвижимости без необходимости ручной проверки архивных данных.

Интеграция блокчейна с государственными реестрами создает единую систему контроля и регистрации недвижимости, повышая доверие к сделкам и ускоряя процедуры юридического оформления. Блокчейн-реестр должен взаимодействовать с государственными кадастрами через API-интерфейсы, обеспечивая автоматическую сверку данных. Смарт-контракты фиксируют изменения прав собственности и выполняют проверку на предмет обременений, исключая необходимость ручной обработки заявок, это позволяет значительно ускорить процессы регистрации, уменьшить количество ошибок и повысить прозрачность сделок. Данные процессы возможно отобразить в виде модели работы децентрализованной системы учета недвижимости на основе блокчейна (рис.).

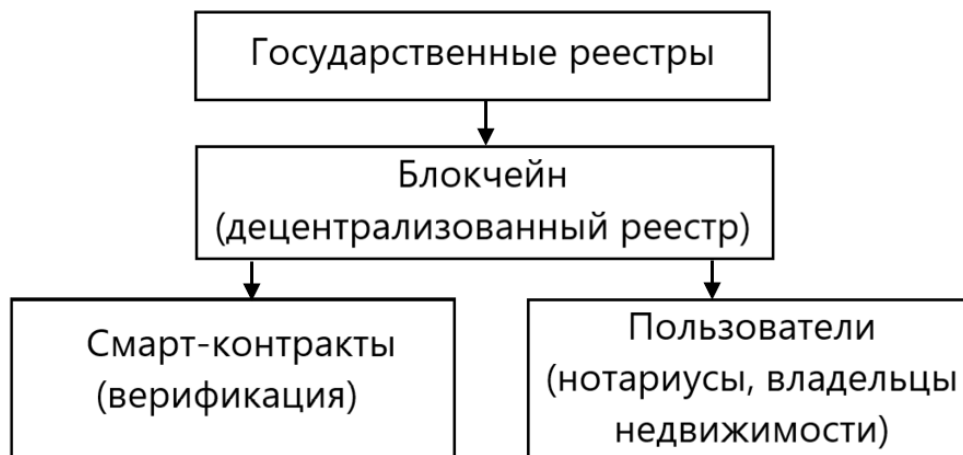


Рис. Модель работы децентрализованной системы учета недвижимости на основе блокчейна

Оптимизация хранения данных с использованием IPFS

Хранение полных данных об участках недвижимости (особенно пространственных) в блокчейне может быть неэффективным из-за его ограничений по объему. Для решения данной проблемы могут быть предложены технологии IPFS (межпланетная файловая система). В блокчейне сохраняются только ссылки на данные, хранящиеся в распределенной файловой системе. Это позволяет значительно снизить объем хранимой информации и ускорить операции [12].

Оптимизированное время обработки транзакций может быть рассчитано по следующей формуле:

$$T_{\text{opt}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i v_i P_{\text{пор}}}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad (5)$$

где:

T_{opt} — оптимизированное время обработки;

d_i — размер транзакции i ;

v_i — скорость обработки данных узлом;

w_i — вес транзакции i .

Данная формула учитывает влияние распределения данных в сети IPFS и блокчейне, а также приоритет транзакций. Хранение лишь хеш-ссылок на кадастровые записи позволяет не только экономить пространство, но и улучшать производительность за счет сокращения объема передаваемых данных и ускорения доступа к ним. В результате использования IPFS значительно уменьшается объем данных, которые необходимо хранить непосредственно в блокчейне, что делает обработку транзакций более эффективной и масштабируемой.

Заключение

Разработанная блокчейн-модель учета недвижимости сочетает в себе прозрачность, безопасность и автоматизацию процессов. Применение динамического регулирования комиссий позволяет повысить эффективность обработки сделок, а интеграция с государственными реестрами обеспечивает юридическую значимость записей. Технология блокчейн не только снижает риски мошенничества и несанкционированного доступа к данным, но и предоставляет уникальные возможности для оптимизации кадастровых процессов, сокращая время обработки сделок и уменьшая финансовые затраты.

Внедрение предложенной модели создает условия для полноценного перехода к цифровому кадастру, минимизируя влияние человеческого фактора и снижая административные издержки. В перспективе это может привести к созданию единой глобальной системы кадастрового учета, способной интегрировать данные между различными государственными структурами, что упростит трансграничные операции с недвижимостью. Таким образом, предложенная блокчейн-модель является не только технологическим решением, но и основой для трансформации кадастрового учета в новую, более совершенную форму управления недвижимостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлова В. А., Уварова Е. Л. Применение информационно-коммуникационных технологий в современной российской кадастровой системе. *Геодезия и картография*. 2019;2:57–63. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-944-2-57-63.
2. World Bank Group. *Blockchain and Emerging Digital Technologies for Enhancing Post-2020 Climate Markets*. Washington, DC: World Bank; 2018.
3. Swan M. *Blockchain: Blueprint for a New Economy*. Sebastopol: O'Reilly Media; 2015. ISBN: 978-1-4919-1524-2.
4. Мещеряков С. В., Шуршев В. Ф. Применение технологий блокчейн для учета и регистрации земельных участков. *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. 2023;(4):112–115.
5. Мещеряков С. В., Шуршев В. Ф. Децентрализованный учет недвижимости: блокчейн и его применение. *Современные задачи и перспективные направления инновационного развития науки: материалы международной научно-практической конференции*. 2025:84–86.

6. Kshetri N. Can Blockchain Strengthen the Internet of Things? *IT Professional*. 2017;19(4):68–72. DOI: 10.1109/MITP.2017.3051335.
7. Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Payment System. Режим доступа: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.
8. Swan M. The Blockchain: Brief History, Risks, and Opportunities. *IEEE Computer*. 2017;50(9):58–61. DOI: 10.1109/MC.2017.3571052.
9. Мещеряков С. В., Шуршев В. Ф. Адаптация комиссий в блокчейн-сети недвижимости. *Информационные системы и технологии*. 2024;(6):69–74.
10. Tapscott D., Tapscott A. *Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World*. New York: Penguin; 2016. ISBN: 978-1-101-90363-2.
11. Grigg I. *Triple Entry Accounting*. Режим доступа: https://iang.org/papers/triple_entry.html.
12. Helmy K., Zaki M. Blockchain Technology for Accounting and Registration of Land Plots: Advantages and Challenges. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2020;11(3):24–37. DOI: 10.14569/IJACSA.2020.0110304.