

Научная статья  
<https://doi.org/10.23672/SAE.2024.4.4.010>  
УДК 316.422



## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОМЕРНОГО БЛОКЧЕЙНА В ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**Ворожейкин Н.И.**

*Поволжский государственный университет сервиса*

**Аннотация.** В эпоху глобальной цифровизации, качество и безопасность цифровых систем играют ключевую роль в поддержании и развитии современного общества.

**Цель:** изучить имитационное моделирование как инструмент анализа эффективности многомерного блокчейна в инновационной деятельности.

**Методы:** анализ, синтез, обобщение и систематизации научных источников по проблеме исследования.

**Результаты:** настоящее исследование посвящено применению имитационного моделирования для анализа эффективности многомерного блокчейна в контексте инновационной деятельности. В работе представлена комплексная модель, объединяющая блокчейн-технологии с симуляцией и оптимизацией процессов для оценки ключевых аспектов инновационных проектов, таких как время выполнения, стоимость и ожидаемое воздействие на рынок.

**Выводы.** Сделан вывод о том, что использование блокчейна как инструмента верификации обеспечивает прозрачность, достоверность и неизменность данных, что является критически важным для успешного управления инновационными проектами. Результаты исследования демонстрируют потенциал применения многомерного блокчейна и имитационного моделирования в повышении эффективности инновационных процессов.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, многомерный блокчейн, инновационная деятельность, блокчейн-технологии, цифровизация, оптимизация процессов, прозрачность данных, верификация данных, анализ эффективности.

## SIMULATION MODELING AS A TOOL FOR EFFICIENCY ANALYSIS OF A MULTIDIMENSIONAL BLOCKCHAIN IN INNOVATION ACTIVITIES

**Nikita I. Vorozheikin**

*Volga State University of Service*

**Abstract.** In the era of global digitalization, the quality and security of digital systems play a key role in the maintenance and development of modern society.

**Object:** to study simulation modeling as a tool for analyzing the effectiveness of multidimensional blockchain in innovation.

**Methods:** analysis, synthesis, generalization and systematization of scientific sources on the research problem.

**Findings:** This study examines the use of simulation modeling to analyze the effectiveness of multidimensional blockchain in the context of innovation. The paper presents a comprehensive model that combines blockchain technology with simulation and process optimization to evaluate key aspects of innovation projects such as lead time, cost and expected market impact.

**Conclusions:** It is concluded that the use of blockchain as a verification tool ensures transparency, reliability and immutability of data, which is critical for the successful management of innovative projects. The results of the study demonstrate the potential of using multidimensional blockchain and simulation modeling in increasing the efficiency of innovation processes.

**Keywords:** simulation modeling; multidimensional blockchain; innovation activities; blockchain technologies; digitalization; process optimization; data transparency; data verification; efficiency analysis.

**Введение.**

В современном мире, где цифровизация становится основополагающим аспектом глобального общества, критически важно не только поддерживать стабильную работу сетей связи, но и активно заниматься развитием и улучшением этих систем с учетом будущих потребностей. В контексте ожидаемых стандартов, такие аспекты, как безопасность, конфиденциальность, надежность и эффективность передачи данных должны стать предметом пристального внимания со стороны научного и исследовательского сообщества.

Для решения представленных задач, блокчейн представляет собой перспективную технологию, способную формировать новые типы децентрализованных архитектур, обеспечивающих управление технологическими процессами и обмен цифровыми активами между участниками сети без посредников.

Блокчейн, являясь децентрализованной базой данных, состоит из цепочки блоков со структурированной информацией, где каждый узел хранения и обработки данных действует независимо от централизованных серверов. Основными достоинствами использования технологии блокчейн являются ее децентрализация, повышенная надежность системы, которая обеспечивается автоматической отменой транзакций при попытке внедрения неавторизованных изменений, благодаря верификации данных существующими записями и их подтверждению независимыми участниками.

### Результаты.

В настоящее время возможности блокчейна рассматриваются исследователями и разработчиками как способ кардинального изменения и улучшения многих существующих услуг. Технология представляет интерес для различных отраслей, включая финансовый сектор, телекоммуникации, транспорт, промышленность и аграрный сектор.

Согласно отчету Transparency Market Research, ожидается, что к 2024 году общемировой рынок блокчейна достигнет объема в 20 миллиардов долларов, с прогнозируемым ежегодным ростом на 59%.

В отдельном исследовании, проведенном Grand View Research, предполагается, что размер индустрии к тому же времени составит 7,74 миллиарда долларов [1].

На момент написания настоящего исследования биткоин обновил исторический максимум, достигнув 71 тысячу долларов за токен, что свидетельствует о возобновляющемся интересе к технологии блокчейна в целом [10].

Система строится на принципах сохранения целостности и надежности, используя для этого хэш-суммы генезис-блоков, которые хранятся в родительских блокчейнах. В рамках многомерного блокчейна, распределенный реестр может пониматься двояко: как каждый отдельный блокчейн и как вся система в целом, что дает гибкость в применении и толковании технологии. В разных источниках авторы анализируют блокчейн с разных точек зрения (табл.1).

Таблица 1 – Авторы, решение, используемые технологии, анализируемые аспекты

Авторы исследования	Решение	Используемые технологии	Анализируемые аспекты
Frolkova M., Mandjes M. [2]	Исследование основано на модели M/Gf<>, где анализируется эквивалентность обслуживающих дисциплин для определения стационарного распределения.	Теория массового обслуживания	Распределение периодов активности, задержки обслуживания.
Kawase Y., Kasahara S. [3]	Анализ времени подтверждения транзакции через систему очередей, используя модель M/G/1, где транзакции обрабатываются пакетно и включаются в обработку только при достижении максимального размера пакета.	Теория очередей	Время создания блока, среднее количество транзакций.
Li Q.L., Ma J.Y., Chang Y.X. [4]	Расширение применения теории массового обслуживания в блокчейне для оценки производительности через Марковскую систему с двумя этапами обработки.	Теория очередей; Марковские цепи	Среднее число транзакций в очереди и блоке, время подтверждения.

Авторы исследования	Решение	Используемые технологии	Анализируемые аспекты
Ling X., Le Y., Wang J., Ding Z., Gao X. [5]	Проектирование системы с использованием нескольких очередей, разбитых на четыре этапа: предварительная обработка, подтверждение, обработка, выполнение.	Модели переходов; Теория очередей; Марковские цепи	Алгоритмы создания блоков, вероятностные модели переходов, временные задержки.
Liu Z., Luong N.C., Wang W., Niyato D., Wang P., Liang Y.-C., Kim D.I. [6]	Внедрение игровых теорий для моделирования стратегий безопасности, управления и экономических аспектов в блокчейн-сетях.	Теория игр	Экономические стратегии и аспекты.
Memon R.A., Li J., Ahmed J., Khan A., Nazir M.I., Mangrio M.I. [7]	Стратегия организации добычи данных основана на модели M/Mfn/L, где размер очереди определен как T.V, с приоритетом по принципу "Последний пришел - первый обслужен", и механизмом отсева "Исключение после обработки", оставляя в памяти только транзакции, соответствующие размеру блоков.	Теория очередей	Средний объем транзакций в блоке, производительность добычи, транзакции в секунду.
Memon R.A., Li J.P., Ahmed J. [7]	Использование модели W/M/1 для моделирования памяти блокчейна, в то время как процесс добычи данных представлен моделью U/M/n, где добыча разделяется на множество задач для параллельной работы.	Теория массового обслуживания	Средний объем транзакций на блок, интенсивность транзакций, время добычи, пропускная способность системы, время ожидания, объем неподтвержденных транзакций.
Mišić J., Mišić V.B., Chang X., Motlagh S.G., Zulfiker M.A. [8]	Анализируется модель M/C/1 для системы, где поступление данных моделируется как неоднородный процесс Пуассона с учетом особенностей протокола передачи данных.	Теория массового обслуживания	Вероятности распределения, время ответа узла, вероятность форков, длительность несогласий в реестре.
Papadis N., Borst S., Walid A., Grissa M., Tassioulas L. [9]	Разработаны стохастические сетевые модели для анализа эволюции и динамики блокчейн-сетей, сочетая аналитические и экспериментальные подходы.	Стохастическое моделирование	Влияние времени распространения блоков, мощность хэширования.

В настоящее время специалистами в области моделирования используются различные программные решения, разработанные для удовлетворения потребностей в анализе, тестировании и визуализации блокчейн-технологий. Эти решения включают в себя экспериментальные среды, такие как Bitcoin Sandbox, Ether Faucet и Ganache, предназначенные для валидации функциональности блокчейн-приложений с помощью тестовых токенов. А инструменты визуализации, например, Blockchain Visual Demo, помогают наглядно продемонстрировать ключевые процессы в блокчейне.

Кроме того, симуляторы событийной модели и симуляция сегмента сети, включая Vibes Simulator и AnyLogic Blockchain, предоставляют возможности для глубокого анализа и тестирования систем, позволяя оценить различные сценарии и аспекты взаимодействия в блокчейн-сетях. Эти программные решения играют ключевую роль в оптимизации и повышении эффективности блокчейн-систем, обеспечивая необходимую прозрачность и верификацию данных (табл. 2).

Таблица 2 - Программные решения для моделирования с использованием многомерного блокчейна.

Инструмент	Описание	Программное обеспечение
Экспериментальные среды	Экспериментальные среды используются для валидации функциональности или важности блокчейн-приложений. В них применяются тестовые токены без реальной ценности.	Bitcoin Sandbox; Ether Faucet; Rinkeby Authenticated Faucet; Ganache; Ethereum Sandbox; Truffle Suite; Remix Ethereum IDE; IBM Blockchain DevKit; Visual Studio Code Blockchain DevKit; BlockAuth; CryptoUtils
Визуализация технологии	Эти инструменты демонстрируют основные процессы в блокчейне, такие как хеширование, создание блоков, распределение, а также позволяют увидеть результаты изменений параметров.	Blockchain Visual Demo
Симуляторы событийной модели	С помощью этих инструментов можно анализировать ключевые аспекты и показатели сети, изучать взаимодействие между узлами и оценить разные сценарии. Они предоставляют надежное средство для сравнения различных систем и помогают глубже понять разнообразные подходы к дизайну. Эти инструменты используются для предварительной проверки производительности системы в целом и для тестирования производительности отдельных компонентов.	Vibes Simulator; BlockBenchMark; SimBlockchain; BlockSimulator; LiteChain; BTCNetSim;
Симуляция сегмента сети	Эти решения сочетают в себе математический и логический подходы и воспроизводят поведение блокчейн-системы с использованием программного обеспечения.	AnyLogic Blockchain; MATLAB Blockchain; NS3 Blockchain Module; GPSS Blockchain Simulator;

Посредством изучения особенностей всех видов реальных блокчейн-систем, мы получили общее содержание всех блокчейн-систем. Основываясь на этом общем контенте, мы абстрагировали уровень консенсуса, сетевой уровень, уровень хранения и уровень контракта. Конкретные значения и цели проектирования этих четырех слоев заключаются в следующем.

1. Уровень консенсуса. Подтверждение каждой транзакции в блокчейне должно поддерживаться механизмом консенсуса, а алгоритмы консенсуса являются ключом к обеспечению децентрализованного характера блокчейна. Для большинства консенсусных алгоритмов при моделировании можно использовать прямое выполнение. Механизм доказательства работы, используемый при прямом моделировании, приведет к большому потреблению ресурсов; таким образом, он не подходит для использования в моделируемой среде. Из-за широкого использования механизмов доказательства работы моделирование уровня консенсуса должно иметь возможность моделировать их, исходя из предпосылки достижения единства эффективности и аутентичности.

2. Сетевой уровень. В целом, любой блокчейн можно абстрагировать как сетевую связь между распределенными узлами базового уровня. Сетевой уровень должен включать моделирование протокола на уровне узла моделирования и моделирование распространения на уровне сети моделирования. Чтобы достичь целей проектирования моделирования сетевого уровня, необходимо начать с двух точек: моделирования сетевых протоколов и моделирования каналов связи.

3. Уровень хранения. Все сгенерированные данные блокчейна, в конечном итоге, собираются на уровне хранения. Характеристики блокчейна требуют, чтобы все узлы хранили полную копию данных отдельно. Только таким образом можно гарантировать защиту данных от несанкционированного доступа на основе разрешения всем узлам моделирования нормально читать и записывать данные блокчейна.

Для адаптации алгоритма под задачу оценки эффективности инновационных процессов предприятия с использованием блокчейн-технологий, можно предложить следующую версию алгоритма (рис. 1)

```
1. Вход: Сложность блока d; степень участия узлов c1, c2, ..., cN;
вес инновационного параметра P.
2. Выход: Индекс узла k; время генерации блока t; оценка
эффективности E.
3. // Инициализация переменных
4. t <-- ∞
5. k <-- 0
6. E <-- 0
7. // Расчет минимального времени генерации блока и оценки
эффективности
8. for i <-- 1 to N do
9.     // Расчет количества имитационных расчетов текущего узла
10.    counts <-- negative_binomial(1, p) + 1
11.    // Расчет имитированного времени генерации блока текущего
узла
12.    ti <-- counts / ci
13.    // Обновление минимального времени генерации блока и оценки
эффективности
14.    if ti < t then
15.        k = i
16.        t = ti
17.        // Расчет оценки эффективности с учетом веса
инновационного параметра
18.        E = (1 / t) * P
19.    end
20. end
21. return k, t, E
```

Рисунок 1 - Алгоритм для имитации механизма оценки эффективности бизнес-процесса с использованием многомерного блокчейна.

### Заключение.

Подводя итоги, отметим, что в современном мире, где растет объем трафика, генерируемого блокчейн-устройствами, важно изучать влияние этого трафика на качество обслуживания традиционных услуг, таких как передача видео и данных.

В работе представлен обзор решений в области аналитического и имитационного моделирования систем массового обслуживания, а также

результаты сравнения различных подходов к моделированию. Полагаем, что в перспективе ближайших 5 лет дальнейшие исследования в данной сфере могут быть направлены на решение задач по интеграции технологии многомерного блокчейна в анализ бизнес-процессов.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование в формате double-blind peer review (рецензенту неизвестны имя и должность автора, автору неизвестны имя и должность рецензента). Рецензия может быть предоставлена заинтересованным лицам по запросу.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are reviewed in the double-blind peer review format (the reviewer does not know the name and position of the author, the author does not know the name and position of the reviewer). The review can be provided to interested persons upon request.

### Литература:

1. *Blockchain Technology Market Outlook, Trends, Analysis 2024*/ URL: <https://www.transparencymarketresearch.com/blockchain-technology-market.html> (Дата обращения: 11.03.2024).
2. Frolkova M., Mandjes M. A Bitcoin-inspired infinite-server model with a random fluid limit // *Stochastic Models*. 2019. Vol. 35. Issue 1. Pp. 1–32. DOI:10.1080/15326349.2018.1559739
3. Kawase Y., Kasahara S. Transaction-Confirmation Time for Bitcoin: A Queueing Analytical Approach to Blockchain Mechanism // *Proceedings of the 12th International Conference on Queueing Theory and Network Applications (QTNA 2017, Qinhuaogdao, China, 21–23 August 2017)*. *Lecture Notes in Computer Science*. Cham: Springer, 2017. Vol. 10591. Pp. 75–88. DOI:10.1007/978-3-319-68520-5\_5
4. Li Q.L., Ma J.Y., Chang Y.X. Blockchain Queue Theory // *Proceedings of the 7th International Conference on Computational Social Networks (CSoNet 2018, Shanghai, China, 18–20 December 2018)*. *Lecture Notes in Computer Science*. Cham: Springer, 2018. Vol. 11280. Pp. 25–40. DOI:10.1007/978-3-030-04648-4\_3

5. Ling X., Le Y., Wang J., Ding Z., Gao X. *Practical Modeling and Analysis of Blockchain Radio Access Network* // *IEEE Transactions on Communications*. 2020. Vol. 69. Iss. 2. PP. 1021–1037. DOI:10.1109/TCOMM.2020.3029779
6. Liu Z., Luong N.C., Wang W., Niyato D., Wang P., Liang Y.-C., Kim D.I. *A Survey on Applications of Game Theory in Blockchain* // *arXiv preprint arXiv:1902.10865*. 2019. PP. 1–26.
7. Memon R.A., Li J.P., Ahmed J. *Simulation model for blockchain systems using queuing theory* // *Electronics*. 2019. Vol. 8. Iss. 2. DOI:10.3390/electronics8020234.
8. Mišić J., Mišić V.B., Chang X., Motlagh S.G., Zulfiker M.A. *Modeling of Bitcoin's Blockchain Delivery Network* // *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*. 2019. Vol. 7. Iss. 3. PP. 1368–1381. DOI:10.1109/TNSE.2019.2928716.
9. Papadis N., Borst S., Walid A., Grissa M., Tassiulas L. *Stochastic Models and Wide-Area Network Measurements for Blockchain Design and Analysis* // *Proceedings of the IEEE INFOCOM 2018 – IEEE Conference on Computer Communications (Honolulu, USA, 16–19 April 2018)*. IEEE, 2018. PP. 2546–2554. DOI:10.1109/INFOCOM.2018.8485982.
10. Биткоин обновил исторический максимум. URL: <https://www.rbc.ru/finances/08/03/2024/65eb39859a794732873084e9> (Дата обращения: 11.03.2024).

#### References:

1. *Blockchain Technology Market Outlook, Trends, Analysis 2024*/ URL: <https://www.transparency-marketresearch.com/blockchain-technology-market.html> (Date of access: 03/11/2024).
2. Frolkova M., Mandjes M. *A Bitcoin-inspired infinite-server model with a random fluid limit* // *Stochastic Models*. 2019. Vol. 35. Issue 1. Pp. 1–32. DOI:10.1080/15326349.2018.1559739
3. Kawase Y., Kasahara S. *Transaction-Confirmation Time for Bitcoin: A Queuing Analytical Approach to Blockchain Mechanism* // *Proceedings of the 12th International Conference on Queuing Theory and Network Applications (QTNA 2017, Qinhuangdao, China, 21–23 August 2017)*. *Lecture Notes in Computer Science*. Cham: Springer, 2017. Vol. 10591. PP. 75–88. DOI:10.1007/978-3-319-68520-5\_5
4. Li Q.L., Ma J.Y., Chang Y.X. *Blockchain Queue Theory* // *Proceedings of the 7th International Conference on Computational Social Networks (CSoNet 2018, Shanghai, China, 18–20 December 2018)*. *Lecture Notes in Computer Science*. Cham: Springer, 2018. Vol. 11280. PP. 25–40. DOI:10.1007/978-3-030-04648-4\_3
5. Ling X., Le Y., Wang J., Ding Z., Gao X. *Practical Modeling and Analysis of Blockchain Radio Access Network* // *IEEE Transactions on Communications*. 2020. Vol. 69. Iss. 2. PP. 1021–1037. DOI:10.1109/TCOMM.2020.3029779
6. Liu Z., Luong N.C., Wang W., Niyato D., Wang P., Liang Y.-C., Kim D.I. *A Survey on Applications of Game Theory in Blockchain* // *arXiv preprint arXiv:1902.10865*. 2019. pp. 1–26.
7. Memon R.A., Li J.P., Ahmed J. *Simulation model for blockchain systems using queuing theory* // *Electronics*. 2019. Vol. 8. Iss. 2. DOI:10.3390/electronics8020234.
8. Mišić J., Mišić V.B., Chang X., Motlagh S.G., Zulfiker M.A. *Modeling of Bitcoin's Blockchain Delivery Network* // *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*. 2019. Vol. 7. Iss. 3. PP. 1368–1381. DOI:10.1109/TNSE.2019.2928716.
9. Papadis N., Borst S., Walid A., Grissa M., Tassiulas L. *Stochastic Models and Wide-Area Network Measurements for Blockchain Design and Analysis* // *Proceedings of the IEEE INFOCOM 2018 - IEEE Conference on Computer Communications (Honolulu, USA, 16–19 April 2018)*. IEEE, 2018. pp. 2546–2554. DOI:10.1109/INFOCOM.2018.8485982.
10. Bitcoin has reached an all-time high. URL: <https://www.rbc.ru/finances/08/03/2024/65eb39859a794732873084e9> (Access date: 03/11/2024).

#### Информация об авторе:

**Ворожейкин Никита Игоревич**, аспирант, Поволжский государственный университет сервиса, Российская Федерация, г. Тольятти, e-mail: jeksus@mail.ru

**Nikita I. Vorozheikin**, PhD student, Volga Region State University of Service, Russian Federation, Tolyatti.