

5.2.4. Финансы

Научная статья

УДК 330.34

<https://doi.org/10.37493/2307-907X.2025.6.9>



КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИИ БЛОКЧЕЙНА: ДИНАМИКА КОЭФФИЦИЕНТА НАКАМОТО

Вероника Александровна Грудинина^{1*}, Наталья Николаевна Куницына²

^{1,2} Северо-Кавказский федеральный университет (д. 1, ул. Пушкина, Ставрополь, 355017, Российская Федерация)

¹ vagrudinina@ncfu.ru, <https://orcid.org/0009-0003-9936-7557>

² nkunitcyna@ncfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9336-8100>

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация. Введение. Образуя междисциплинарную область, в которой пересекаются интересы социально-экономических и информационно-математических сфер, вопросы создания и развития цифровых платформ находят все больший отклик в современных исследованиях. Технология блокчейна представляет безграничные возможности для внедрения инноваций на цифровых платформах. Благодаря неизменяемому характеру информации она повышает уровень безопасности и гибкости, позволяя пользователям совершать прозрачные и защищенные транзакции. Отсутствие обязательств блокчейн-сетей по предоставлению сведений в единой форме зачастую затрудняет корректную оценку воздействия различных факторов на степень их децентрализации. **Цель.** Разработать инструментарий для оценки степени децентрализации блокчейна, позволяющего пользователям, инвесторам и разработчикам принимать решения, основанные на эмпирических данных. **Материалы и методы.** В статье авторы приводят результаты анализа факторов, оказывающих влияние на степень децентрализации блокчейн-сетей, для оценки динамики которой использован коэффициент Накамото. Результаты демонстрируют колебания в степени децентрализации, обусловленные как внутренними факторами (изменения в алгоритме консенсуса, конкуренция валидаторов), так и внешними (регуляторные изменения, экономические стимулы). **Результаты и обсуждение.** В итоге получена зависимость величины показателя от метрик, характерных для цифровых платформ. Выявляются тенденции к концентрации ресурсов в руках ограниченного числа субъектов, что ставит под сомнение декларируемую децентрализованность отдельных блокчейнов. Прикладное значение результатов состоит в возможности выработки на их основе управляющих воздействий как на государственном уровне, так и на уровне блокчейн-сетей с целью недопущения создания централизованной системы. **Заключение.** Могут быть разработаны и предложены стратегии стимулирования участия большего числа субъектов в консенсусе, диверсификации вычислительной мощности и предотвращения образования крупных пулов.

Ключевые слова: блокчейн, криптовалюта, метавселенные, децентрализация, коэффициент Накамото, транзакции, цифровая экономика, трилемма блокчейна

Для цитирования: Грудинина В. А., Куницына Н. Н. Количественная оценка степени децентрализации блокчейна: динамика коэффициента Накамото // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2025. № 6(111). С. 77–87. <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2025.6.9>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 02.10.2025;

одобрена после рецензирования 06.11.2025;

принята к публикации 12.11.2025.

Research article

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE DEGREE OF BLOCKCHAIN DECENTRALIZATION: DYNAMICS OF THE NAKAMOTO RATIO

Veronika A. Grudinina^{1*}, Natalia N. Kunitsyna²

^{1,2} North-Caucasus Federal University (1, Pushkin str., Stavropol, 355017, Russian Federation)

¹ vagrudinina@ncfu.ru, <https://orcid.org/0009-0003-9936-7557>

² nkunitcyna@ncfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9336-8100>

* Corresponding author

Abstract. Introduction. Forming an interdisciplinary field in which the interests of socio-economic and information-mathematical spheres intersect, the issues of creating and developing digital platforms are finding an increasing response in modern research. Blockchain technology presents limitless opportunities for innovation on digital platforms. Due to the immutable nature of information, it increases the level of security and flexibility, allowing users to make transparent and secure transactions. The lack of obligations of blockchain networks to provide information in a single form often makes it difficult to correctly assess the impact of various factors on the degree of their decentralization. **Goal.** The purpose of this study was to propose a toolkit for assessing the degree of blockchain decentralization, allowing users, investors, and developers to make decisions based on empirical evidence. **Materials and methods.** In the article, the authors present the results of an analysis of factors influencing the degree of decentralization of blockchain networks, to assess the dynamics of which the Nakamoto coefficient was used. The results show fluctuations in the degree of decentralization due to both internal factors (changes in the consensus algorithm, competition among validators) and external factors (regulatory changes, economic incentives). **Results and discussions.** As a result, the dependence of the indicator value on the metrics typical for digital platforms was obtained. The trends towards the concentration of resources in the hands of a limited number of subjects are revealed, which calls into question the declared decentralization of individual blockchains. The applied significance of the results lies in the possibility of developing control actions based on them both at the state level and at the level of blockchain networks in order to prevent the creation of a centralized system. **Conclusion.** In

addition, strategies can be developed and proposed to encourage more actors to participate in consensus, diversify computing power, and prevent the formation of large pools.

Keywords: blockchain, cryptocurrency, metaverses, decentralization, Nakamoto coefficient, transactions, digital economy, blockchain trilemma

For citation: Grudinina VA, Kunitsyna NN. Quantitative assessment of the degree of blockchain decentralization: dynamics of the Nakamoto ratio. Newsletter of North-Caucasus Federal University. 2025;6(111):77-87. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2025.6.9>

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 02.10.2025;

approved after reviewing 06.11.2025;

accepted for publication 12.11.2025.

Введение / Introduction. Внедрение информационно-телекоммуникационных технологий в повседневную жизнь, а также в различные сферы деятельности населения обусловило ряд глобальных социально-экономических изменений. На современном этапе человечество находится на рубеже двух революций – информационной и цифровой. Финансовый и IT-секторы первыми отреагировали на вызовы цифровизации, предложив создание платформ нового поколения с использованием механизма цифровых валют. Собирабельным образом, интегрирующим информационно-телекоммуникационные технологии и экономику, стали метавселенные, исследованием которых занимаются экономисты и ученые из разных стран. Зачастую сущность метавселенных сводится исключительно к игровым платформам без учета особенностей, однако они обладают рядом принципиальных отличий.

Криптовалютные метавселенные – виртуальные среды, построенные на технологии блокчейна, позволяющей пользователям обменивать цифровые товары на экономическую ценность за пределами иммерсивных пространств. Передовые методы кодирования и шифрования повышают безопасность и надежность операций с цифровыми финансовыми активами, приобретая особую важность в метавселенных, платежи в которых осуществляются благодаря децентрализованным криптовалютным транзакциям.

Вместе с тем степень децентрализации можно корректировать для достижения баланса между безопасностью, автономией пользователей и производительностью сети. В этой связи целью исследования явилось определение факторов разнонаправленного воздействия на степень децентрализации сетей блокчейна, прикладная ценность которого состоит в возможности формирования единого подхода к количественной оценке влияния конкретных валидаторов на принятие решений в выбранном пространстве. Достижение поставленной цели потребовало провести анализ информации о состоянии сетей в период с 2023 по 2025 гг., расчет коэффициента Накамото с дальнейшей количественной оценкой степени децентрализации блокчейнов.

Материалы и методы исследований / Materials and methods of research. Предваряя описание полученных практических результатов исследования, приведем ряд замечаний теоретического характера, позволяющих разобраться в существе изучаемой проблемы. В современной литературе встречаются различные интерпретации дефиниции «блокчейн» с точки зрения права, экономики и IT-сферы.

Так, А. И. Савельев характеризует блокчейн как децентрализованную распределенную базу данных, «учетную книгу» всех подтвержденных транзакций, совершенных в отношении определенного актива, в основе функционирования которой лежат криптографические алгоритмы [6]. При этом Б. А. Шахназаров [8] подчеркивает, что последовательность блоков необходима для достижения достоверного консенсуса в распределенной системе защищенным от злоупотреблений способом, а Р. А. Долженко, С. Б. Долженко считают блокчейн перспективной технологией, которая может привести к значительным изменениям в подходах к регулированию различных сторон общественной жизни [1].

М. П. Воронов, В. П. Часовских исследуют блокчейн в качестве чистой распределенной пиринговой системы реестров, использующих программное обеспечение, которое состоит из алгоритмов, согласующих и объединяющих информационное содержание упорядоченных и связанных блоков данных в единое целое на основе технологий криптографии и безопасности с целью обеспечения целостности системы [10].

Зарубежные авторы [12] называют блокчейн вечным цифровым распределённым журналом экономических транзакций, запрограммированным для записи практически всего, что имеет ценность. Научный коллектив Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина определяет блокчейн как распределенную базу данных, состоящую из «цепочки блоков», при этом устройства хранения блоков не подключены к общему серверу, а база данных позволяет контролировать достоверность транзакций без надзора каких-либо финансовых регуляторов [7]. А. Г. Коринной делает акцент на перспективах использования блокчейн-технологии в части маневрирования финансового сектора, а именно отслеживания информации о переводе денежных средств в реальном времени

благодаря прозрачности проводимых в сети транзакций [3]. Со слов В. Д. Кузьменковой [4], потенциал применения технологии блокчейна в бизнесе и промышленности безграничен.

Поскольку блокчейн – децентрализованный, распределенный и публичный реестр для записи цифровых транзакций без возможности единоличного контроля и влияния в связи с необходимостью изменения последующих блоков и консенсуса сети, следующим этапом исследования стало изучение трилеммы блокчейна, состоящей в невозможности создания блокчейна, обладающего децентрализацией, масштабируемостью и безопасностью в равной степени.

Децентрализация оказывает влияние на современный технологический ландшафт, повышая стандарты безопасности за счет распределения данных и ресурсов по нескольким узлам. По сравнению с централизованными системами блокчейны не имеют единой точки отказа, что повышает устойчивость к атакам, несанкционированным манипуляциям и перебоям в работе. Распределенная архитектура децентрализованных сетей обеспечивает дополнительные возможности для аварийного восстановления: в случае если один узел будет скомпрометирован, сетевые функции не остановятся, поскольку остальная часть сможет работать независимо.

Концепция трилеммы [9] подчеркивает неотъемлемую проблему в достижении трех критических аспектов технологии блокчейна одновременно, ключевым из которых является децентрализация, где контроль над сетью равномерно распределен между всеми участниками, а не сосредоточен в одном центральном субъекте, что повышает прозрачность и справедливость сети, поскольку каждый участник имеет равный доступ к информации. Одним из решений трилеммы считается смена алгоритма консенсуса сети, определяющего валидатора из доступного пула для проверки определенных блоков.

Протоколы блокчейна используют разные методологии для выбора валидатора из доступного пула узлов [13].

1. Proof of Work (PoW): задача майнинга открыта для всех участников сети, в которой вознаграждение зависит от вычислительной мощности узла.

2. Proof of Stake (PoS): валидаторы определяются владением доли монет в системе, в которой вознаграждение предоставляется в виде комиссии за транзакцию.

3. Proof of Activity (PoA): гибридный подход заключается в совмещении инструментов PoW и PoS, благодаря которым валидаторы могут блокировать количество криптовалюты в сети с возможностью предлагать новые блоки и сертифицировать транзакции.

4. Proof of Elapsed Time (PoET): выбор валидатора из пула проходит случайным образом, предоставляя каждому узлу одинаковые шансы.

5. Proof of Burn (PoB): майнеры отправляют монеты на адрес невозвратного кошелька с целью усиления безопасности определенной сети.

Главной целью протоколов является защита от атак Sybil, при которых небольшое количество субъектов пытается взять под контроль всю сеть, используя несколько узлов или компьютеров, чтобы добиться подавляющего влияния на сеть. При «Атаке 51 %» мошенники захватывают большую часть вычислительной мощности, получая право на изменение порядка транзакций, присваивание криптоактивов. Зачастую для защиты от Sybil-атак используются методологии PoW и PoS, выступающие в качестве экономически сдерживающих факторов, поскольку они требуют от пользователей затрат энергии или залога для участия в валидации сети.

Результаты исследований и их обсуждение / Research results and their discussion. В своём исследовании мы задались вопросом: можно ли измерить уровень децентрализации блокчейна? Оцифровать степень централизации пытается компания Input Output Global, возглавляемая Ч. Хоскинсоном, основателем блокчейна Cardano, в партнерстве с Эдинбургским университетом. Ими предложен Эдинбургский индекс децентрализации (EDI) для определения, анализа и оценки децентрализации систем блокчейнов на нескольких уровнях. Показатель учитывает 8 категорий параметров, в числе которых: оборудование, программное обеспечение, сеть, консенсус, токеномика, клиентский API, управление и география – на их основе составляется рейтинг децентрализации для каждого блокчейна. На уровне консенсуса децентрализация оценивается путем применения метрик к распределению блоков по субъектам, которые их создали, при этом учитывается коэффициент Накамото выбранной сети. На уровне токеномики именно распределение токенов по держателям определяет результаты. Также для количественной оценки используется коэффициент Джини, отражающий степень неравенства распределения активов среди держателей, где значение, стремящееся к единице, указывает на высокую степень централизации, а значение, стремящееся к нулю, отражает децентрализацию [5].

Научным коллективом [11] предложен подход на основании скользящего окна, позволяющий фиксировать изменения степени децентрализации за разные промежутки времени и выявлять дополнительную информацию о поперечных интервалах, не учитывающуюся при измерениях на основе фиксированных окон, тем самым повышая эффективность децентрализации измерений в условиях постоянных тенденций и нештатных ситуаций.

Согласно цели исследования, мы оценили влияние разных факторов на степень децентрализации блокчейна, её количественная интерпретация осуществлена с использованием коэффициента Накамото, определяющего минимальное количество узлов, необходимое для компрометации сети. Подход закрепил шесть различных подсистем для измерения децентрализации в сетях блокчейнов: майнинг (по вознаграждению); клиент (по кодовой базе); разработчики (по коммиту); биржи (по объему); узлы (по количеству); собственность (по адресам).

В типичной сети Proof-of-Stake коэффициент Накамото определяется количеством операторов узлов, контролирующих более одной трети (33,33 %) всего объема. В рамках майнинга в цепочках Proof-of-Work консенсус заключается в том, что любая система, у которой есть 51 % вычислительной мощности, может контролировать сеть, чтобы удвоить расходы и изменить ход реестра. Низкий коэффициент, обычно менее 5 [2], говорит о более высокой концентрации контроля и большем риске централизации, что делает организацию более уязвимой для одностороннего принятия решений. Однако для бирж порог для истощения ликвидности до степени скомпрометированности системы может быть значительно выше.

Коэффициент Накамото представляет собой абсолютную величину минимального количества объектов, которые могут поставить под угрозу выбранную сеть. Высокое значение коэффициента означает, что на большем числе адресов находится 51 % предложения токенов. Блокчейн считается более децентрализованным, если у него высокий коэффициент Накамото. Для сетей Proof-of-Work расчет показателя осуществляется по формуле

$$N_s = \min\{k \in [1, \dots, K] + \sum_{i=1}^k p_i \geq 0,51\} \quad (1)$$

где N_s – коэффициент Накамото подсистемы s , минимальное количество сущностей, доли которых необходимо просуммировать для получения 51% контроля; K – число объектов системы; p_i – доля валидатора.

Для контроля типичной сети Proof-of-Stake необходимо 33,33 % всей доли, в таком случае расчет показателя осуществляется по формуле

$$N_s = \min\{k \in [1, \dots, K] + \sum_{i=1}^k p_i \geq 0,33\} \quad (2)$$

Допустим, что децентрализованная система (N) состоит из нескольких подсистем (S), в таком случае минимальное значение коэффициента Накамото определяется следующим образом:

$$N_{min} = \min\{N_1, \dots, N_s\} \quad (3)$$

Использование расчетного коэффициента позволяет:

- измерить текущий уровень децентрализации системы;
- определить количественное влияние предлагаемой модификации на децентрализацию;
- разработать алгоритмы оптимизации и архитектуру для максимизации децентрализации.

При таком расчете во внимание принимаются исключительно валидаторы, которые суммарно обладают долей, необходимой для контроля сети (табл. 1–3).

Проведенный анализ показал, что наиболее децентрализованным блокчейном является криптовалютная кросс-чейн биржа в сфере децентрализованных финансов Thorchain, несмотря на снижение коэффициента Накамото (с 31 до 27 в период с октября 2023 по июль 2025 гг.). При этом наблюдается негативная динамика в оборотном предложении активов, стоимости одного токена, общей капитализации. Индикатор ликвидности высокий относительно других блокчейнов (34,14 %), что свидетельствует о стабильности сектора крипторынка благодаря свободной купле-продаже цифрового актива.

Среднюю степень децентрализации показал блокчейн Stargaze, специализирующийся на невзаимозаменяемых токенах (NFT). Количество валидаторов выбранной сети составляет 127 с общим числом узлов 172. При этом в 2024 г. Stargaze характеризуется 100 % эмиссией токенов в объеме 1 026 442 924 единиц. Полагаем, что невзаимозаменяемые токены предполагают наличие высокой степени децентрализации сети в целях сохранения своей уникальной составляющей. Кроме того, NFT поддерживают цифровую экономику метавселенных, создавая динамичные разрозненные рынки для виртуальных товаров и услуг.

Таблица 1 / Table 1

Коэффициенты Накамото для блокчейнов Proof-of-Stake по состоянию на 07.2025 г. /
Nakamoto coefficients for Proof-of-Stake blockchains as of 07.2025

Блокчейн ¹	Направление	Коэффициент Накамото			Наименование и доля валидатора	Наименование и доля страны	Наименование и доля интернет-провайдера
		Валідаторы	Страны	Интернет-провайдеры			
1	2	3	4	5	6	7	8
Cheqd	Identity service	4	2	1	1. CDAO validator node: 77 765 289 CHEQ (12,04 %). 2. cheqd: 62 914 058 CHEQ (9,74 %). 3. Stakewolle.com 100 % Insurance: 47 731 215 CHEQ (7,39 %). 4. Baby Yoda Ventures: 37 432 715 CHEQ (5,79 %).	1. Финляндия: 28,27 %, число валидаторов: 11. 2. Германия: 27,42 %, число валидаторов: 16.	1. Hetzner Online GmbH: 45,48 %, число валидаторов: 21.
Cosmos Hub	Infrastructure	7	3	2	1. Coinbase Custody: 29 264 851 ATOM (11,96 %). 2. Cosmostation: 11 592 783 ATOM (4,74 %). 3. Binance Node: 9 967 672 ATOM (4,07 %). 4. Everstake: 9 486 954 ATOM (3,88 %). 5. DokiaCapital: 8 788 817 ATOM (3,59 %). 6. Upbit Staking: 8 582 083 ATOM (3,51 %). 7. SG-1: 8 104 487 ATOM (3,31 %).	1. Соединенные Штаты Америки: 16,60 %, число валидаторов: 35. 2. Германия: 14,16 %, число валидаторов: 42. 3. Ирландия: 14,10 %, число валидаторов: 6.	1. Amazon.com, Inc: 24,87 %, число валидаторов: 20. 2. OVH SAS: 12,51 %, число валидаторов: 34.
Migaloo	DeFi	3	2	3	1. Whaley DAO: 51 367 224 WHALE (15,62 %). 2. Robo Staking: 46 566 502 WHALE (14,16 %). 3. Smart Stake: 27 734 466 WHALE (8,43 %).	1. Соединенные Штаты Америки: 25,31 %, число валидаторов: 9. 2. Литва: 15,62 %, число валидаторов: 1.	1. HIVELOCITY, Inc.: 16,07 %, число валидаторов: 2. 2. UAB "Baltnetos komunikacijos": 15,62 %, число валидаторов: 1. 3. 01NODE FUNDING SRL: 8,28 %, число валидаторов: 1.
Persistence One	Restaking	10	2	2	1. GPool.io: 10 395 885 XPRT (7,97 %). 2. Cosmostation: 9 662 777 XPRT (7,28 %). 3. Staking4All: 9 495 748 XPRT (4,46 %). 4. Stakecito: 3 239 230 XPRT (2,48 %). 5. AUDIT.one: 3 145 149 XPRT (2,41 %). 6. Allnodes: 3 027 239 XPRT (2,32 %). 7. Atlasian: 2 929 882 XPRT (2,25 %). 8. Ledger by Chorus One: 2 666 749 XPRT (2,04 %).	1. Соединенные Штаты Америки: 21,34 %, число валидаторов: 15. 2. Германия: 12,15 %, число валидаторов: 15.	1. OVH SAS: 19,45 %, число валидаторов: 18. 2. Hetzner Online GmbH: 15,02 %, число валидаторов: 20.

¹ Выбраны активные блокчейн-сети платформы Observatory

Stargaze	NFT				9. Crosnest: 2 438 110 XPRT (1,87 %). 10. Smart stake: 2 431 796 XPRT (1,86 %). 1. Chorus One: 67 367 458 STARS (6,47 %). 2. Cosmostation: 61 112 812 STARS (5,87 %). 3. Polkachu.com: 35 001 994 STARS (3,36 %). 4. Stakecito: 33 866 825 STARS (3,25 %). 5. Allnodes: 33 245 152 STARS (3,19 %). 6. Oni: 28 987 252 STARS (2,78 %). 7. RHINO: 25 386 735 STARS (2,44 %). 8. StakeLab.zone: 24 417 297 STARS (2,34 %). 9. OmniFlix Network: 22 237 827 STARS (2,14 %). 10. Larry Engineer: 20 664 919 STARS (1,98 %).	1. Германия: 23,30 %, число валидаторов: 30. 2. Соединенные Штаты Америки: 18,45 %, число валидаторов: 23.	1. Hetzner Online GmbH: 24,84 %, число валидаторов: 42. 2. OVH SAS: 21,44 %, число валидаторов: 21.
----------	-----	--	--	--	---	---	--

* Источник: составлено авторами на основании: Analyze Blockchains. – URL: <https://observatory.zone/> / Source: compiled by the authors based on: Analyze Blockchains. – URL: <https://observatory.zone/>

Таблица 2 / Table 2

Коэффициенты Накамото для блокчейнов Proof-of-Stake по состоянию на 10.2023 г. / Nakamoto coefficients for Proof-of-Stake blockchains as of 10.2023

Блокчейн	Аббревиатура	Коэффициент Накамото	Предложение токенов	Оборотное предложение	Процент эмиссии, %	Цена одного токена, долл.	Капитализация криптовалюты, млн долл.
Avalanche	AVAX	24	431 599 660	431 599 660	100	9,37	3 320,67
Binance	BNB	8	153 846 343	153 846 343	100	214,06	32 933,07
Cosmos	ATOM	8	367 652 427	367 562 427	100	7,19	2 644,66
Ethereum	ETH	2	120 240 729	120 240 729	100	1 659,00	199 397,66
Hedera	HED	9	33 450 040 991	50 000 000 000	67	0,05	1 668,07
Near	NEAR	9	976 158 397	1 000 000 000	98	1,11	1 084,58
Polygon	MATIC	4	9 299 803 031	10 000 000 000	93	0,56	5 238,75
Solana	SOL	29	413 116 710	558 984 495	74	24,59	10 124,22
Stargaze	STARS	9	2 700 350 000	1 280 120 656	89	0,0015	4,05
Thorchain	RUNE	29	335 959 097	500 000 000	67	2,01	673,68

* Источник: составлено авторами на основании: Today's Cryptocurrency Prices by Market Cap. – URL: <https://coinmarketcap.com> / Source: compiled by the authors based on: Today's Cryptocurrency Prices by Market Cap. – URL: <https://coinmarketcap.com>

Таблица 3 / Table 3

Коэффициенты Накамото для блокчейнов Proof-of-Stake по состоянию на 07.2025 г. / Nakamoto coefficients for Proof-of-Stake blockchains as of 07.2025

Блокчейн ²	Аббревиатура	Коэффициент Накамото	Предложение токенов	Оборотное предложение токенов	Цена одного токена, долл.	Капитализация крипторынка, млн долл.	Объема торгов криптовалютой за сутки, млн. долл.	Индикатор ликвидности, % ³
Avalanche	AVAX	24	450 143 390	411 807 090	24,32	10 017,19	294,59	2,97
Binance	BNB	7	142 480 096	142 480 096	602,76	85 991,99	1 687,53	1,95
Cosmos	ATOM	7	390 934 204	390 934 204	4,40	1 721,88	142,17	8,33
Ethereum	ETH	2	120 533 298	120 533 298	2 614,36	315 298,13	27 663,05	8,83
Hedera	HBAR	8	50 000 000 000	38 267 523 197	0,2317	8 863,49	274,08	3,24
Near	NEAR	12	1 234 339 624	1 178 851 789	3,21	3 785,59	159,99	4,23
Polygon	MATIC	4	10 000 000 000	1 913 783 718	0,3037	581,88	5,90	1,01
Solana	SOL	19	593 667 932	487 826 985	195,00	95 118,51	3 277,61	3,51
Stargaze	STARS	10	2 986 560 000	1 345 180 761	0,002797	3,76	0,05	1,34
Thorchain	RUNE	27	426 040 777	351 681 832	1,22	430,44	146,34	34,14

*Источник: Составлено авторами на основании: Today's Cryptocurrency Prices by Market Cap. – URL: <https://coinmarketcap.com/>, Nakamoto Coefficients. – URL: <https://nakaflo.io/> / Source: Compiled by the authors based on: Today's Cryptocurrency Prices by Market Cap. – URL: <https://coinmarketcap.com/>, Nakamoto Coefficients. – URL: <https://nakaflo.io/>

² Выбраны разные характеристики с целью выявления их влияния на коэффициент Накамото.

³ Индикатор ликвидности определяется отношением волатильности к капитализации рынка. Чем выше коэффициент, тем более ликвидной является криптовалюта, что должно облегчить ее покупку/продажу на бирже. Криптовалюты с низким коэффициентом менее ликвидны.

Отметим, что данные за одинаковый анализируемый период могут отличаться в связи с применением разных методологий расчета показателя. В связи с этим считаем, что при расчете коэффициента Накамото необходимо обращать внимание не только на количество валидаторов, обладающих 51 % и 33,33 % контроля сети, но и на оборотное предложение токенов, капитализацию крипторынка, а также стоимость выпускаемой валюты:

$$N_s := \min\{k \in [1, \dots, K] + \sum_{i=1}^k P(\text{price, market capitalization}) \geq 0,33\} \quad (3)$$

По результатам анализа можно сделать вывод, что блокчейны с самым высоким коэффициентом Накамото (Thorchain, Solana), как правило, имеют низкую эмиссию токенов, в то время как другие сети с жестким уровнем капитализации предложения токенов (Cosmos, Binance) характеризуются меньшей величиной показателя.

Для оценки долгосрочной устойчивости и безопасности в целях устранения сговора валидаторов, цензуры транзакций, рисков атак 51 %; принятия обоснованных инвестиционных решений; повышения прозрачности транзакций и доверия пользователей; принятия обоснованных инвестиционных решений практическую значимость имеет прогноз изменения степени децентрализации блокчейн-сетей (рис. 1).

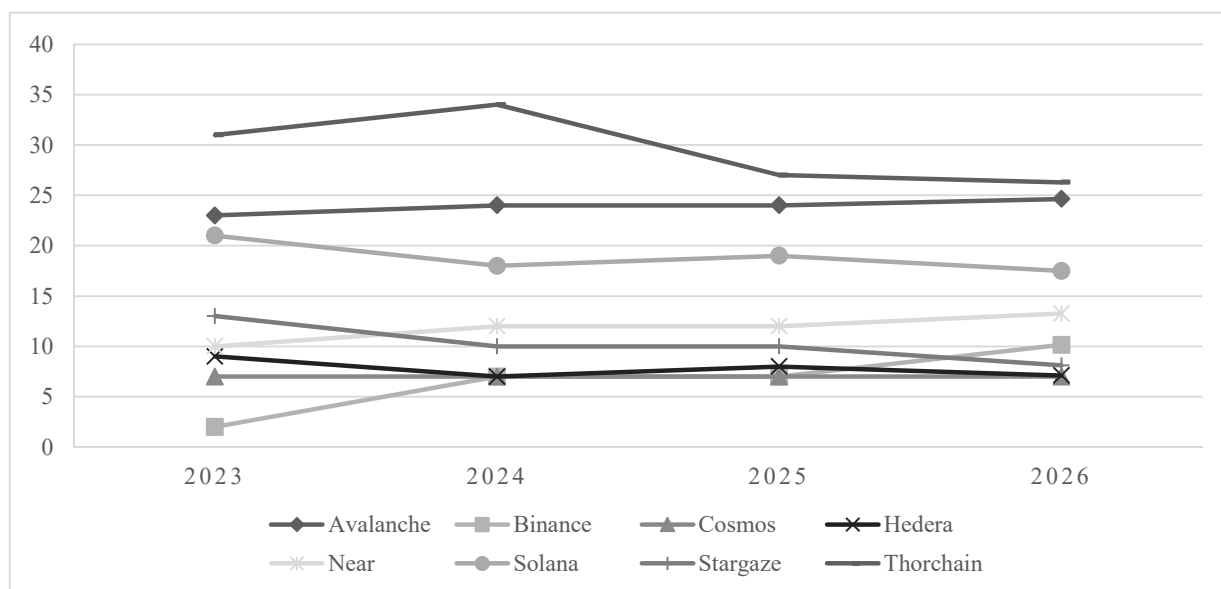


Рис. 1. Прогнозные значения коэффициента Накамото / Fig. 1. Predicted values of the Nakamoto coefficient

*Источник: составлено авторами / source: compiled by the authors.

Составленный прогноз позволяет сделать вывод, что блокчейны Stargaze, Hedera и Cosmos, характеризующиеся умеренными значениями коэффициента Накамото, потенциально могут вовсе лишиться децентрализации и впоследствии потерять преимущество среди прочих сетей в перспективе к 2026 г. Данное снижение, обусловленное уменьшением уровня конфиденциальности и безопасности данных, может негативно отразиться на конкурентоспособности платформ. Децентрализация в контексте блокчейн-технологий является ключевым параметром, гарантирующим отсутствие контроля над транзакциями, что принципиально отличает их от традиционных финансовых инструментов. Это обеспечивает пользователям повышенную автономию над своими данными и минимизирует потребность в посреднических организациях.

В исследуемом периоде блокчейны Thorchain и Avalanche отличаются высоким коэффициентом Накамото, что свидетельствует о достаточном количестве валидаторов, способных контролировать более половины мощности сети, и об отсутствии центрального управляющего органа, что делает практически невозможным цензуру транзакций и данных пользователей. Положительная динамика присуща нескольким платформам: Avalanche, Near и Binance, при этом значение показателя является недостаточным для обеспечения полноценной устойчивости к сбоям и работы без посредников. Сокращение коэффициента характерно для Thorchain, Solana, Stargaze и Cosmos, что возможно ввиду стремительного роста популярности такой технологии как шардинг, которая может препятствовать децентрализации. Со временем показатель способен уменьшаться из-за таких факторов, как масшта-

бируемость сети, требования к производительности, концентрация капитала и ресурсов в определенных отраслях и географических областях.

Поскольку децентрализованная природа блокчейна обеспечивает безопасную, прозрачную коммуникацию и предотвращает несанкционированный доступ и манипулирование данными, необходимо на государственном уровне регламентировать работу цифровых платформ, закрепив минимальное число главных валидаторов – не менее 10, что позволит сохранить прозрачность транзакций пользователей не в ущерб децентрализованной составляющей. Подобного подхода придерживается научный коллектив [10], предлагая объединить платформу, основанную на блокчейне, с существующими инструментами: институциональным дизайном; управлением, ориентированным на сообщества; правовой защитой. Такое решение позволит валидаторам получать стимулы за вклад в обеспечение безопасности децентрализованных сетей, прозрачность последних укрепит доверие между участниками сети, создаст основу для проверки операций. Возможности децентрализованной сети по повышению прозрачности, в свою очередь, повлекут достижение лучших результатов в области финансов.

Закключение / Conclusion. В научной статье предложен практический подход к оценке децентрализации блокчейна с использованием коэффициента Накамото, что дает возможность объективно сравнивать блокчейн-платформы. Коэффициент Накамото является основой количественной оценки степени децентрализации блокчейн-сетей, позволяет получить представление о концентрации контроля у определенных валидаторов и риске возможной централизации. Помимо анализа динамики самого коэффициента, необходимо учитывать стоимость выпускаемой валюты, оборотное предложение токенов, капитализацию крипторынка, мощность майнинга и распределение узлов с целью выявления уязвимостей, которые могут подорвать основные принципы технологии блокчейна.

Анализ коэффициента демонстрирует, что, несмотря на заявленную децентрализованную природу, многие современные блокчейны характеризуются концентрацией власти у минимального числа валидаторов, что требует критического осмысления. Полученные результаты исследования подчеркивают важность использования показателя как инструмента мониторинга и оценки разных блокчейн-архитектур, так как в перспективе многие сети могут лишиться своего основного параметра – децентрализации.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку более совершенных метрик децентрализации, учитывающих взаимодействия между валидаторами сети и стимулирующих создание более устойчивых блокчейн-экосистем. Целесообразно исследовать динамику коэффициента Накамото, выявляя факторы, способствующие изменению показателя, и разрабатывая стратегии для поддержания высокого уровня децентрализации, что поощряет открытую разработку и даёт пользователю чувство сопричастности, тем самым подогревая его интерес к активной деятельности в экономическом и общественном пространстве.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Долженко Р. А., Долженко С. Б. Обзор литературы о блокчейне в исследованиях по экономике // Креативная экономика. 2022. Т. 16. № 12. С. 4899–4918. <https://doi.org/10.18334/ce.16.12.116657>
2. Готская И. Б., Атеев К. О. Исследование распределения контроля и метрик разнообразия в децентрализованных автономных организациях // Экономика. Право. Инновации. 2024. № 3. С. 60–67. <https://doi.org/10.17586/2713-1874-2024-3-60-67>
3. Коринной А. Г. «Теневая» составляющая в использовании криптовалюты // Вестник Омского университета. 2022. № 1. С. 27–33. [https://doi.org/10.24147/1812-3988.2022.20\(1\).27-33](https://doi.org/10.24147/1812-3988.2022.20(1).27-33)
4. Кузьменкова В. Д. Влияние блокчейна на развитие экономики // Наука Красноярья. 2021. Т. 10. № 4. С. 129–142. <https://doi.org/10.12731/2070-7568-2021-10-4-129-142>
5. Манахова И. В., Колмыков К. А. Управление в сфере децентрализованных финансов на основе технологии блокчейн // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2024. Том. 40. №3. С. 416–432. <https://doi.org/10.21638/spbu05.2024.304>
6. Савельев А. И. Договорное право 2.0: «Умные» контракты как начало конца классического договорного права // Вестник гражданского права. 2016. Т. 16. № 3. С. 32–60.
7. Федотова В. В., Емельянов Б. Г., Типнер Л. М. Понятие «блокчейн» и возможности его использования // European Science. 2018. № 1(33). С. 40–48.
8. Шахназаров Б. А. Комплексная взаимосвязь блокчейн-технологии и объектов интеллектуальной собственности в трансграничных частноправовых отношениях // Право. Журнал Высшей школы экономики. 2019. № 55. С. 121–148. <https://doi.org/10.17323/2072-8166.2019.5.121.147>

9. Buterin V. A next-generation smart contract and decentralized application platform. – Durham, Ethereum White Paper, 2014. URL: https://blockchainlab.com/pdf/Ethereum_white_paper-a_next_generation_smart_contract_and_decentralized_application_platformvitalik-buterin.pdf, [Accessed: 03.09.2025].
10. Filippi P., Lavyssière X. 7 Blockchain Technology: Toward a Decentralized Governance of Digital Platforms. Goleta, The Great Awakening: New Modes of Life amidst Capitalist Ruins, 2020. 218 p. <https://doi.org/10.2307/jj.2353884.9>
11. Lin Q., Li C., Zhao X., Chen X. Measuring Decentralization in Bitcoin and Ethereum using Multiple Metrics and Granularities. Beijing, International Conference on Data Engineering Workshops, 2021. 82 p. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.10699>
12. Tapscott D., Tapscott A. Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World. London, Penguin, 2016. 384 p.
13. Tasca P., Tesson C. A taxonomy of Blockchain Technologies: Principles of Identification and Classification. Pittsburgh, Ledger Journal, 2019. 10 p. <https://doi.org/10.5195/ledger.2019.140>

REFERENCES

1. Dolzhenko RA, Dolzhenko SB. Review of the literature on blockchain in economic research. Creative Economy. 2022;16(12):4899-4918. <https://doi.org/10.18334/ce.16.12.116657> (In Russ.).
2. Gotskaya IB, Ateev KO. A Study of Voting Power Distribution and Diversity Metrics in Decentralized Autonomous Organizations. Economics, Law, Innovation. 2024;(3):60-67. <https://doi.org/10.17586/2713-1874-2024-3-60-67> (In Russ.).
3. Fedotova VV, Yemelyanov BG, Tipner LM. The Concept of Blockchain and the Possibility of Using It. European Science. 2018;1(33):40-48 (In Russ.).
4. Korinnoy AG. The shadow component in the use of cryptocurrencies. Bulletin of Omsk University. 2022;(1):27-33. <https://doi.org/10.24147/1812-3988>. (In Russ.).
5. Kuzmenkova V.D. The impact of blockchain on the Development of the Economy. Krasnoyarsk Science: Economic Journal. 2021;10(4):129-142. <https://doi.org/10.12731/2070-7568-2021-10-4-129-142> (In Russ.).
6. Monakhova IV, Kalmykov KA. Management in the field of decentralized finance based on blockchain technologies. St. Petersburg University Journal of Economic Studies. 2024;40(3):416-432. <https://doi.org/10.21638/spbu05.2024.304> (In Russ.).
7. Savelyev AI. Contract Law 2.0: «Smart» contracts as the beginning of the end of classical contract law. Bulletin of Civil Law. 2016;16(3):32-60 (In Russ.).
8. Shakhnazarov BA. Complex Interconnection of Blockchain Technology and Intellectual Property in Cross-Border Private Law Relations. Right. Journal of the Higher School of Economics. 2019;(5):121-147. <https://doi.org/10.17323/2072-8166.2019.5.121.147> (In Russ.).
9. Buterin V. (2014) A next-generation smart contract and decentralized application platform. – Durham, Ethereum White Paper. Available at: https://blockchainlab.com/pdf/Ethereum_white_paper-a_next_generation_smart_contract_and_decentralized_application_platformvitalik-buterin.pdf, [Accessed 03 September 2025].
10. Filippi P., Lavyssière X. 7 Blockchain Technology: Toward a Decentralized Governance of Digital Platforms. Goleta, The Great Awakening: New Modes of Life amidst Capitalist Ruins; 2022. 218 p. <https://doi.org/10.2307/jj.2353884.9>
11. Lin Q, Li C, Zhao X, Chen X. Measuring Decentralization in Bitcoin and Ethereum using Multiple Metrics and Granularities. Beijing, International Conference on Data Engineering Workshops; 2021. 82 p. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.10699>
12. Tapscott D, Tapscott A. Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World. London: Penguin; 2016. 384 p.
13. Tasca P, Tesson C. A taxonomy of Blockchain Technologies: Principles of Identification and Classification. Pittsburgh, Ledger Journal. 2019. 10 p. <https://doi.org/10.5195/ledger.2019.140>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Вероника Александровна Грудина – аспирант кафедры финансов и кредита института экономики и управления Северо-Кавказский федеральный университет, Researcher ID: IUP-8838-2023.

Наталья Николаевна Куницына – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой финансов и кредита института экономики и управления, Северо-Кавказский федеральный университет, Scopus ID: 56128000600, Researcher ID B-9626-2017

ВКЛАД АВТОРОВ

Вероника Александровна Грудина

Проведение исследования – сбор, интерпретация и анализ полученных данных.

Утверждение окончательного варианта – принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант.

Наталья Николаевна Куницына

Проведение исследования – интерпретация и анализ полученных данных. Подготовка и редактирование текста – составление черновика рукописи и формирование его окончательного варианта, участие в научном дизайне.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Veronika A. Grudinina – Postgraduate Student, Department Finance and Credit, North-Caucasus Federal University, Researcher ID: IUP-8838-2023.

Natalia N. Kunitsyna – Dr. Sci. (Econ.), Professor, Head of the Department Finance and Credit, North-Caucasus Federal University, Scopus ID: 56128000600, Researcher ID B-9626-2017.

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Veronika A. Grudinina

Conducting research – data collection, analysis and interpretation.

Approval of the final manuscript – acceptance of responsibility for all types of the work, integrity of all parts of the paper and its final version.

Natalia N. Kunitsyna

Conducting research – analysis and interpretation.

Text preparation and editing – drafting of the manuscript and its final version, contribution to the scientific layout.