
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИИ БЛОКЧЕЙНА: ДИНАМИКА КОЭФФИЦИЕНТА НАКАМОТО*

Грудинина В. А., Куницына Н. Н.**

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 блокчейн 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. Целью настоящего исследования стало предложение инструментария для оценки степени децентрализации блокчейна, позволяющего пользователям, инвесторам и разработчикам принимать решения, основанные на эмпирических данных. В статье авторы приводят результаты анализа факторов, оказывающих влияние на степень децентрализации блокчейн-сетей, для оценки динамики которой использован коэффициент Накамото. В итоге получена зависимость величины показателя от метрик, характерных для цифровых платформ. 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.

* Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 24-28-00283, <http://rscf.ru/project/24-28-00283/>).

Для цитирования: Грудинина В. А., Куницына Н. Н. Количественная оценка степени децентрализации блокчейна: динамика коэффициента Накамото // Век глобализации. 2026. № 1. С. 128–139. DOI: 10.30884/vglob/2026.01.12.

For citation: Grudinina V. A., Kunitsyna N. N. Quantitative Assessment of the Degree of Blockchain Decentralization: Dynamics of the Nakamoto Ratio // Vek globalizatsii = Age of Globalization. 2026. No. 1. Pp. 128–139. DOI: 10.30884/vglob/2026.01.12 (in Russian).

** Грудинина Вероника Александровна – аспирант кафедры финансов и кредита Института экономики и управления Северо-Кавказского федерального университета. E-mail: grudinina@inbox.ru.

Veronika A. Grudinina – postgraduate student of the “Finance and Credit” Department, North Caucasus Federal University. E-mail: grudinina@inbox.ru.

Куницына Наталья Николаевна – д. э. н., профессор, заведующая кафедрой финансов и кредита Института экономики и управления Северо-Кавказского федерального университета. E-mail: nkunitcy@ncfu.ru.

Natalia N. Kunitsyna – Dr. Econ., Professor, Head of the Department “Finance and Credit” of North Caucasus Federal University. E-mail: nkunitcy@ncfu.ru.

Век глобализации 1/2026 128–139

DOI: 10.30884/vglob/2026.01.12

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

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

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 increasingly resonating in modern research. Blockchain technology presents limitless opportunities to innovate on digital platforms. Due to its immutable and encrypted nature, it provides greater security and flexibility, allowing users to make transparent and secure transactions. The lack of obligations of blockchain networks to provide information in a common form often makes it difficult to correctly assess the impact of various factors on the degree of their decentralization. The aim of the study is to offer a toolkit for assessing the degree of decentralization of blockchain, allowing users, investors and developers to make decisions based on empirical data. In the article the authors provide the results of an analysis of factors influencing the degree of blockchain networks decentralization, used the Nakamoto coefficient to assess its dynamics. As a result, the dependence of the indicator value on the metrics characteristic of digital platforms was obtained. The applied value of the results is the possibility of developing control actions on their basis both at the state level and at the level of blockchain networks in order to prevent the creation of a centralized system.

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

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 блокчейн, 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 г., расчет коэффициента Накамото [Коэффициент... 2025] с дальнейшей количественной оценкой степени децентрализации блокчейнов.

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 ИТ-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 [Савельев 2016: 39]. При этом Б. А. Шахназаров [2019: 122] подчеркивает, что последовательность блоков необходима для достижения достоверного консенсуса в распределенной системе защищенным от злоупотреблений способом, а Р. А. Долженко и С. Б. Долженко считают блокчейн перспективной технологией, которая может привести к значительным изменениям в подходах к регулированию различных сторон общественной жизни [Долженко Р. А., Долженко С. Б. 2022: 4902].

М. П. Воронов и 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 [Воронов, Часовских 2017: 34].

Зарубежные авторы [Tapscott D., Tapscott A. 2016] называют блокчейн вечным цифровым распределенным 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 [Федотова и др. 2018: 41]. 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 [Коринной 2022: 28]. Со слов В. Д. Кузьменковой [2021: 135], потенциал применения технологии блокчейн 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, со-

стоящей 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 [Buterin 2014] 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 [Tasca, Tessone 2019]:

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 атак Sybil 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.

В своем 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 Эдин-

бургский индекс децентрализации (EDI) для определения, анализа и оценки децентрализации систем блокчейнов на нескольких уровнях. Показатель учитывает восемь 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 [Манахова, Колмыков 2024: 425].

Научным коллективом [Lin *et al.* 2021] 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 нестандартных ситуаций.

Согласно цели исследования, мы оценили влияние разных факторов на степень децентрализации блокчейна, ее 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 [Готская, Атеев 2024: 63], 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:

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

где N_s – коэффициент Накамото подсистемы S , минимальное количество субъектов, 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:

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

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).

Таблица 1

**Коэффициенты Накамото для блокчейнов Proof-of-Stake
по состоянию на февраль 2025 г.**

Блокчейн ¹	Направление	Коэффициент Накамото			Наименование и доля валидатора	Наименование и доля страны	Наименование и доля интернет-провайдера
		Валидаторы	Страны	Интернет-провайдеры			
Cheqd	Identity service	4	2	1	1. cCDAO 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
Cosm	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

¹ Выбраны активные блокчейн-сети платформы Observatory.

Продолжение Табл. 1

Блокчейн	Направление	Коэффициент Накамото			Наименование и доля валидатора	Наименование и доля страны	Наименование и доля интернет-провайдера
		Валидаторы	Страны	Интернет-провайдеры			
Migal	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. HIVELO-CITY, Inc.: 16,07 %, число валидаторов: 2. 2. UAB "Baltnetos komunikacijos": 15,62 %, число валидаторов: 1. 3. 01NODE FUNDING SRL: 8,28 %, число валидаторов: 1
Persist	Res-taking	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. Atlassian: 2 929 882 XPRT (2,25 %). 8. Ledger by Chorus One: 2 666 749 XPRT (2,04 %). 9. Crosnest: 2 438 110 XPRT (1,87 %). 10. Smart stake: 2 431 796 XPRT (1,86 %)	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
Starga	NFT	10	2	2	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 %).	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

Окончание Табл. 1

Блокчейн	Направление	Коэффициент Накамото			Наименование и доля валидатора	Наименование и доля страны	Наименование и доля интернет-провайдера
		Валидаторы	Страны	Интернет-провайдеры			
					9. OmniFlix Network: 22 237 827 STARS (2,14 %). 10. Lary Engineer: 20 664 919 STARS (1,98 %)		

Источник: составлено авторами на основании [Analyze...].

Таблица 2

Коэффициенты Накамото для блокчейнов Proof-of-Stake по состоянию на октябрь 2023 г.

Блокчейн	Аббревиатура	Коэффициент Накамото	Предложение токенов	Оборотное предложение	Процент эмиссии, %	Цена одного токена, долл.	Капитализация крипторынка, 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...; Nakamoto...].

Таблица 3

Коэффициенты Накамото для блокчейнов Proof-of-Stake по состоянию на февраль 2025 г.

Блокчейн ²	Аббревиатура	Коэффициент Накамото	Предложение токенов	Оборотное предложение токенов	Цена одного токена, долл.	Капитализация крипторынка, млн долл.	Объем 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

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.

Окончание Табл. 3

Блокчейн	Аббревиатура	Коэффициент Накамото	Предложение токенов	Оборотное предложение токенов	Цена одного токена, долл.	Капитализация крипторынка, млн долл.	Объем торгов криптовалютой за сутки, млн долл.	Индикатор ликвидности, %
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...; Nakamoto...].

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 февраль 2025 г.). 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%-ной 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.

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:

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

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 дове-

рия пользователей; принятия обоснованных инвестиционных решений практически значимую имеет прогноз изменения степени децентрализации блокчейн-сетей (Рис.).

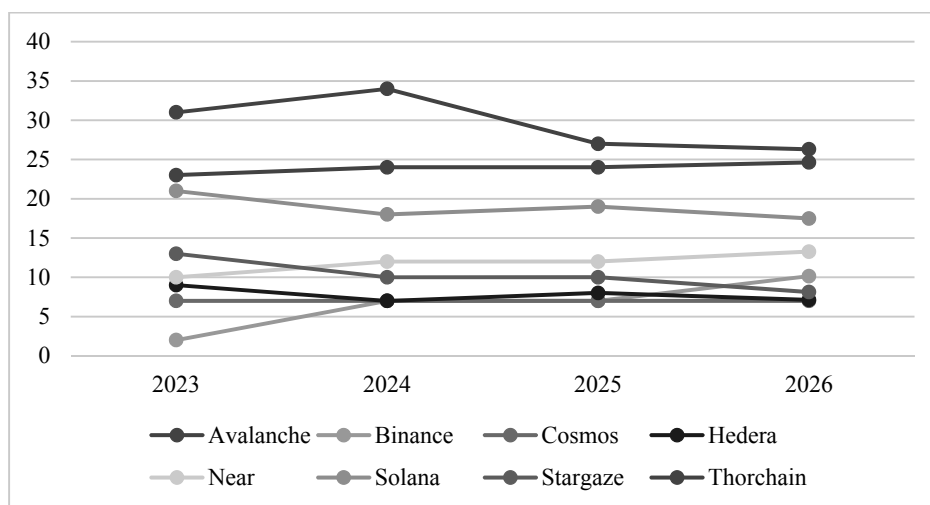


Рис. Прогнозные значения коэффициента Накамото

Источник: составлено авторами.

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 масштабируемость 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 [Filippi, Lavyssière 2020], предлагая объединить платформу, основанную на блокчейне, с существующими инструментами – институциональным дизайном, управлением, ориентированным на сообщества, и 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.

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 блокчейн.

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 дает пользователю чувство сопричастности, тем самым подогревая его интерес к активной деятельности в экономическом и общественном пространстве.

Литература

Воронов М. П., Часовских В. П. Blockchain – основные понятия и роль в цифровой экономике // *Фундаментальные исследования*. 2017. № 9. С. 30–35.

Готская И. Б., Атеев К. О. Исследование распределения контроля и метрик разнообразия в децентрализованных автономных организациях // *Экономика. Право. Инновации*. 2024. № 3. С. 60–67. DOI: 10.17586/2713-1874-2024-3-60-67.

Долженко Р. А., Долженко С. Б. Обзор литературы о блокчейне в исследованиях по экономике // Креативная экономика. 2022. Т. 16. № 12. С. 4899–4918. DOI: 10.18334/ce.16.12.116657.

Коринной А. Г. «Теневая» составляющая в использовании криптовалюты // Вестник Омского университета. 2022. № 1. С. 27–33. DOI: 10.24147/1812-3988.2022.20(1).27–33.

Коэффициент Накамото: ключевая метрика для измерения децентрализации блокчейна [Электронный ресурс] : Gate Learn. 2025. 1 апреля. URL: <https://www.gate.io/ru/learn/articles/nakamoto-coefficient-a-key-metric-for-measuring-blockchain-decentralization/7888> (дата обращения: 02.04.2025).

Кузьменкова В. Д. Влияние блокчейна на развитие экономики // Наука Красноярья. 2021. Т. 10. № 4. С. 129–142. DOI: 10.12731/2070-7568-2021-10-4-129-142.

Манахова И. В., Колмыков К. А. Управление в сфере децентрализованных финансов на основе технологии блокчейн // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2024. Т. 40. № 3. С. 416–432. DOI: 10.21638/spbu05.2024.304.

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.

Федотова В. В., Емельянов Б. Г., Типнер Л. М. Понятие блокчейн и возможности его использования // European Science. 2018. № 1(33). С. 40–48.

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. DOI: 10.17323/2072-8166.2019.5.121.147.

Analyze Blockchains [сайт]. URL: <https://observatory.zone/> (дата обращения: 29.03.2025).

Buterin V. A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform. Durham, Ethereum White Paper, 2014 [Электронный ресурс]. URL: https://blockchainlab.com/pdf/Ethereum_white_paper-a_next_generation_smart_contract_and_decentralized_application_platformvitalik-buterin.pdf (дата обращения: 03.02.2025).

Filippi P., Lavoysière X. 7 Blockchain Technology: Toward a Decentralized Governance of Digital Platforms // The Great Awakening: New Modes of Life amidst Capitalist Ruins / ed. by A. Grear, D. Bollier. New York : Punctum Books, 2020. DOI: 10.2307/jj.2353884.9.

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. DOI: 10.48550/arXiv.2101.10699.

Nakamoto Coefficients [сайт]. URL: <https://nakaflow.io/> (дата обращения: 24.03.2025).

Tapscott D., Tapscott A. Blockchain Revolution: How the Technology behind Bitcoin is Changing Money, Business, and the World. London : Penguin, 2016.

Tasca P., Tessone C. A Taxonomy of Blockchain Technologies: Principles of Identification and Classification. Pittsburgh : Ledger Journal, 2019. DOI: 10.5195/ledger.2019.140.

Today's Cryptocurrency Prices by Market Cap [сайт]. URL: <https://coinmarketcap.com/> (дата обращения: 24.03.2025).