



*administrative  
sciences*

Park, H.; Ureta, I.; Kim, B. Developing Dimensions and Indicators to Measure Decentralization in Decentralized Autonomous Organizations. Adm. Sci. 2023, 13, 241.

Источник: <https://doi.org/10.3390/admsci13110241>

Статья опубликована: 8 ноября 2023 г.

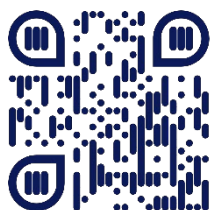
Относится к специальному выпуску «Управление инновациями в организациях в цифровую эпоху»

**Тема статьи:**

# Разработка измерений и индикаторов для измерения децентрализации в децентрализованных автономных организациях



РЕНЕССАНС



Сигнальный перевод подготовлен экспертом рабочей группы:  
Куприяновский В.П. [v.kupriyanovsky@rut.digital](mailto:v.kupriyanovsky@rut.digital) 2023 г.



Рабочая группа по сквозным цифровым технологиям  
Совета по финансово-промышленной и инвестиционной политике  
Торгово-промышленной палаты Российской Федерации

При поддержке:

  
**FMENGINEERING**

**NEW REALITY**

 immersive technologies

## Абстракт

Децентрализация играет важную роль в контексте децентрализованных автономных организаций (DAO), поскольку ее природа является не фиксированной величиной, а сравнительным спектром. Предыдущее исследование, посвященное измерению децентрализации в системе государственного управления, заложило основу для нашего настоящего исследования. Это исследование направлено на интеграцию этих знаний для определения измерений и показателей, специально разработанных для оценки уровней децентрализации в DAO. Затем в статье рассматривается пригодность традиционных подходов к измерению децентрализации в уникальном контексте DAO, используя конфирматорный факторный анализ (CFA) в качестве аналитического инструмента, основанного в общей сложности на 44 DAO. Таким образом, результаты показывают, что DAO имеют три измерения для измерения децентрализации: «политическая децентрализация как совместное участие», «экономическая децентрализация как распределение ресурсов» и «административная децентрализация как самоуправляемое выполнение решений». Обосновывая применимость установленных систем измерения децентрализации в уникальном контексте DAO, полученные результаты не только улучшают понимание этой новой парадигмы управления, но и предоставляют практикам, политикам и исследователям DAO бесценную информацию.

Ключевые слова:

*децентрализация; децентрализованная автономная организация; конфирматорный факторный анализ; инновационная организация; Децентрализованные технологии*

## 1. Введение

До появления децентрализованных автономных организаций (DAO) на основе блокчейна в 2016 году концепция децентрализации широко изучалась и активно обсуждалась. Прежде всего, децентрализация нашла свое применение в управлении национальными государствами и политологии, административных структурах, фискальных сферах (Blackorby and Brett 2000; Ахмад 2006; Bahl 1999; Blöchliger and King 2006) и другие. Примечательно, что исследование децентрализации в рамках правительственных систем привлекло внимание ученых, что привело к исследованиям ее определения, измерения, а также идентификации и подтверждения ключевых факторов, влияющих на децентрализацию (Rondinelli et al. 1983; Усадьба, 1999; Bird and Vaillancourt, 1998; Schneider 2003).

С другой стороны, исследования по децентрализации в сфере DAO все еще находятся в зачаточном состоянии. Предыдущие исследования, касающиеся DAO, в основном были сосредоточены на исторических перспективах (Dhillon et al. 2017; Monrat et al., 2019; Mehar et al., 2019; Сингх и Ким 2019; El Faqir et al. 2020), потенциальные преимущества и проблемы DAO, а также их юридические и технические ограничения (Hutchcroft 2001), отдельные тематические исследования, социальные последствия и их интеграция в существующие государственные, социальные и корпоративные структуры, часто отодвигая на второй план основной аспект децентрализации (Beck et al. 2018; Diallo et al., 2018; Сантос и Костакис 2018; Morrison et al., 2020; Сингх и Ким 2019; Фар и Бамакан 2022). Параллельно с этим некоторые исследования углублялись в базовую технологию, которая расширяет возможности DAO, или проводили анализ объемных данных, связанных с DAO, для выявления преобладающих тенденций (Kaal 2020; Chughtia et al., 2022; Saurabh et al., 2023).

Пионеры, такие как Виталик Бутерин, выдающаяся фигура в пространстве DAO, предложили многомерные перспективы децентрализации. В более поздних работах (Лондон, 1975) Бутерин разграничил децентрализацию по архитектурному, политическому и логическому измерениям: (1) архитектурное измерение, т.е. количество компьютеров, из которых состоит система; (2) Политический аспект, т.е. сколько контролирует эти компьютеры; (3) Логическое измерение, например, то, как интерфейс и структуры данных складываются. В недавних работах, примером которых является работа Хенрика, были предложены определения «достаточной децентрализации» и предоставлены всеобъемлющие рамки для оценки децентрализации (Axelsen et al. 2023). Концепция Хенрика выделяет пять измерений для оценки децентрализации, обозначаемых как взвешенное по токенам голосование, инфраструктура, управление, эскалация и репутация (TIGER). С другой стороны, некоторые исследования определяют суть децентрализации блокчейна как «не требующую разрешения» и проводят исследования децентрализации через призму одноранговых доверительных отношений. Этот подход уделяет особое внимание изучению алгоритмов консенсуса, используемых различными блокчейнами, включая Proof-of-Work (POW) и Proof-of-Stake (POS). Более того, он расширяет свой анализ, чтобы охватить блокчейны на основе кворума, такие как Ripple и Stellar (Wang et al. 2022).

Результаты предыдущих исследований подчеркивают существование децентрализации в DAO, развеивая представление о том, что это просто миф. Тем не менее, важнейший аспект остается неисследованным: всесторонняя оценка фактической степени децентрализации в рамках DAO. Следовательно, до сих пор не выработан консенсус относительно точного определения децентрализации, факторов, влияющих на нее или формирующих ее, а также методологий ее измерения. Например, несмотря на важность этих концептуализаций и производных измерений для понимания децентрализации в рамках DAO, остается заметный пробел в количественном и эмпирическом измерении степеней децентрализации в DAO.

Чтобы устранить эту двусмысленность и заполнить существующий пробел, в данном исследовании представлена система факторов, определяющих концепцию децентрализации. Более того, он эмпирически демонстрирует влияние этих факторов на децентрализацию с использованием количественных переменных. В этом стремлении наше исследование стремится применить знания, полученные при изучении децентрализации в рамках традиционных правительственных структур, в области DAO. Основные цели заключаются в том, чтобы подтвердить применимость признанных исследований в области децентрализации в новом контексте DAO и инициировать первые усилия, по количественной оценке, децентрализации DAO.

Основные исследовательские вопросы, которыми мы руководствуемся в нашем исследовании, следующие:

1. Каково точное определение децентрализации в контексте DAO и какие факторы влияют на нее или формируют ее?
2. Как можно количественно измерить децентрализацию в DAO и какие методологии лучше всего подходят для этой цели?
3. В какой степени исследования децентрализации в рамках традиционных государственных структур могут быть применены к новому контексту DAO?
4. Какие усилия необходимы для количественной оценки децентрализации DAO и проверки применимости существующих теорий децентрализации в этом контексте?



## 2. Измерения и показатели децентрализации

Многие устоявшиеся методологии оценки децентрализации охватывают три основных измерения: политическую децентрализацию, административную децентрализацию и экономическую или финансовую децентрализацию (Schneider 2003; Морозов 2016). Многие связанные с этим исследования углубляются в эти три измерения в качестве важных аналитических критериев, включая исследования эффективности и полезности национальной политики (Nunes Silva 2017), сущности и масштабов децентрализации внутри стран (Haydanka 2020), оценки воздействия и эффективности политики и практики децентрализации (Panda and Thaur 2016), а также понимание влияния и эффективности децентрализации в конкретных системах, таких как здравоохранение (Goldberg and Schär 2023). По мнению Фокса и Аранды, децентрализованные политические системы характеризуются тем, что на местном уровне преобладают политические акторы и проблемы, которые, по крайней мере, частично независимы от таковых на национальном уровне (Fox and Aranda, 1996). В этих рамках многочисленные исследования сосредоточены на процессах мобилизации, организации, артикуляции, участия, оспаривания и агрегирования интересов (Treisman 1999, 2007; Гальего 2010; Fan et al., 2009).

Административная децентрализация, с другой стороны, исследует степень, в которой подчиненные организации пользуются автономией от центрального органа, и степень, в которой эта автономия зависит от возможностей подчиненной организации. Кауфманн, Краай и Матруцци определяют такие возможности с помощью таких показателей, как «эффективность правительства», «верховенство закона» и «контроль над коррупцией». Эти показатели охватывают такие аспекты, как качество предоставления государственных услуг, эффективность бюрократии, способность государственной службы противостоять политическому давлению и приверженность правительства политике (Kaufmann et al. 2000, 2003; Kaufmann and Kraay 2008). Для описания этого спектра часто используются такие термины, как деконцентрация, делегирование и деволюция (Rondinelli et al. 1983; Rondinelli 1990).

Теории экономической и фискальной децентрализации были сосредоточены на максимизации социального благосостояния, которое изображалось как сочетание экономической стабильности, эффективности распределения и распределительного равенства (Musgrave and Peacock 1958; Oates 1993, 1997). В последнее время в центре внимания экономической или фискальной децентрализации находятся расходы и доходы. В этом контексте более высокая процентная доля расходов и доходов, приходящаяся на подструктуру, указывает на более высокую степень децентрализации внутри организации (Schneider 2003).

Основываясь на признанных исследованиях децентрализации, это исследование делит измерения для оценки децентрализации DAO поровну на политическую, экономическую и административную децентрализацию. Для измерения этих параметров используются шесть ключевых показателей: «участие в голосовании, участие в предложении», «распределение токенов, индекс силы голоса», «процент выбора условий кворума» и «процент прохождения предложения при условии кворума».

Изучение децентрализации неизменно вращается вокруг динамики распределения власти и ресурсов между центральными и децентрализованными субъектами (Schneider

2003; Park et al., 2023). В контексте DAO центральная организация определяется как операционная организация, ответственная за создание DAO, выпуск токенов и первоначальное установление политики, потому что она обладает всей властью и получает ресурсы первой. В отличие от них, подчиненные организации относятся к отдельным учетным записям (пользователям), которые автономно участвуют в DAO. В рамках данного исследования политическая децентрализация DAO неразрывно связана с «участием», которое оценивает степень, в которой учетные записи участвуют в доступных предложениях и голосованиях. Мы постулируем, что политическую децентрализацию можно измерить по двум ключевым показателям:

1. **Участие в голосовании:** Этот показатель количественно оценивает количество учетных записей, активно участвующих в голосовании, по отношению к общему количеству потенциальных учетных записей с правом голоса, имеющих право участвовать в процессе голосования. Участие в голосовании служит индикатором уровня вовлеченности в деятельность по голосованию в рамках DAO и выводится как из информации об избирателях, так и о держателях. В частности, данные о голосовании берутся из Snapshot и включают в себя подсчет учетных записей, которые проголосовали, при этом каждая уникальная учетная запись учитывается только один раз, даже если было зарегистрировано несколько голосов. Информация о держателе согласуется с данными о распределении токенов, используя совокупное количество учетных записей, на которых в какой-то момент находились токены. По сути, этот показатель направлен на оценку степени активного участия учетных записей в голосовании по сравнению с общим количеством потенциально имеющих право голоса аккаунтов.

2. **Участие в предложениях:** Этот показатель измеряет количество учетных записей, активно участвующих в предложении изменений, по сравнению с общим числом потенциальных клиентов, способных подавать предложения. Участие в предложении рассчитывается аналогично тому, как мы рассчитываем участие в голосовании. Но вместо того, чтобы подсчитывать количество избирателей, мы смотрим, сколько разных аккаунтов внесли предложения. Этот показатель количественно оценивает процент лиц, активно подавших предложения, по отношению к общему числу лиц, способных это сделать.

Оценка экономической децентрализации в рамках децентрализованной автономной организации ориентирована на оценку степени децентрализации в финансовых операциях DAO. В этом исследовании наше исследование специально сосредоточено на DAO, которые включают токены проекта в свою структуру. Следовательно, метрики, которые мы стремимся оценить, по своей сути привязаны к этим токенам. Токены проекта играют ключевую роль в предоставлении людям определенных прав и возможностей в рамках DAO, особенно в таких действиях, как голосование и инициирование предложений. Эта оценка включает в себя два основных показателя:

1. **Распределение токенов:** Эта метрика дает представление о степени дисперсии токенов в DAO. Более равномерное распределение токенов предполагает более высокий уровень экономической децентрализации, где собственность не сосредоточена в руках немногих. Чтобы выяснить это, мы используем общее предложение токенов и количество учетных записей, которые владели токенами в какой-то момент. Мы выясняем количество аккаунтов, которые когда-либо владели токеном проекта, анализируя все случаи передачи токенов в контракте токена проекта. Используя общее предложение, указанное в смарт-контракте, и количество

различных учетных записей, которые владели токеном проекта, мы определяем распределение токенов.

2. Индекс голосующей силы: Право голоса относится к степени влияния или контроля, которым обладает отдельная учетная запись или организация в системе голосования в DAO. Этот показатель количественно определяет уровень права голоса, необходимый для принятия предложения, и определяет количество участников, необходимых для того, чтобы внести свой голос для успешного результата голосования. Он служит показателем экономической децентрализации, при этом более высокий индекс голосующей силы подразумевает более инклюзивный и децентрализованный процесс принятия решений. Право голоса иногда ассоциируется с системами голосования, взвешенными по токенам, что позволяет участникам выделять большее количество токенов на предложения, которые они считают важными. Можно сделать вывод, что по мере того, как предложения требуют более высокого уровня права голоса для утверждения, и по мере того, как все больше участников заинтересованы в том, чтобы вносить свои токены, уровень экономической децентрализации DAO имеет тенденцию к увеличению.

В отличие от этого, административная децентрализация в DAO оценивается путем изучения степени, в которой отдельные учетные записи в DAO получают реальные преимущества и обладают автономией. Важным элементом в этой оценке является использование требований кворума, критически важного административного механизма в DAO. Snapshot, платформа, часто используемая DAO, позволяет инициаторам установить минимальный кворум для прохождения предложения (Ooi et al. 2021). Эта административная функция гарантирует, что процесс принятия решений по предложению работает автономно, без искусственного вмешательства и разрешения (Bracciali et al. 2021). Следовательно, это условие кворума служит решающим ориентиром для оценки способности DAO к автономному, децентрализованному и не требующему разрешения принятию решений без центрального вмешательства. Для эффективного измерения административной децентрализации учитываются два ключевых показателя:

1. Процент выбора условий кворума: Этот показатель количественно оценивает степень, в которой критерии кворума используются для облегчения автономного голосования без внешнего вмешательства. Более высокий процент означает большую зависимость от заранее определенных условий кворума для децентрализованного принятия решений.

2. Проходимость предложения при условии кворума: Этот показатель показывает степень, в которой предложения, подпадающие под такие требования кворума, автономно приводят к успешному голосованию. Он демонстрирует

3. Эффективность этих условий для обеспечения автономных и децентрализованных результатов принятия решений.

В совокупности эти показатели обеспечивают надежную основу для оценки административной децентрализации DAO с особым акцентом на автономию и самодостаточность их процессов принятия решений. Исходя из этого, наши исследовательские гипотезы заключаются в следующем:

Гипотеза 1.

Более активное участие в голосовании и участие в предложениях в рамках DAO положительно коррелирует с более высоким уровнем политической децентрализации.

#### Гипотеза 2.

Более справедливое распределение токенов между участниками DAO связано с усилением экономической децентрализации.

#### Гипотеза 3.

Увеличение индекса голосующей силы соответствует усилению экономической децентрализации внутри DAO.

#### Гипотеза 4.

Более высокий процент автономно определяемых условий кворума в DAO отражает большую административную децентрализацию.

#### Гипотеза 5.

Более высокий процент прохождения заявок с условиями кворума означает улучшенную административную децентрализацию в DAO.

В дополнение к шести основным показателям мы действительно хотели включить более широкий спектр переменных, таких как распределение средств, концентрация владения токенами, разнообразие участия, коэффициент делегирования, индекс инклюзивности, автономия принятия решений, распределение ролей, структура управления и автономное исполнение. Однако из-за практических ограничений, таких как ограничения в получении исчерпывающих ончейн-данных, масштаб и разнообразие данных, а также ограниченность ресурсов, мы, к сожалению, не смогли включить эти дополнительные показатели в это исследование (см. таблицу 1). Поэтому крайне важно, чтобы будущие исследования включали в себя более обширный набор показателей, в том числе упомянутых.

Таблица 1. Параметры и показатели децентрализации.

Political Dimension	Economic Dimension	Administrative Dimension
Voting Participation	Token Distribution	Percentage of Quorum Condition Selection
Proposal Participation	Voting Power Index	Pass Rate of Proposal with Quorum Condition

### 3. Дизайн и метод исследования

#### 3.1. Сбор данных

Чтобы отобрать кейсы DAO и собрать данные из них для этого исследования, мы изначально извлекли DAO, занимающие 100-е место в рейтинге Snapshot Ranking (2023). Впоследствии мы рассматривали исключительно DAO, которые работают в экосистеме «Ethereum» и владеют своими отдельными токенами проекта. Следовательно, в общей сложности 44 DAO соответствовали этим строгим критериям и были включены в это исследование. Важно отметить, что каждый блокчейн работает со своим уникальным алгоритмом консенсуса, что приводит к различиям в уровнях децентрализации. Чтобы свести к минимуму сложности, связанные с этими различиями, и сосредоточиться на наших

основных гипотезах и переменных, мы решили работать исключительно с блокчейном Ethereum. Это решение было принято для того, чтобы упорядочить наши исследования и поддерживать последовательную и контролируемую среду для нашего анализа.

Мы решили сосредоточиться на топ-100 DAO в нашем анализе не случайно, исходя из гипотезы о том, что уровень активации DAO резко снижается по мере снижения их рейтинга. Мы посчитали более целесообразным оценивать децентрализацию в контексте действующих DAO. Чтобы подчеркнуть этот момент, рассмотрим исследование 2022 года, которое ознаменовало собой первое эмпирическое исследование DAO с использованием данных Snapshot. Это исследование охватило 581 DAO и тщательно изучило 16 246 предложений (Wang et al. 2022). В нашем исследовании совокупное количество предложений в топ-100 DAO составило 15 907 с момента создания Snapshot в августе 2020 года до августа 2023 года (время написания этой статьи). Примечательно, что эта цифра существенно не отличается от количества предложений, рассмотренных в предыдущем исследовании, охватывающем все 581 DAO, даже с учетом годовичного перерыва. Следовательно, при оценке уровня активности среди DAO, используя количество предложений в качестве метрики, наш анализ был сосредоточен на топ-100 DAO. В нашем анализе мы сузили фокус до финальных 44 DAO и примечательно, что общее количество рассмотренных нами предложений составило 8640.

Важно признать, что степень децентрализации в основной сети блокчейна зависит от алгоритма консенсуса и политики, управляющей этой основной сетью. Эти политики, в свою очередь, зависят от выбора основной сети, принятого конкретной DAO. Поэтому в контексте данного исследования мы рассматривали исключительно DAO, которые работают в одной и той же основной сети. Ethereum был выбран в качестве основного фокуса из-за его широкого распространения, в котором размещено наибольшее количество и разнообразие DAO. Кроме того, DAO требуют, чтобы их независимые токены проекта функционировали автономно в основной сети. Таким образом, наш анализ был сосредоточен на DAO в экосистеме Ethereum, которые обладали собственными токенами проекта (см. таблицу 2).

Таблица 2. Список выбранных DAO.

No	Name	No	Name	No	Name	No	Name
1	Aave	12	Lido	23	JuiceboxDAO	34	Alchemix
2	Uniswap	13	Starknet	24	Frax	35	Yearn (old)
3	Gitcoin	14	OlympusDAO	25	Decentral Games	36	PoolTogether
4	Galxe	15	BanklessDAO	26	The Graph	37	MoonDAO
5	ENS	16	Gearbox	27	Doodles	38	SharkDAO
6	Decentraland	17	Curve Finance	28	Yam	39	mStable
7	BitDAO	18	Hop	29	SafeDAO	40	PieDAO
8	ApeCoin DAO	19	dYdX	30	Synapse Protocol	41	Euler
9	Balancer	20	AirSwap	31	Developer DAO	42	Ribbon
10	Sushi	21	Bancor	32	Fei	43	LinksDAO
11	Proof of Humanity	22	ShapeShift	33	Aura Finance	44	Krause House



Snapshot служит бесценным инструментом с открытым исходным кодом, особенно для децентрализованных организаций, повышая качество их процессов голосования и предложений и охватывая 95% проектов DAO для сбора и анализа данных (Wang et al. 2022). Важно отметить, что голосования проводятся вне блокчейна, в то время как их проверка происходит в блокчейне. Snapshot поддерживает ряд механизмов голосования, включая квадратичные и одобрительные системы голосования. Учитывая широкое распространение Snapshot крупными DAO, наше исследование также включало данные, полученные из ранжирования Snapshot. Для базовой информации о DAO, представленной в этом документе, мы собрали данные, относящиеся к пространству, предложениям и действиям по голосованию с платформы Snapshot. Каждое пространство DAO впоследствии было связано с сущностью внутри Deep DAO, и мы дополнили эти данные, используя информацию о токене проекта DAO и контрактах токена управления (см. рис. 1).

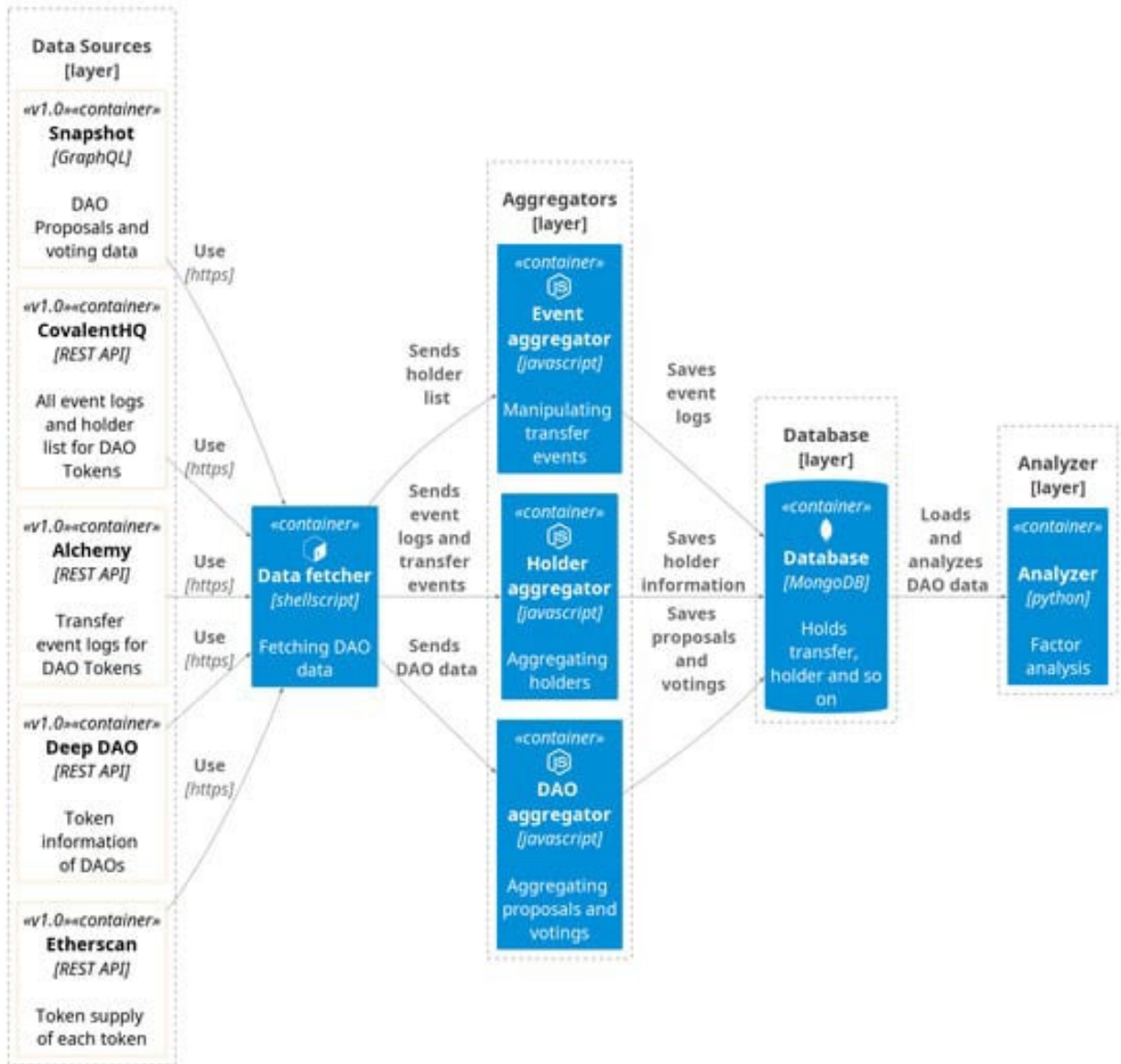


Рисунок 1. Процесс сбора и анализа данных.

### 3.2. Конфирматорный факторный анализ

Конфирматорный факторный анализ (CFA) был использован для оценки гипотезы о том, что три основных измерения децентрализации могут быть измерены с помощью набора наблюдаемых показателей. Эти шесть показателей охватывали участие в голосовании, участие в предложении, распределение токенов, индекс силы голоса, процент выбора условий кворума и процент прохождения предложения с условием кворума. Гипотеза утверждала, что первые два показателя в первую очередь измеряют политическую

децентрализацию, следующие два оценивают экономическую децентрализацию, а последние два — административную децентрализацию.

CFA служит ценным статистическим методом, основной целью которого является оценка пригодности заранее созданной факторной модели для объяснения наблюдаемого набора данных. Общие области применения CFA включают: (1) установление валидности факторной модели; (2) Оценка значимости удельных факторных нагрузок; (3) Изучение взаимосвязей между многофакторными нагрузками; (4) Оценка того, проявляет ли набор факторов корреляцию или остается некоррелированным (Bollen 1990). Преимущество CFA заключается в его способности оценивать соответствие модели и данных, особенно в тех случаях, когда могут существовать значительные корреляции между переменными.

Учитывая сложную и взаимосвязанную природу измерений децентрализации, CFA представляет собой подходящую и валидную методологию для нашего исследования. Следовательно, CFA является одним из наиболее надежных методологических инструментов для разработки индекса децентрализации DAO в нашем исследовании.

#### **4. Результаты**

Кумулятивная дисперсия — это мера, которая помогает оценить, какая часть общей дисперсии наблюдаемых переменных приходится на факторы, включенные в модель. В CFA исследователи стремятся охватить как можно больше дисперсии с наименьшим количеством факторов. Кумулятивная дисперсия обычно указывается в процентах. Более высокие проценты указывают на то, что большая доля дисперсии наблюдаемых переменных объясняется включенными факторами. Большинство исследователей часто устанавливают порог кумулятивной дисперсии (например, захват 70% или 80% дисперсии), чтобы определить, сколько факторов следует сохранить в модели. Более высокие значения кумулятивной дисперсии свидетельствуют о том, что выбранные факторы эффективны для объяснения наблюдаемых данных.

Собственные значения — это числовые значения, полученные в процессе факторного анализа. Они представляют собой величину дисперсии, объясняемую каждым фактором. В CFA собственные значения особенно полезны для определения количества факторов, которые необходимо сохранить в модели. Исследователи обычно рассматривают собственные значения больше 1 как показатель факторов, которые объясняют большую дисперсию, чем отдельные наблюдаемые переменные.

В данном исследовании главный факторный анализ набора данных подтвердил, что три измерения обеспечивают наиболее подходящую организационную структуру для данных. Определение трех факторов было достигнуто с помощью кумулятивного дисперсионного анализа, который показал, что значения кумулятивной дисперсии продолжали расти по мере введения дополнительного фактора. Однако стоит отметить, что при рассмотрении собственных значений добавление четвертого множителя привело к значительному падению, упав ниже порога 1, со значением примерно 0,48.

Еще одним ценным тестом для определения факторов, лежащих в основе нашего анализа, является изучение графика осыпей собственных значений. Диаграмма осыпи — это графическое представление, используемое в факторном анализе и анализе главных компонент для определения количества факторов или компонент, которые должны быть

сохранены в наборе данных. Это линейный график, на котором отображаются собственные значения (с объяснением дисперсии) для каждого множителя или компонента в порядке убывания. Исследователи часто используют график осыпи, чтобы решить, сколько факторов или компонентов следует сохранить. Они ищут точку на графике, где собственные значения начинают выравниваться, указывая на то, что дополнительные множители или компоненты не объясняют гораздо большую дисперсию. Этот тест также согласуется с выводами, сделанными из таблицы 3 и рисунка 2, обеспечивая дополнительную поддержку нашим выводам.

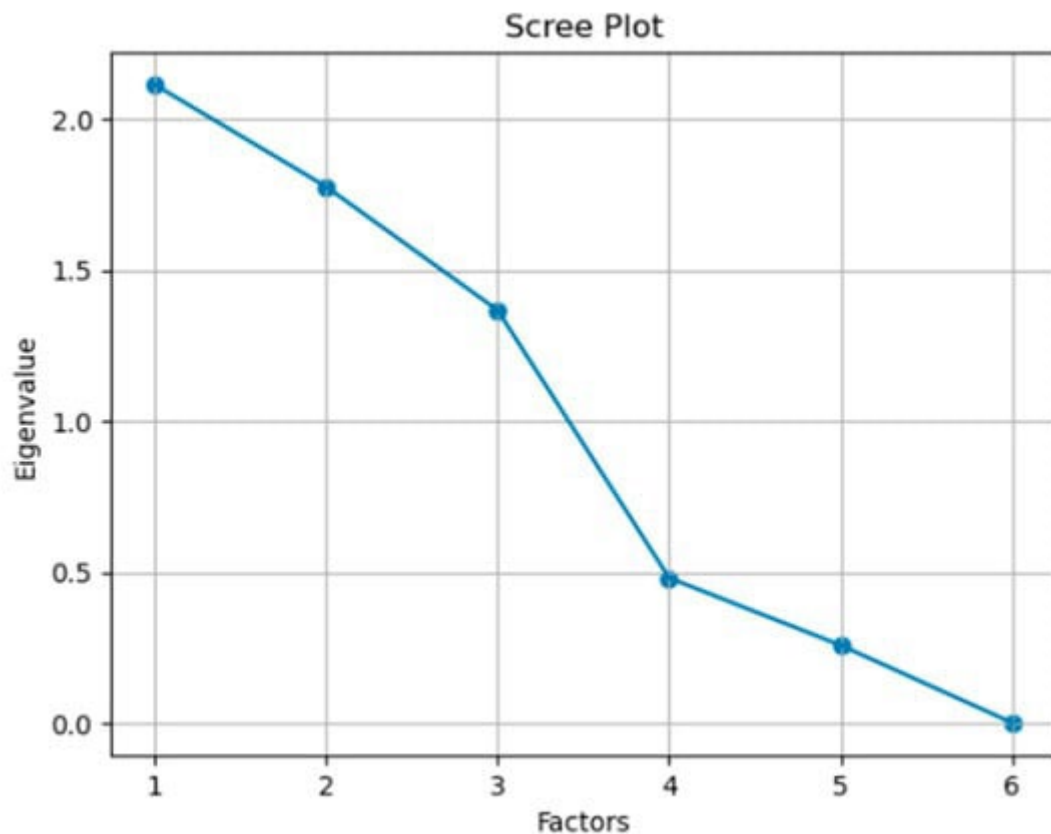


Рисунок 2. Осыпной участок.

Таблица 3. Собственные значения и кумулятивная дисперсия.

Factor	Initial Eigenvalue	Cumulative Variance
1	2.1155	0.3324
2	1.7773	0.5971
3	1.3679	0.7736
4	0.4809	0.7869
5	0.2576	0.7997
6	0.0008	1.0000

В дальнейшем изучение межпеременных корреляций было использовано для оценки взаимосвязей между переменными и лежащими в их основе измерениями. Результаты этого анализа представлены в таблице 4, где приведены факторные коэффициенты и нагрузки по каждому показателю внутри каждого фактора. Как и ожидалось, переменные «участие в предложении» и «участие в голосовании» продемонстрировали особенно высокую корреляцию друг с другом, что близко соответствует измерению, обозначенному как

«политическая децентрализация». Коэффициент коэффициента для «участия в предложении» был рассчитан на уровне 0,996, а коэффициент для «участия в голосовании» составил 0,996.

Таблица 4. Факторные коэффициенты, результаты измерений и показателей децентрализации.

	Political Decentralization	Economic Decentralization	Administrative Decentralization
Proposal Participation	<b>0.9965</b>	-0.0166	-0.0601
Voting Participation	<b>0.9969</b>	-0.0164	-0.0552
Token Distribution	-0.0217	<b>0.8636</b>	-0.0322
Voting Power Index	-0.0108	<b>0.8945</b>	0.1334
Percentage of Quorum Selections	-0.0245	-0.0704	<b>0.6986</b>
Quorum Proposal Pass Rate	-0.0794	0.1917	<b>0.7385</b>

Bold type indicates the factor on which the indicator loads most heavily.

Кроме того, как и ожидалось, «распределение токенов» и «индекс голосующей способности» показали самую сильную корреляцию друг с другом, тесно связанную с измерением, обозначенным как «экономическая децентрализация». В частности, факторный коэффициент для «распределения токенов» составил 0,863, в то время как «индекс голосующей способности» дал коэффициент 0,894.

Наконец, переменные «процент выбора условий кворума» и «процент проходных заявок с условиями кворума» продемонстрировали заметную связь друг с другом, а также соответствие третьему определенному измерению, обозначенному как «административная децентрализация». Коэффициент фактора для «процента отбора условий кворума» был определен равным 0,698, в то время как коэффициент для «коэффициента прохождения предложения кворума» составил 0,738.

Факторный анализ также способствует исследованию взаимосвязей между выявленными измерениями. Учитывая неотъемлемую природу децентрализации, при которой одна форма децентрализации может оказывать влияние на другие, ожидалось, что корреляция между измерениями будет проявляться. Однако результаты факторного анализа показали, что корреляции между этими измерениями были относительно скромными и не достигали статистической значимости.

Для наглядного представления характера и величины этих взаимосвязей между измерениями и переменными на рисунке 3 представлена графическая модель. Здесь три скрытых измерения изображены в виде овальных элементов справа, в то время как шесть наблюдаемых переменных расположены слева. Интенсивность взаимосвязи между каждой переменной и измерением обозначается коэффициентом фактора, обозначаемым как «b». Первый индекс указывает на наблюдаемую переменную, а второй — на фактор. Например, «b11» обозначает взаимосвязь между первой переменной (участие в предложении) и первым измерением (политическая децентрализация). В общей сложности восемнадцать



коэффициентов используются для количественной оценки силы взаимосвязи между каждой из шести наблюдаемых переменных и каждым из трех абстрактных измерений. Таким образом, эта диаграмма служит комплексной моделью измерения концепции децентрализации, в которой оцениваются три абстрактных измерения с использованием шести наблюдаемых переменных.

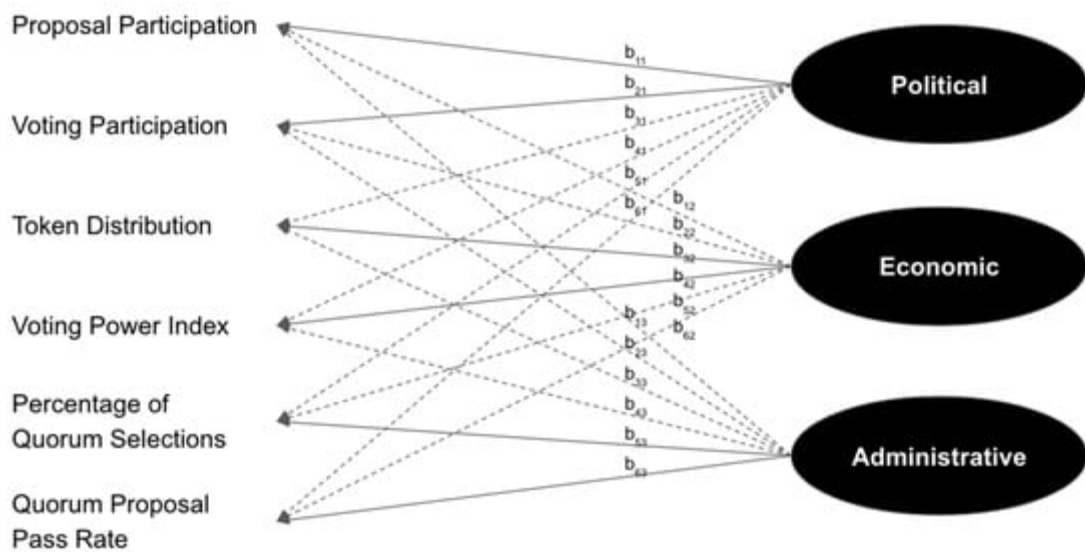


Рисунок 3. Диаграмма для измерительной модели децентрализации DAO.

Заключительным этапом нашего методологического подхода является оценка качества нашей модели с помощью конфирматорного факторного анализа. Модели CFA включают в себя различные теории и точки зрения относительно количества и комбинации отчетных индексов и статистики. На некоторые из этих статистических показателей могут влиять такие факторы, как размер выборки или соотношение показателей и факторов, что потенциально ограничивает их способность полностью отражать соответствие модели (Koufteros 1999).

Например, теоретически ожидается, что статистика хи-квадрат даст незначимые результаты ( $p > 0,05$ ) для хорошо подходящей модели. Однако эмпирические исследования показали, что статистика хи-квадрат очень чувствительна к размеру выборки. При работе с большими объемами выборок, обычно требуемыми для CFA и моделей структурных уравнений (SEM), статистика хи-квадрат и связанное с ней  $p$ -значение, как правило, значимы ( $p < 0,05$ ). Следовательно, исследователи рекомендовали использовать меру хи-квадрат/df, которая должна находиться в диапазоне от 1 до 3 для приемлемого соответствия. Аналогичным образом, индекс соответствия (GFI), показатель абсолютной пригодности, в значительной степени зависит от размера выборки.

Различные индексы соответствия могут работать лучше в определенных сценариях, что требует использования нескольких индексов соответствия для обеспечения комплексной оценки соответствия. Этот подход направлен на решение проблем, связанных с размером выборки и сложностью модели (Schermelleh-Engel et al. 2003; Vandenberg 2006; Gatignon 2003). Учитывая разнообразие рекомендаций по выбору соответствующих индексов, исследователи предложили набор ключевых индексов, которые должны быть отражены в результатах исследований (Hu and Bentler 1999; Schreiber et al., 2006; Клайн 2023). В таблице 5 представлен основной набор индексов соответствия для оценки соответствия модели, а также их описания и критерии отсечения (Kline and Santor 1999; Сурешчандар 2023).

Таблица 5. Критерии отсека для выбора индексов для определения соответствия модели в CFA.

Purpose	Measure	Description	Acceptable Values
Absolute fit	Chi-Square/df	The Chi-Square test examines whether the covariance matrix of the sample matches that of the population.	1 to 3
	Standardized root mean square residual (SRMR)	The standardized square root of the difference between the sample covariance matrix and the implied covariance matrix according to the proposed model.	<0.08: Excellent 0.08 to 0.10: Good
	Root means square error of approximation (RMSEA)	It quantifies the error associated with using the proposed model to predict the sample data. Additionally, it considers the impact of model complexity in relation to SRMR.	<0.06: Excellent 0.06 to 0.08: Good
Incremental fit	Comparative fit index (CFI)	It assesses the superiority of the proposed model (default model) compared to a baseline null model, determining whether the proposed model offers a better fit.	>0.95: Excellent 0.9 to 0.95: Good

Для оценки соответствия модели, разработанной в данном исследовании, мы провели анализ с использованием R. В этом исследовании мы тщательно изучили три основных индекса соответствия: CFI, который оценивает ошибку модели с минимальной восприимчивостью к влиянию  $\chi^2$  и объем выборки; RMSEA, которая учитывает как модельную экономию, так и объяснительную силу; и SRMR (Hong 2000). Индексы аппроксимации для модели следующие: SRMR = 0,036, RMSEA = 0 и CFI = 1. Эти значения указывают на то, что подгонка модели в данном исследовании отличная.

## 5. Обсуждения

Это исследование дало несколько заслуживающих внимания результатов. Во-первых, он представил модель измерения для оценки децентрализации отдельных DAO, черпая вдохновение из ранее установленных моделей, используемых при изучении децентрализации в государственных организациях. Эта модель была тщательно протестирована и подтверждена путем анализа данных, собранных с 44 DAO, что стало ценным инструментом для количественной оценки децентрализации в контексте DAO. В отличие от предыдущих исследований, таких как исследования Бутерина (2014), которые в основном теоретизировали концепцию децентрализации, это исследование предлагает структурированный подход для ее эмпирической оценки. Введение трех различных измерений (политическая, экономическая и административная децентрализация) и набора из шести связанных с ними показателей значительно продвинуло эту область. Эти индикаторы устраняют разрыв между теоретическими дискуссиями и практическими

измерениями, предлагая систематическую основу для количественной оценки децентрализации DAO.

Несмотря на широкое распространение децентрализованных автономных организаций (DAO) и обширные дискуссии вокруг их децентрализации, эта концепция по-прежнему сталкивается с концептуальной двусмысленностью. Как указали Wang et al. (2022), эти теоретические неясности могут существенно затруднить разработку эффективных систем децентрализации внутри организаций. Учитывая значительные академические и отраслевые дебаты о децентрализации DAO, это исследование может послужить основополагающей работой в области измерения DAO.

Ключевой вклад этого исследования заключается в выделении трех основных факторов для оценки децентрализации DAO: политической, экономической и административной децентрализации. Политическая децентрализация, основанная на показателях участия, показывает, работает ли DAO децентрализованно. Экономическая децентрализация оценивает справедливое распределение и использование ресурсов, особенно токенов, необходимых для участия в DAO. Административная децентрализация углубляется в наличие и эффективное использование механизмов, которые позволяют DAO работать автономно. Это исследование согласуется с предыдущими исследованиями по децентрализации правительства, в то же время вводя индикаторы, адаптированные к уникальным характеристикам DAO. Примечательно, что он подчеркивает автономные операционные механизмы, названные в этом исследовании административной децентрализацией, как независимую и жизненно важную меру децентрализации, наряду с уровнями участия и распределением токенов. Ожидается, что это открытие послужит стимулом для дальнейших исследований, особенно в отношении роли таких устройств, как кворум, в децентрализации DAO, о чем свидетельствует наш основной источник данных, Snapshot.

Некоторые показатели были учтены, но исключены на этапе первоначального сбора данных. Например, коэффициент делегирования, который показывает процент участников, активно делегирующих свои права голоса, был опущен из-за его ограниченного использования в DAO. Как отметили Сантос и Костакис (2018), структуры управления, такие как настройки с несколькими подписями и конфигурации советов, также были исключены, потому что они более адекватно оцениваются с помощью качественного анализа или изучения политик DAO по отдельности, а не с помощью данных моментальных снимков. В случае с коэффициентом делегирования, поскольку в исследовании было обнаружено, что система кворума оказывает значительное влияние на децентрализацию, было бы целесообразно провести дополнительное исследование, чтобы выяснить значимость переменной, выбрав DAO, которые используют эту функцию. Кроме того, качественные исследования, посвященные тщательному изучению подробных программных документов DAO, или количественный анализ, сосредоточенный исключительно на количественной оценке политики, предлагают многообещающие направления для дальнейших исследований.

## 6. Заключение

### 6.1. Практическое значение

В этом исследовании была изучена модель измерения децентрализации, включающая три фундаментальных измерения, а затем проведена оценка совместимости модели с факторами, связанными с децентрализацией, с помощью анализа данных Snapshot, полученных от 44 ведущих DAO на базе Ethereum. Значительный вклад этого исследования заключается в том, что оно подтверждает, что традиционные измерения децентрализации, а именно политические, экономические и административные, используемые в традиционных исследованиях децентрализации, по-прежнему актуальны для оценки децентрализации DAO, новых децентрализованных организаций, построенных на технологии блокчейн.

В частности, помимо политической и экономической децентрализации, которая облегчает участие и способствует широкому распространению владения токенами, существование механизмов, обеспечивающих «автономное» или «автоматизированное» принятие и исполнение окончательных решений, наряду со степенью их использования, оказывает заметное влияние на децентрализацию. В контексте DAO автоматическая и автономная реализация результатов является фундаментальным атрибутом, хотя он по-прежнему зависит от вмешательства человека. Таким образом, стремление свести к минимуму участие человека и максимизировать уровень «автономии» приобретает ключевую роль в повышении децентрализации и операционной эффективности DAO (Wright 2021).

Кроме того, это означает, что децентрализация не зависит от одного фактора или даже дуета факторов; Скорее, его можно оценить с помощью разнообразного набора переменных. DAO применимы в широком спектре, охватывающем политическую, социальную, экономическую и другие области, а степень их децентрализации может колебаться в зависимости от организации, которая ими управляет, и их предполагаемого назначения. Следовательно, организационная децентрализация может быть скорректирована путем умелого объединения и использования различных переменных. Например, организация, требующая ограничений на участие, может компенсировать это ограничение, учредив механизмы, обеспечивающие автономию, или способствуя большей экономической децентрализации. И наоборот, организации, требующие распределения ресурсов среди немногих избранных, могут усилить децентрализацию, поощряя «участие» в принятии решений, касающихся распределения этих ресурсов.

С точки зрения инновационного менеджмента, модель представляет собой инновационный шаг в области блокчейна и децентрализованных технологий. Она вооружает исследователей и практиков структурированным подходом к оценке и повышению децентрализации. Кроме того, выводы, сделанные в ходе этого исследования, помогают стимулировать инновации, направляя разработку новых инструментов и методологий для оценки меняющегося ландшафта DAO. Инновации могут включать в себя системы управления на основе искусственного интеллекта, улучшенную токеномику и более безопасные смарт-контракты, предназначенные для максимальной децентрализации.

Это исследование также представляет собой дорожную карту для принятия обоснованных решений. Понимание трех основных аспектов децентрализации — политического, экономического и административного — позволяет вносить стратегические



коррективы. Например, лидеры DAO могут адаптировать механизмы голосования в соответствии со своими конкретными целями, будь то поощрение более широкого участия или тонкая настройка распределения права голоса. Кроме того, улучшенное понимание аспекта административной децентрализации может привести к более прозрачным и надежным операциям DAO. Это, в свою очередь, повышает доверие членов к организации и процессам принятия решений. Менеджеры могут использовать эти знания для разработки структур управления, которые сводят к минимуму необходимость ручного вмешательства, способствуя более высокому уровню доверия между заинтересованными сторонами.

Наконец, практическое значение этого исследования распространяется на различные отрасли, использующие DAO, включая финансы, управление цепочками поставок, игры и многое другое. Организации в этих секторах могут использовать результаты исследований для настройки своих структур DAO для достижения оптимальных результатов. Например, DAO цепочки поставок могут сосредоточиться на экономической децентрализации, чтобы обеспечить справедливое распределение ресурсов. Кроме того, понимая показатели децентрализации, организации могут выявить потенциальные слабые места или узкие места в своей деятельности. Это позволяет заблаговременно снижать риски и проектировать устойчивые системы DAO, способные противостоять неожиданным вызовам. Это исследование вызывает философские дискуссии в экосистеме блокчейна. Это побуждает к изучению основных принципов децентрализации и их практических проявлений. Такие дискуссии могут привести к смене парадигмы в том, как блокчейн и децентрализованные технологии концептуализируются и реализуются. Принципы и аспекты децентрализации, выявленные в этом исследовании, могут вдохновить на межприкладное обучение. Например, идеи, полученные от DAO, могут быть использованы при разработке протоколов децентрализованных финансов (DeFi) или децентрализованных систем идентификации, расширяя влияние технологии блокчейн на более широкие области.

## **6.2. Ограничения исследований и будущие исследования**

Признание ограничений исследования имеет решающее значение. В первую очередь, из-за природы данных Snapshot вне сети, анализ фокусируется на данных, происходящих вне сети, а не в блокчейне на уровне смарт-контрактов. Несмотря на то, что Snapshot был выбран для разработки исследований из-за его широкого распространения среди DAO, это ограничивает использование метрик, которые могут быть автономно и автоматически оценены на уровне смарт-контракта. Поэтому в будущих исследованиях следует изучить децентрализацию DAO на основе транзакций в сети.

Кроме того, DAO, рассмотренные в этом исследовании, имеют общую черту в использовании цепочки Ethereum. Различные основные сети демонстрируют разную степень децентрализации, проистекающую из их различных алгоритмов консенсуса и политик. Следовательно, при оценке DAO, работающих в основных сетях с разными характеристиками, таких как Solana, Polygon и BNB, могут возникать различные измерения или индикаторы. Сравнительное исследование по основным сетям сыграло бы важную роль в выяснении разной степени децентрализации в различных экосистемах DAO.

Кроме того, важно отметить, что система голосования не была центральной переменной, рассматриваемой в данном исследовании. Причина в том, что DAO используют разнообразный набор систем голосования, и выбор системы голосования значительно влияет на результаты голосования. Более того, такие платформы, как Snapshot,

предлагают выбор из шести различных типов голосования, и в сочетании с вариациями в праве голоса это приводит к более чем 350 потенциальным стратегиям голосования для пользователей. Несмотря на то, что в этом исследовании мы попытались включить тип голосования в качестве основной переменной, стоит отметить, что большинство рассмотренных предложений (86%) отдавали предпочтение простейшему методу голосования с одним выбором. Следовательно, она не стала статистически значимой переменной в нашем анализе. Будущие исследования, изучающие влияние типа голосования на децентрализацию, могут выиграть от качественного анализа отдельных DAO или специализированных исследований, посвященных конкретным типам голосования.

Наконец, в данном исследовании не рассматривались архитектурные и технологические аспекты выделенных областей децентрализации. Будущие исследовательские усилия должны взять на себя мантию изучения этих важнейших аспектов, включая архитектурные и технологические аспекты, чтобы обеспечить целостный взгляд на децентрализацию в рамках DAO. Это позволит получить более полное представление о том, как архитектурный дизайн и лежащие в основе DAO технологии влияют на уровень их децентрализации.

### **Вклад авторов**

Концептуализация, Х.; методология, Х.; программное обеспечение, Х.; валидация, Б.К.; формальный анализ, Х. и Б.К.; расследование, Х. и Б.К.; ресурсов, л.с.; курирование данных, Н.Р.; письмо — первоначальная подготовка черновика, Х. и Б.К.; написание — рецензирование и редактирование, Б.К. и И.У.; визуализация, Б.К. и И.У.; супервизия, Б.К. и И.У.; администрирование проекта, Б.К.; привлечение финансирования, Х.. Все авторы ознакомились и согласились с опубликованной версией рукописи.

### **Финансирование**

Это исследование не получило внешнего финансирования.

### **Заявление Наблюдательного совета учреждения**

Неприменимо.

### **Заявление об информированном согласии**

Неприменимо.

### **Заявление о доступности данных**

Не применимо к доступности данных.

### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## References

1. Ahmad, Ehtisham. 2006. *Handbook of Fiscal Federalism*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing. [\[Google Scholar\]](#)
2. Axelsen, Henrik, Johannes Rude Jensen, and Omri Ross. 2023. When is a DAO Decentralized? *arXiv* arXiv:2304.08160. [\[Google Scholar\]](#) [\[CrossRef\]](#)
3. Bahl, Roy. 1999. Fiscal decentralization as development policy. *Public Budgeting & Finance* 19: 59–75. [\[Google Scholar\]](#)
4. Beck, Roman, Christoph Müller-Bloch, and John Leslie King. 2018. Governance in the blockchain economy: A framework and research agenda. *Journal of the Association for Information Systems* 19: 1–16. [\[Google Scholar\]](#) [\[CrossRef\]](#)
5. Bird, Richard M., and Francois Vaillancourt. 1998. Fiscal decentralization in developing countries: An overview. *Fiscal Decentralization in Developing Countries* 1: 1–48. [\[Google Scholar\]](#)
6. Blackorby, Charles, and Craig Brett. 2000. Fiscal federalism revisited. *Journal of Economic Theory* 92: 300–17. [\[Google Scholar\]](#) [\[CrossRef\]](#)
7. Blöchliger, Hansjörg, and David King. 2006. *Less than You Thought: The Fiscal Autonomy of Sub-Central Governments*. New York: OECD Economic Studies. [\[Google Scholar\]](#)
8. Bollen, Kenneth A. 1990. Overall fit in covariance structure models: Two types of sample size effects. *Psychological Bulletin* 107: 256–59. [\[Google Scholar\]](#) [\[CrossRef\]](#)
9. Bracciali, Andrea, Davide Grossi, and Ronald de Haan. 2021. Decentralization in open quorum systems: Limitative results for Ripple and Stellar. Paper presented at the 2nd International Conference on Blockchain Economics, Security and Protocols Tokenomics, Paris, France, December 12–13. [\[Google Scholar\]](#)
10. Buterin, Vitalik. 2014. A next-generation smart contract and decentralized application platform. *Ethereum White Paper* 3: 1–36. [\[Google Scholar\]](#)
11. Chughtia, Zohaib Ahmad, Muhammad Awais, and Abdul Rasheed. 2022. Distributed autonomous organization security in blockchain:(DAO attack). *International Journal of Computational and Innovative Sciences* 1: 47–59. [\[Google Scholar\]](#)
12. Dhillon, Vikram, David Metcalf, and Max Hooper. 2017. *Blockchain Enabled Applications*. Berkeley: Apress. [\[Google Scholar\]](#)
13. Diallo, Nour, Weidong Shi, Lei Xu, Zhimin Gao, Lin Chen, Yang Lu, Nolan Shah, Larry Carranco, Ton-Chanh Le, Abraham Bez Surez, and et al. 2018. eGov-DAO: A better government using blockchain based decentralized autonomous organization. Paper presented at the 2018 International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG), St. Petersburg, Russia, November 14–16; pp. 166–71. [\[Google Scholar\]](#)
14. El Faqir, Youssef, Javier Arroyo, and Samer Hassan. 2020. An overview of decentralized autonomous organizations on the blockchain. Paper presented at the 16th International Symposium on Open Collaboration, Virtual, Spain, August 26–27; pp. 1–8. [\[Google Scholar\]](#)
15. Fan, C. Simon, Chen Lin, and Daniel Treisman. 2009. Political decentralization and corruption: Evidence from around the world. *Journal of Public Economics* 93: 14–34. [\[Google Scholar\]](#) [\[CrossRef\]](#)
16. Far, Saeed Banaeian, and Seyed Mojtaba Hosseini Bamakan. 2022. Blockchain-based reporting protocols as a collective monitoring mechanism in DAOs. *Data Science and Management* 5: 11–12. [\[Google Scholar\]](#)
17. Fox, Jonathan A., and Josefina Aranda. 1996. *Decentralization and Rural Development in Mexico: Community Participation in Oaxaca's Municipal Funds Program*. Berkeley: University of California. [\[Google Scholar\]](#)

18. Gallego, Francisco A. 2010. Historical origins of schooling: The role of democracy and political decentralization. *The Review of Economics and Statistics* 92: 228–43. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
19. Gatignon, Hubert. 2003. *Statistical Analysis of Management Data*. New York: Springer. [[Google Scholar](#)]
20. Goldberg, Mitchell, and Fabian Schär. 2023. Metaverse governance: An empirical analysis of voting within decentralized autonomous organizations. *Journal of Business Research* 160: 113764. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
21. Haydanka, Yevheniy. 2020. Urgent Decentralization Problems in the Czech Republic at a Regional Level: Political, Administrative and Sociological Dimensions. *Viešoji politika ir administravimas* 19: 253–65. [[Google Scholar](#)]
22. Hong, Se-Hee. 2000. The criteria for selecting appropriate fit indices in structural equation modeling and their rationales. *Korean Journal of Clinical Psychology* 19: 161–77. [[Google Scholar](#)]
23. Hu, Li-tze, and Peter M. Bentler. 1999. Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal* 6: 1–55. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
24. Hutchcroft, Paul D. 2001. Centralization and decentralization in administration and politics: Assessing territorial dimensions of authority and power. *Governance* 14: 23–53. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
25. Kaal, Wulf A. 2020. Decentralized corporate governance via blockchain technology. *Annals of Corporate Governance* 5: 101–47. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
26. Kaufmann, Daniel, Aart Kraay, and Massimo Mastruzzi. 2003. *Governance matters III: Governance indicators for 1996–2002*. Washington, DC: World Bank Policy Research. [[Google Scholar](#)]
27. Kaufmann, Daniel, Aart Kraay, and Pablo Zoido-Lobaton. 2000. Governance matters. *Finance & Development* 37: 10–13. [[Google Scholar](#)]
28. Kaufmann, Daniel, and Aart Kraay. 2008. Governance indicators: Where are we, where should we be going? *The World Bank Research Observer* 23: 1–30. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
29. Kline, Rex B. 2023. *Principles and Practice of Structural Equation Modeling*. New York: Guilford Publications. [[Google Scholar](#)]
30. Kline, Rex B., and Darcy A. Santor. 1999. Principles & practice of structural equation modelling. *Canadian Psychology* 40: 381–83. [[Google Scholar](#)]
31. Koufteros, Xenophon A. 1999. Testing a model of pull production: A paradigm for manufacturing research using structural equation modeling. *Journal of Operations Management* 17: 467–88. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
32. London, Herbert. 1975. The meaning of decentralization. *The Social Studies* 66: 55–59. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
33. Manor, James. 1999. *The Political Economy of Democratic Decentralization*. New York: The World Bank. [[Google Scholar](#)]
34. Mehar, Muhammad Izhar, Charles Louis Shier, Alana Giambattista, Elgar Gong, Gabrielle Fletcher, Ryan Sanayhie, Henry M. Kim, and Marek Laskowski. 2019. Understanding a revolutionary and flawed grand experiment in blockchain: The DAO attack. *Journal of Cases on Information Technology* 21: 19–32. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
35. Monrat, Ahmed Afif, Olov Schelén, and Karl Andersson. 2019. A survey of blockchain from the perspectives of applications, challenges, and opportunities. *IEEE Access* 7: 117134–51. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]



36. Morozov, Boris. 2016. Decentralization: Operationalization and measurement model. *International Journal of Organization Theory & Behavior* 19: 275–307. [[Google Scholar](#)]
37. Morrison, Robbie, Natasha C. H. L. Mazey, and Stephen C. Wingreen. 2020. The DAO controversy: The case for a new species of corporate governance? *Frontiers in Blockchain* 3: 25. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
38. Musgrave, Richard A., and Alan T. Peacock. 1958. *Classics in the Theory of Public Finance*. New York: Springer. [[Google Scholar](#)]
39. Nunes Silva, Carlos. 2017. Political and administrative decentralization in Portugal: Four decades of democratic local government. In *Chapter of Local Government and Urban Governance in Europe*. New York: Springer. [[Google Scholar](#)]
40. Oates, Wallace E. 1993. Fiscal decentralization and economic development. *National Tax Journal* 46: 237–43. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
41. Oates, Wallace E. 1997. An essay on fiscal federalism. *Journal of Economic Literature* 37: 1120–49. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
42. Ooi, Chinchun, Quang Tuyen Le, My Ha Dao, Van Bo Nguyen, Hoang Huy Nguyen, and Te Ba. 2021. Modeling transient fluid simulations with proper orthogonal decomposition and machine learning. *International Journal for Numerical Methods in Fluids* 93: 396–410. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
43. Panda, Bhuputra, and Harshad P. Thakur. 2016. Decentralization and health system performance—a focused review of dimensions, difficulties, and derivatives in India. *BMC Health Services Research* 16: 561. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
44. Park, Hyejin, Ivan Ureta, and Boyoung Kim. 2023. Trend Analysis of Decentralized Autonomous Organization Using Big Data Analytics. *Information* 14: 326. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
45. Rondinelli, Dennis A. 1990. Decentralization, territorial power and the state: A critical response. *Development and Change* 21: 491–500. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
46. Rondinelli, Dennis A., John R. Nellis, and G. Shabbir Cheema. 1983. Decentralization in developing countries. *World Bank* 581: 13–28. [[Google Scholar](#)]
47. Santos, Francisco, and Vasileios Kostakis. 2018. *The DAO: A Million Dollar Lesson in Blockchain Governance*. Tallinn: School of Business and Governance, Ragnar Nurkse Department of Innovation and Governance. [[Google Scholar](#)]
48. Saurabh, Kumar, Neelam Rani, and Parijat Upadhyay. 2023. Towards blockchain led decentralized autonomous organization (DAO) business model innovations. *Benchmarking: An International Journal* 30: 475–502. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
49. Schermelleh-Engel, Karin, Helfried Moosbrugger, and Hans Müller. 2003. Evaluating the fit of structural equation models: Tests of significance and descriptive goodness-of-fit measures. *Methods of Psychological Research* 8: 23–74. [[Google Scholar](#)]
50. Schneider, Aaron. 2003. Decentralization: Conceptualization and measurement. *Studies in Comparative International Development* 38: 32–56. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
51. Schreiber, James B., Amaury Nora, Frances K. Stage, Elizabeth A. Barlow, and Jamie King. 2006. Reporting structural equation modeling and confirmatory factor analysis results: A review. *The Journal of Educational Research* 99: 323–38. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
52. Singh, Madhusudan, and Shiho Kim. 2019. Blockchain technology for decentralized autonomous organizations. *Advances in Computers* 115: 115–40. [[Google Scholar](#)]
53. Snapshot Ranking. 2023. Available online: <https://snapshot.org/#/ranking> (accessed on 8 August 2023).

54. Sureshchandar, G. S. 2023. Quality 4.0—A measurement model using the confirmatory factor analysis (CFA) approach. *International Journal of Quality & Reliability Management* 40: 280–303. [[Google Scholar](#)]
55. Treisman, Daniel. 1999. Political decentralization and economic reform: A game-theoretic analysis. *American Journal of Political Science* 43: 488–517. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
56. Treisman, Daniel. 2007. *The Architecture of Government: Rethinking Political Decentralization*. Cambridge: Cambridge University Press. [[Google Scholar](#)]
57. Vandenberg, Robert J. 2006. Introduction: Statistical and methodological myths and urban legends: Where, pray tell, did they get this idea? *Organizational Research Methods* 9: 194–201. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
58. Wang, Qin, Guangsheng Yu, Yilin Sai, Caijun Sun, Lam Duc Nguyen, Sherry Xu, and Shiping Chen. 2022. An empirical study on snapshot DAOs. *arXiv* arXiv:2211.15993. [[Google Scholar](#)]
59. Wright, Steven A. 2021. Measuring DAO autonomy: Lessons from other autonomous systems. *IEEE Transactions on Technology and Society* 2: 43–53. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]