

# Гибридные блокчейн-платформы как основа цифрового суверенитета ракетно-космической отрасли

## *Hybrid blockchain platforms as a foundation for digital sovereignty of the rocket and space industry*

В статье рассматривается применение гибридных корпоративных блокчейн-платформ как инструмента цифрового суверенитета в ракетно-космической отрасли. Анализируются сильные и слабые стороны частных и публичных блокчейн-систем, обосновывается необходимость их интеграции в гибридной архитектуре. Предложена модель, сочетающая защищенную корпоративную сеть и публичный инвестиционный уровень, применяемая для управления НИОКР, контрактами, поставками и цифровыми активами. Отдельное внимание уделено правовым требованиям и отечественным технологическим решениям. Сделан вывод о потенциале гибридной платформы как основы для импортонезависимой цифровой инфраструктуры отрасли.

This article explores the use of hybrid corporate blockchain platforms as a tool to ensure digital sovereignty in the rocket and space industry. The strengths and weaknesses of private and public blockchain systems are analyzed, and the necessity of integrating them into a hybrid architecture is justified. The paper proposes a model that combines a secure corporate network with a public investment layer, applicable to R&D management, contract execution, supply tracking, and digital asset operations. Special attention is given to legal compliance and domestic technological solutions. The study concludes that hybrid platforms can serve as the foundation for an import-independent digital infrastructure.

**Ключевые слова:** цифровой суверенитет, блокчейн, смарт-контракты, ракетно-космическая отрасль, гибридная блокчейн-архитектура, корпоративные распределенные реестры, инвестиционная деятельность

**Keywords:** digital sovereignty, blockchain, smart contracts, rocket and space industry, hybrid blockchain architecture, corporate distributed ledgers, investment activity



### ПОЛУЭКТОВ РУСЛАН МАРАТОВИЧ

Главный специалист службы первого заместителя генерального директора, АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»

ORCID: 0009-0005-9709-465X

E-mail: poluektov.rm@yandex.ru

### POLUEKTOV RUSLAN

Chief specialist of the Office of the First Deputy General Director, Khrunichev State Research and Production Space Center

Для цитирования: Полуэктов Р. М. Гибридные блокчейн-платформы как основа цифрового суверенитета ракетно-космической отрасли / Р. М. Полуэктов. // Экономика космоса. – 2025. – № 12. – С. 14–26. – DOI 10.48612/agat/space\_economics/2025.04.12.02

### Введение

Ракетно-космическая отрасль (далее – РКО) России традиционно опирается на высокотехнологичную инфраструктуру, где цифровизация играет все более значимую роль. В современных условиях усиления санкционного давления, ограниченного доступа к зарубежным информационным технологиям, а также риска утечки критических данных вопросы цифрового суверенитета приобретают приоритетный характер.

Цифровой суверенитет предполагает, в частности, возможность государства и госкорпораций самостоятельно контролировать жизненный цикл данных, защищать критическую информацию, управлять цифровыми активами и взаимодействовать с другими субъектами экономики в условиях доверия. В этом контексте особую актуальность приобретают распределенные информационные системы – прежде всего блокчейн-платформы, способные обеспечить неизменяемость, верифицируемость и прозрачность операций без необходимости в централизованном посреднике.

Блокчейн (от англ. blockchain – «цепочка блоков») – это распределенная база данных (или реестр), структура которой организована в виде последовательной, хронологически связанной цепочки блоков, содержащих цифровые записи о транзакциях, событиях или других действиях. Каждый блок связан с предыдущим с помощью криптографического хэша, что обеспечивает неизменяемость и целостность всей истории данных. При этом каждое устройство в блокчейн-сети хранит всю информацию, опубликованную в отдельно взятой блокчейн-сети. Дополнение цепочки на одном компьютере сразу же влечет такое же изменение на всех компьютерах сети, а каждый компьютер в сети может подключиться к любому другому без узлов-посредников [1].

Ключевые особенности блокчейн-технологии включают:

- децентрализацию – отсутствие единого центра управления, данные хранятся на множестве узлов сети;
- прозрачность – каждый участник может проверить подлинность и хронологию записей (в пределах своих прав доступа);
- неизменяемость – внесенная информация не может быть изменена без нарушения всей цепочки, что исключает возможность фальсификации;
- криптографическую защищенность – все транзакции шифруются и верифицируются с помощью алгоритмов цифровой подписи.

Изначально разработанная для криптовалют (в частности, Bitcoin), технология блокчейн с 2015 года активно внедряется в других сферах – от логистики и документооборота до медицины и государственного управления. В рамках промышленного применения блокчейн представляет собой инструмент для создания безопасной, устойчивой и дове-

ренной цифровой инфраструктуры между несколькими организациями или подразделениями.

Несмотря на активное развитие блокчейн-технологии в гражданском и финансовом секторе, ее адаптация к нуждам ракетно-космической отрасли требует переосмысления архитектурных подходов. Решения, использующие публичные блокчейны, не соответствуют требованиям информационной безопасности, тогда как полностью закрытые сети не обеспечивают нужной гибкости, прозрачности и взаимодействия с внешней средой. В ответ на этот вызов предлагается модель гибридной корпоративной блокчейн-платформы, сочетающей защищенность и доверие приватного слоя с функциональностью, открытостью и инвестиционной привлекательностью публичного уровня.

### Проблематика цифрового суверенитета в ракетно-космической отрасли

Цифровой суверенитет в современной трактовке означает способность государства и ключевых отраслей самостоятельно определять и контролировать стратегически важные информационные потоки, технологии хранения, обработки и передачи данных, не полагаясь на инфраструктуру и программное обеспечение, находящиеся под контролем иностранных юрисдикций. В условиях технологического санкционного давления, геополитической фрагментации цифрового пространства и роста числа киберугроз этот принцип приобретает фундаментальное значение для устойчивости национальных отраслей [2].

РКО как часть обороннопромышленного комплекса (далее – ОПК) представляет собой высокотехнологичную, наукоемкую систему с глубокими межотраслевыми связями, кооперационными цепочками и уникальными компетенциями. Ее цифровая зависимость от зарубежного программного обеспечения и архитектурных решений делает ее уязвимой как в экономическом, так и в информационно-безопасностном аспекте. Наряду с этим переход к «цифре» (включая управление жизненным циклом изделий, цифровые двойники, интеллектуальную аналитику, контрактный документооборот и другие) невозможен без создания доверенной цифровой среды, соответствующей требованиям государственной тайны и режима ограниченного доступа.

На текущий момент значительная доля прикладных решений в РКО основана на программном обеспечении иностранного происхождения, включая операционные системы, СУБД (система управления базами данных), средства виртуализации и прикладные модули. Кроме того, многие существующие системы не интегрированы между собой и не обеспечивают сквозной прослеживаемости данных на уровне поставщиков и подрядчиков, что усложняет контроль исполнения контрактов, а также исключает

возможность применения сквозных цифровых механизмов, таких как токенизация ресурсов или автоматическая сертификация узлов и блоков.

Также актуальна проблема нормативного «рассинхрона». С одной стороны, государство требует соблюдения жестких норм по безопасности (ФСТЭК, ФСБ), с другой – продвигает концепции цифровых финансовых активов (ФЗ-259), платформ цифрового рубля, дистанционного подписания документов, облачного взаимодействия и токенизации прав. Между этими подходами наблюдается противоречие: внедрение современных цифровых платформ натывается на регуляторные барьеры, не позволяющие использовать публичные инфраструктуры или зарубежные технологические стеки.

Кроме технических и правовых проблем, существует и организационно-управленческий барьер. Множество цифровых инициатив реализуются точно на уровне отдельных предприятий или институтов без единой архитектурной и методологической рамки. Отсутствие межведомственного доверия, фрагментация ИТ-ландшафта и дублирование данных снижают эффективность кооперации и повышают операционные риски. Таким образом, в РКО накапливается структурный дефицит цифрового суверенитета, выражающийся в:

- технологической зависимости от импортного ПО;
- отсутствии доверенного единого пространства данных;
- невозможности токенизации процессов и активов;
- недостатке цифровых инструментов для аудита, контроля, координации и инвестиций;
- правовой неустойчивости при внедрении сквозных решений (смарт-контрактов, цифровых реестров).

Эта проблема становится особенно актуальной в контексте реализации федеральных программ цифровизации, развития платформенных решений для ОПК и РКО, в частности, создания собственных ЦФА-платформ и продвижения принципов цифрового суверенитета. Для преодоления этого кризиса требуется комплексное решение, сочетающее архитектурную независимость, безопасность, юридическую силу операций и прозрачность взаимодействия. Одним из возможных подходов является внедрение гибридной блокчейн-платформы, способной обеспечить необходимый уровень цифровой доверенности, контролируемой открытости и нормативного соответствия в условиях РКО.

#### Частные и публичные блокчейн-платформы

С развитием технологии блокчейн возникли различные подходы к построению распределенных реестров, ориентированные на разные цели – от полной открытости и анонимности до строгой регламентированности и контроля

доступа. Наиболее распространенной является классификация блокчейн-сетей на публичные (открытые) и приватные (закрытые). Эти две модели существенно отличаются как по архитектуре, так и по принципам функционирования, безопасности, масштабируемости и применимости в конкретных сферах [3].

Публичные блокчейны, такие как Bitcoin и Ethereum, изначально создавались как децентрализованные платформы, не требующие доверия к централизованным структурам. Они обеспечивают полную прозрачность и доступность, но страдают от ограничений по производительности и невозможности реализации гибкого контроля доступа. Публичные блокчейн-платформы позволяют любому участнику сети стать валидатором, вести транзакции и взаимодействовать с другими без предварительной идентификации. Это наиболее распространенный формат блокчейна в криптовалютах и сфере децентрализованных финансовых механизмов.

Преимущества публичных блокчейнов:

- прозрачность и глобальная доступность;
- возможность привлечения широкого круга инвесторов (в том числе через токены);
- высокая надежность благодаря децентрализации;
- поддержка развитой DeFi-инфраструктуры.

Ограничения публичных блокчейнов:

- отсутствие контроля за доступом и контрагентами;
- не соответствует требованиям информационной безопасности (ФСТЭК, ФСБ);
- возможные юридические риски при работе с цифровыми активами;
- повышенная волатильность и зависимость от внешнего консенсуса.

Приватные блокчейны, напротив, ориентированы на корпоративное использование, где важны доверенные участники, предсказуемая производительность и соответствие требованиям информационной безопасности и доступа к информации ограниченного распространения. Частные блокчейн-платформы представляют собой распределенные системы с ограниченным доступом, где права на верификацию транзакций, управление сетью и хранение данных предоставляются только авторизованным участникам. Корпоративные блокчейн-платформы в отличие от публичных решений позволяют объединить ключевых участников отрасли – от государственных корпораций до частных подрядчиков и поставщиков – в единую доверенную цифровую среду. Такая платформа может стать инфраструктурным каркасом для управления договорами, логистикой, инвестициями и документооборотом с полной прослеживаемостью и неизменяемостью данных. Представляется, что внедрение корпоративного блокчейна способно не только снизить операционные и управлен-

ческие риски, но и открыть новые горизонты в цифровом развитии отрасли.

Наиболее известные примеры реализованных решений: Hyperledger Fabric, Waves Enterprise, Мастерчейн, R3 Corda, Multichain. В российских реалиях интерес представляет прежде всего развитие отечественных платформ,

соответствующих требованиям регуляторов.

Ниже представлено сравнительное описание этих двух типов блокчейна, отражающее ключевые различия и применимость каждого подхода в условиях промышленного и государственного сектора (табл. 1).

Приватные блокчейн-платформы могут стать осно-

| Критерий                    | Публичный блокчейн                                                                                           | Приватный блокчейн                                                                                   |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Доступ к сети               | Открыт для всех; любой может присоединиться и участвовать                                                    | Ограничен; доступ имеют только авторизованные участники                                              |
| Управление                  | Децентрализованное; решения принимаются консенсусом всех участников                                          | Централизованное или распределенное; управление осуществляется определенной организацией или группой |
| Идентификация участников    | Анонимность или псевдоанонимность участников                                                                 | Идентифицированные участники с известными ролями и правами                                           |
| Механизм консенсуса         | Чаще всего Proof of Work (PoW) или Proof of Stake (PoS) [4, 5]; требует значительных вычислительных ресурсов | Более легковесные алгоритмы, такие как Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT) или Raft [5]       |
| Производительность          | Низкая скорость транзакций и высокая задержка из-за необходимости достижения консенсуса среди многих узлов   | Высокая скорость транзакций и низкая задержка благодаря ограниченному числу доверенных узлов         |
| Прозрачность данных         | Полная прозрачность; все транзакции доступны для просмотра всеми участниками                                 | Ограниченная прозрачность; доступ к данным регулируется правами доступа                              |
| Юридическая сила транзакций | Проблематично обеспечить юридическую силу                                                                    | С применением квалифицированных электронных подписей возможно обеспечение юридической силы           |
| Безопасность                | Высокая, обеспечивается децентрализацией и криптографическими методами                                       | Зависит от внутренней политики безопасности и контроля доступа                                       |
| Масштабируемость            | Ограниченная; увеличение числа участников может привести к снижению производительности                       | Легко масштабируется в пределах организации или госкорпорации                                        |
| Инфраструктурные издержки   | Инфраструктура уже развернута глобально                                                                      | Требует создания доверенного контура                                                                 |
| Примеры использования       | Криптовалюты (Bitcoin, Ethereum), децентрализованные приложения                                              | Корпоративные решения (Hyperledger Fabric, R3 Corda), внутренние системы учета и управления          |

Табл. 1. Сравнение публичного и приватного блокчейнов.  
Источник: составлено автором по результатам проведенного исследования

вой цифрового суверенитета и подходят для реализации таких процессов в РКО, как управление поставками, контроль выполнения НИОКР, документооборот. Однако они не обеспечивают прозрачности и открытости, необходимых для привлечения внешнего финансирования и создания рыночных механизмов доверия, преимущества блокчейн-технологии при реализации частных блокчейн-платформ распространяются только на внутренние процессы задействованных предприятий РКО или их структурных подразделений. В условиях работы РКО, где критически важны безопасность, контроль доступа к информации ограниченного распространения и соответствие нормативным требованиям, частные блокчейн-сети представляют собой оптимальное решение, позволяя обеспечить строгий контроль доступа к данным и операциями внутри сети, гарантируя высокую производительность и низкую задержку при обработке операций. Частный блокчейн возможно интегрировать с существующими корпоративными системами и процессами, соблюдая требования по защите информации и соответствие отраслевым стандартам безопасности.

#### Обзор существующих корпоративных блокчейн-платформ

Корпоративные (частные) блокчейн-платформы представляют собой специализированные распределенные системы, предназначенные для ограниченного круга верифицированных участников и построенные с учетом требований к контролю доступа, конфиденциальности и соответствию регуляторным стандартам. Они применяются в тех секторах, где открытые публичные блокчейны неприемлемы из-за рисков раскрытия информации, отсутствия юридической силы и невозможности гарантировать управление узлами сети.

На международном рынке одной из наиболее известных платформ является Hyperledger Fabric, разработанная Linux Foundation при участии IBM и других партнеров [6]. Эта модульная архитектура позволяет реализовать многоуровневое разграничение доступа, конфиденциальные каналы взаимодействия, масштабируемость и высокую производительность. Fabric широко применяется в логистике, управлении цепочками поставок, электронном документообороте, а также в корпоративных смарт-контрактах. Однако ее использование в российской критической инфраструктуре ограничено из-за иностранного происхождения и несоответствия стандартам информационной

безопасности, утвержденным ФСТЭК и ФСБ. Архитектура Hyperledger Fabric предполагает разделение ролей между узлами, функцией упорядочивания транзакций и системой управления доступом. Это позволяет гибко настраивать взаимодействие между участниками, обеспечивать высокую производительность и изоляцию данных. Примером успешного применения Fabric в промышленности является сотрудничество IBM и Airbus по управлению жизненным циклом компонентов авиационной техники, а также пилотные проекты с участием Deutsche Bank и Walmart. В российской практике Hyperledger Fabric рассматривался в пилотных проектах РЖД и ряда логистических операторов в рамках цифровизации поставок и документооборота.

Еще одним заметным решением является R3 Corda, изначально ориентированная на банковский и юридический сектор [7]. В отличие от традиционного блокчейна Corda реализует модель прямого обмена транзакциями между узлами без общего реестра, что обеспечивает высокий уровень конфиденциальности. Поддержка «умных юридических соглашений» делает платформу привлекательной для цифровизации контрактной деятельности. Однако архитектура Corda менее применима для задач, связанных с логистикой, цифровыми двойниками и машиночитаемыми производственными цепочками, что ограничивает ее применимость в РКО. Среди пользователей R3 Corda – международные банки (ING, HSBC), страховые компании. Рассматривая российскую практику, можно отметить, что в 2015 году Сбербанк рассматривал возможность присоединения к международному консорциуму R3 для развития сервисов на основе технологии блокчейн<sup>1</sup>. В итоге Сбербанк не стал официальным участником консорциума<sup>2</sup>, но продолжил взаимодействие с представителями R3, обсуждая пути развития технологии блокчейн и рассматривая возможности внедрения решений на основе платформы Corda в своей деятельности.

Простая в использовании и развертывании платформа Multichain ориентирована на быструю реализацию корпоративных блокчейн-пилотов [8]. Ее преимущества заключаются в простоте настройки, наличии встроенных потоков данных и контроле разрешений. Однако функциональность смарт-контрактов в Multichain ограничена, а возможности интеграции с государственными информационными системами и соблюдения нормативных требований – минимальны.

Дополнительный интерес в контексте корпоративных решений представляет собой платформа Quorum, изна-

<sup>1</sup> «Сбербанк может войти в консорциум R3 для развития сервисов на основе blockchain» [Электронный ресурс] // Ведомости: [сайт]. [2015]. URL: <https://www.vedomosti.ru/finance/news/2015/12/10/620409-sberbank-blockchain> (дата обращения: 10.05.2025).

<sup>2</sup> «Сбербанк вошел в альянс для развития блокчейна на платформе Бутерина» [Электронный ресурс] // РБК: [сайт]. [2017]. URL: <https://www.vedomosti.ru/finance/news/2015/12/10/620409-sberbank-blockchain> (дата обращения: 10.05.2025).



начально разработанная инвестиционным банком JPMorgan как модифицированная версия Ethereum, ориентированная на корпоративное применение [9]. Quorum сохранил совместимость с экосистемой Ethereum, но был адаптирован для потребностей организаций, нуждающихся в контроле над конфиденциальностью и производительностью. Платформа реализует механизмы частных транзакций между отдельными участниками сети, скрытых от посторонних узлов, а также предлагает выбор между различными алгоритмами консенсуса. Благодаря такому подходу Quorum совмещает преимущества смарт-контрактов открытых сетей с возможностью конфиденциального взаимодействия, что делает его привлекательным для финансового и промышленного применения. На его основе был реализован ряд крупных проектов, в том числе платформа JPM Coin для межбанковских расчетов и система Aura Consortium (в партнерстве с LVMH, Cartier и другими), предназначенная для отслеживания подлинности товаров класса люкс. Однако при всех архитектурных достоинствах Quorum, как и другие платформы, имеющие зарубежное происхождение, сталкивается с ограничениями в применении в критических отраслях, таких как РКО. Его использование в составе цифровой инфраструктуры, предназначенной для работы с чувствительными данными, требует либо полной локализации кода и инфраструктуры, либо замещения на отечественные или суверенные разработки. Кроме того, в российском правовом поле платформа не интегрирована с сертифицированными криптосредствами и не поддерживает юридически значимые электронные подписи.

Среди российских решений заслуживают особого внимания Waves Enterprise и Мастерчейн. Waves Enterprise – это коммерчески поддерживаемая отечественная блокчейн-платформа, сочетающая частные и консорциумные цепочки с поддержкой шифрования, ролевого управления и исполнения смарт-контрактов<sup>3</sup>. Платформа активно используется в проектах по токенизации, электронному документообороту, управлению активами. Ее важное преимущество – соответствие ряду российских стандартов по криптографии и информационной безопасности, что делает ее потенциальной технологической основой для суверенных цифровых решений в РКО.

Мастерчейн, разработанный Ассоциацией ФинТех при поддержке Банка России, представляет собой первый в стране опыт создания отраслевой блокчейн-инфраструктуры для задач, связанных с цифровыми финансовыми активами, правами собственности, сертифицированной

идентификацией и регистрацией [11]. Он активно используется как базовая технологическая платформа для операторов ЦФА (Сбер, Атомайз, ВТБ) и обладает полной совместимостью с российским правовым полем. Это делает его на сегодняшний день наиболее зрелым инструментом для реализации цифрового суверенитета в рамках юридически значимых операций.

Сравнительный анализ показывает, что при всей функциональной зрелости зарубежных платформ их использование в РКО ограничено нормативно-правовыми и политическими факторами. В этих условиях приоритет должен быть отдан отечественным решениям, позволяющим создавать доверенную инфраструктуру с соблюдением требований безопасности, контролем над исходным кодом и возможностью интеграции с государственными системами и платформой цифрового рубля, а зарубежные разработки могут быть рассмотрены как архитектурные ориентиры для построения отечественных решений, ориентированных на поддержку токенизации, автоматизации документооборота и публичной верификации при условии соблюдения национальных требований цифрового суверенитета.

#### **Гибридная архитектура корпоративной блокчейн-платформы: принципы и преимущества**

Публичные платформы позволяют реализовать механизмы цифровой экономики и прозрачного процесса инвестирования, но не соответствуют требованиям регуляторов. Это объективно приводит к необходимости гибридной архитектуры, объединяющей преимущества обеих моделей. Гибридная архитектура выступает как компромиссное, но сбалансированное решение, сочетающее в себе функциональные и организационные свойства двух типов платформ (частные и публичные), и разделяет их по логическим и правовым уровням. Такой подход позволяет использовать преимущества обеих моделей в рамках единого цифрового контура, разделенного на безопасные, независимые по функциям и уровню доступа слои.

Гибридная архитектура включает в себя следующие функциональные уровни:

1. Корпоративный (частный) слой – построен на базе частного блокчейна (например, Waves Enterprise или Мастерчейн). Он предназначен для:
  - внутреннего документооборота;
  - управления НИОКР и производственными циклами;
  - контроля за исполнением государственного оборонного заказа (ГОЗ);
  - идентификации участников;

<sup>3</sup> Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019662198. Блокчейн-платформа waves enterprise: № 2019660842: заявл. 03.09.2019; опубл. 18.09.2019; заявитель ООО «Веб3 Технологии».

- хранения и исполнения смарт-контрактов с юридической значимостью.

2. Интеграционный слой (API<sup>4</sup>/шлюзы) – обеспечивает изоляцию слоев, безопасную синхронизацию данных и публикатор хэш-меток и транзакций. Служит технологическим буфером между внутренним и внешним пространствами сети.

3. Публичный слой (инвестиционный/токенизационный) – реализуется через зарегистрированные в Российской Федерации платформы ЦФА или открытые совместимые блокчейны (например, TON, Ethereum). Он предназначен для:

- публикации хэшей и отчетов;
- эмиссии цифровых активов (токены, NFT, ЦФА);
- обеспечения доверия и привлечения внешнего финансирования;
- реализации алгоритмов консенсуса.

Преимущества гибридного подхода:

- **Изоляция данных:** вся чувствительная информация (например, по производству, персоналу, расчетам по ГОЗ) остается внутри закрытой инфраструктуры.
- **Прозрачность внешней части:** инвесторы, партнеры и общественность могут получать проверяемую информацию, например, о выполненных проектах, целях, метриках.
- **Токенизация и механизмы децентрализованных инвестиций:** можно выпустить токены, отражающие долю в проекте, и разместить их в открытой сети для широкого привлечения средств (с предварительной верификацией KYC<sup>5</sup>).
- **Совместимость с цифровым рублем/ЦФА:** возможность интеграции с государственными платформами (например, Мастерчейн) для проведения взаиморасчетов.
- **Юридическая устойчивость:** ключевые события (например, завершение контракта) фиксируются в публичной сети, но их правовая сила подтверждается внутри приватного реестра.
- **Модульность:** архитектура масштабируется как по числу участников, так и по числу функциональных компонентов.

Гибридная блокчейн-архитектура может быть эффективно использована для:

- управления жизненным циклом сложных технических систем;
- контроля за цепочками поставок компонентов и агре-

гатов;

- управления цифровыми двойниками изделий;
- фиксации и верификации интеллектуальной собственности;
- создания платформ токенизации активов и привлечения внебюджетного финансирования;
- интеграции с платформами «цифрового рубля» и ЦФА.

Гибридная блокчейн-архитектура представляет собой стратегически перспективное решение для РКО, способное обеспечить технологическую устойчивость, цифровой суверенитет, прозрачность и инвестиционную привлекательность отрасли. В условиях развития цифровой экономики ее внедрение может стать одним из ключевых элементов цифровой трансформации предприятий ОПК и космической отрасли.

### Рекомендации по внедрению гибридной блокчейн-архитектуры в РКО

Задача обеспечения цифрового суверенитета РКО требует трансформации существующих ИТ-подходов и внедрения инновационных решений, обеспечивающих высокую степень достоверности, защищенности и прозрачности данных. Гибридная блокчейн-архитектура, сочетающая преимущества приватных и публичных реестров, представляется эффективным инструментом цифровизации ключевых бизнес-процессов в РКО, особенно в аспектах управления жизненным циклом изделий, НИОКР, контрактной деятельности и взаимодействия с внешними инвесторами. Внедрение гибридной архитектуры целесообразно осуществлять поэтапно:

#### 1. Анализ бизнес-процессов и рисков:

- идентификация процессов, подлежащих цифровизации: управление НИОКР, документооборот, логистика;
- анализ требований к приватности (например, ФСТЭК, ФСБ);
- выделение областей, допустимых для публикации и токенизации.

#### 2. Выбор платформ и проектирование:

- разработка приватного уровня (или адаптация существующего решения, Waves Enterprise или Мастерчейн);
- выбор публичного уровня (например, TON, Ethereum – для выпуска активов и взаимодействия с инвесторами);
- определение каналов связи между уровнями, создание интеграционного уровня: API, шлюзы, оракулы,

<sup>4</sup> API (англ. Application Programming Interface) – интерфейс взаимодействия между информационными системами или продуктами.

<sup>5</sup> KYC (англ. Know Your Customer – «Знай своего клиента») – обязательная процедура идентификации личности и проверки благонадежности, которую проводят банки, финансовые организации, инвестиционные платформы и операторы цифровых активов перед тем, как предоставить доступ к своим услугам и операциям.

смарт-контракты;

- проектирование логики взаимодействия, схем разграничения доступа.
3. Развертывание и интеграция:
- развертывание узлов приватной сети (на базе дата-центров Роскосмоса или инженерно-технологических центров предприятий);
  - настройка смарт-контрактов, каналов, политик управления;
  - подключение внешних модулей: публикация хешей данных, токенизация патентов или инвестиций;
  - интеграция с внутренними системами (например, ERP) и средствами ЭЦП.
4. Правовая и регуляторная проработка:
- формализация взаимодействия между уровнями: смарт-контракты + юридическая сила через квалифицированные цифровые подписи;
  - согласование с требованиями ФЗ-149, ФЗ-187, ФЗ-259, законами о ЦФА;

- подача на регистрацию платформы как оператора по ЦФА или работа через посредника (например, Сбер или ВЭБ.РФ).

#### 5. Обкатка и масштабирование:

- пилотирование проекта на отдельном предприятии (создание минимально жизнеспособного продукта);
- аудит кода и правовых процедур;
- постепенное подключение других участников (по цепочке поставок, участников НИОКР, субподрядчиков).

#### Технико-экономическое сравнение приватной и гибридной блокчейн-архитектуры

Произведем сравнение предлагаемой гибридной архитектуры блокчейн-платформы с приватным типом сетей, построенных полностью внутри корпоративного контура, без внешнего взаимодействия. Сравнение проводится по техническим, экономическим, организационным и юридическим критериям (табл. 2).

| Критерий                                              | Приватная сеть                           | Гибридная архитектура                                                    |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Безопасность                                          | Максимальный контроль, закрытая сеть     | Высокий уровень при правильной сегментации; требуется защита шлюзов      |
| Прозрачность                                          | Только для внутренних пользователей      | Частичная открытость, публикация хэшей или метаданных                    |
| Масштабируемость                                      | Ограниченная количеством участников сети | Потенциально высокая, через публичный уровень                            |
| Интеграция с внешними участниками                     | Сложна или невозможна                    | Упрощена через API, шлюзы, токенизацию                                   |
| Сложность разработки                                  | Относительно ниже                        | Выше из-за необходимости разработки нескольких слоев и их синхронизации  |
| Стоимость внедрения                                   | 35–50 млн рублей [11, 12]                | 55–70 млн рублей (доп. расходы на шлюзы и токенизацию) [11, 12]          |
| Окупаемость                                           | От 3 до 4 лет                            | 2–3 года при наличии внешних инвестиций или токенизации                  |
| Гибкость архитектуры                                  | Жестко централизована                    | Гибкая, модульная, поддержка мультиформатных протоколов                  |
| Обеспечение соответствия требованиям ФСБ, ФСТЭК и др. | Упрощенное                               | Усложнено, необходима граница разделения и сертифицированные шлюзы       |
| Поддержка токенизации                                 | Нет                                      | Да: NFT, ЦФА, служебные токены                                           |
| Потенциал для привлечения средств                     | Только через традиционные механизмы      | Возможность привлечения частных инвестиций через децентрализованный фонд |

Табл. 2. Сравнение приватной и гибридной блокчейн-архитектуры.  
Источник: составлено автором по результатам проведенного исследования



Организационно-правовые аспекты

В целях обеспечения правовой значимости действий, совершаемых в блокчейн-среде, требуется:

- использование квалифицированной электронной подписи и сертифицированной отметки времени;
- проведение криптографического и юридического аудита логики смарт-контрактов;
- формализация взаимодействий между участниками в виде юридически значимых соглашений, регламентов и стандартов;
- при необходимости – регистрация участника как оператора цифровой финансовой платформы либо интеграция с действующими операторами (Сбер, ВТБ, ВЭБ.РФ и др.).

Сценарии применения гибридной блокчейн-платформы в РКО

Гибридная блокчейн-архитектура позволяет реализовать в РКО как внутренние процессы управления (на приватном уровне), так и публичные механизмы взаимодействия с внешними инвесторами, подрядчиками и государственными структурами (через публичный слой). Ниже представлены гипотетические сценарии применения данной технологической инновации (табл. 3).

1. Управление НИОКР и инженерными данными.

**Проблема:** разрозненные системы хранения данных НИОКР, отсутствие доверенного механизма фиксации промежуточных результатов, вероятность потери или споров об авторстве.

**Решение:** внутри корпоративной блокчейн-сети фикси-

руются этапы НИОКР, прикладываются хэши цифровых моделей, алгоритмов, технических заданий. Используется квалифицированная электронная подпись и отметка времени. В случае необходимости, публикация в публичной сети хэша доказательства авторства (например, в TON или Waves).

**Результат:** повышение защищенности интеллектуальной собственности, упрощение подтверждения при патентовании, возможность токенизации прав на результат.

2. Управление кооперацией и цепочками поставок.

**Проблема:** низкая отслеживаемость компонентов, задержки и ошибки в документообороте между подрядчиками.

**Решение:** внедрение децентрализованной системы отслеживания поставок, где каждый участник фиксирует этапы производства, серийные номера и сертификаты в корпоративном блокчейне. Хэши отправляются в публичную сеть для верификации.

**Результат:** полная отслеживаемость жизненного цикла изделий, устранение бумажного документооборота, возможность быстрой верификации при приемке.

3. Цифровой контрактинг в сфере государственного оборонного заказа.

**Проблема:** контракты по ГОЗ сопровождаются сложным контролем исполнения, бумажной отчетностью и ручными сверками.

**Решение:** контракты заключаются в виде смарт-контрактов, фиксируются в приватной сети с использованием квалифицированной электронной подписи. Каждое действие по контракту (например, получение детали, подписание

| Сценарий применения | Приватный слой      | Публичный слой                  | Эффект                               |
|---------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| Управление НИОКР    | Защита ИС, фиксация | Хэш-публикации                  | Авторство, верификация, патентование |
| Цепочки поставок    | Слежение, контроль  | Верификация поставок            | Прослеживаемость, сокращение сроков  |
| Контракты и ГОЗ     | Смарт-контракты     | Отчетность                      | Ускорение контроля и исполнений      |
| Инвестиции и ЦФА    | Экспертиза, KPI     | Токенизация, консенсус-протокол | Привлечение внебюджетных средств     |
| Цифровые двойники   | ЖЦ изделия, ревизии | Хэши и контроль версий          | Надежность и машинная интерпретация  |

Табл. 3. Сводная таблица сценариев.  
Источник: составлено автором по результатам проведенного исследования

акта, передача документа) автоматически заносится в журнал внутри блокчейн-сети с точной меткой времени, идентификатором исполнителя и результатом. При необходимости возможно открытие части данных для заказчика через публичный слой.

**Результат:** повышение прозрачности и подотчетности, снижение рисков коррупции и подделок, ускорение согласований и приемки.

#### 4. Инвестплатформа и токенизация проектов [4].

**Проблема:** ракетно-космическая отрасль обладает высоким инвестиционным потенциалом, особенно в сегментах технологий двойного назначения, гражданского космоса, спутниковой связи, материаловедения и ИИ. Однако доступ к инвестиционным ресурсам за пределами ГОЗ остается ограниченным. Финансирование НИОКР и пилотных проектов требует сложного согласования, а традиционные каналы (банки, бюджетные фонды) не готовы работать с высокорисковыми технологиями на ранних стадиях. К тому же в отрасли отсутствуют технологические механизмы открытого инвестирования, позволяющие привлекать капитал частных и институциональных участников прозрачно, гибко и без посредников.

**Решение:** создание цифровой инвестиционной платформы, функционирующей на основе гибридной блокчейн-архитектуры. Такая платформа будет включать:

- Корпоративный уровень – для экспертизы, верификации проектов, оценки рисков и управления ключевыми метриками эффективности (KPI). Доступ к этому уровню имеют Роскосмос, научно-технические советы, сертифицированные эксперты.
- Публичный инвестиционный уровень – для выпуска токенов, которые могут представлять:
  - долю участия в проекте;
  - цифровой финансовый актив (ЦФА);
  - NFT, отражающий право на результат или статус;
  - цифровой облигационный инструмент.
- Смарт-контракты – для автоматизированного распределения долей, прибыли, дивидендов, исполнения KPI и обратного выкупа токенов.
- KYC-процедуры и правовую верификацию – для

допуска только проверенных инвесторов и исключения правовых рисков.

#### Результат:

- Прозрачное привлечение финансирования: каждый шаг проекта от заявки до расходования средств фиксируется в блокчейн-сети, доступен для аудита и сопровождается смарт-контрактом.
- Участие частных инвесторов и госструктур: в финансировании могут участвовать как физические и юридические лица, так и госструктуры, такие как Минпромторг, Минобрнауки, Минцифры, Минэкономразвития, Роскосмос, выступающие как соинвесторы или инициаторы отбора проектов.
- Возможность выхода на вторичный рынок: токены проектов могут быть передаваемы, реализуемы или переуступаемы в рамках регулируемой платформы ЦФА или через процедуры, предусмотренные в рамках протоколов консенсуса, что позволяет создать оборот цифровых прав без необходимости классической биржевой инфраструктуры.

#### 5. Управление цифровыми двойниками и сопровождение изделий.

**Проблема:** несогласованность версий цифровых моделей и документации, отсутствие единого доверенного источника данных о жизненном цикле (ЖЦ) изделия.

**Решение:** хранение и регистрация всех версий цифрового двойника в блокчейн-сети. Верификация изменений, привязка к смарт-контрактам поставки, технического обслуживания, утилизации.

**Результат:** единая цифровая нить для сложных изделий, упрощение технического сопровождения, возможность машинной аналитики в будущем.

#### Оценка затрат на разработку и внедрение приватной сети и сети с гибридной архитектурой

Реализация таких проектов сопряжена с существенными затратами, требующими тщательного планирования и обоснования. Согласно аналитическим данным [11, 12], структура расходов на запуск блокчейн-платформ двух видов можно оценить, как представлено в табл. 4.

| Статья затрат               | Приватная архитектура, млн рублей | Гибридная сеть, млн рублей |
|-----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Разработка и настройка сети | 20                                | 25                         |
| Инфраструктура и лицензии   | 8                                 | 10                         |

| Статья затрат                                  | Приватная архитектура, млн рублей | Гибридная сеть, млн рублей |
|------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Интеграция с внутренними системами предприятия | 5                                 | 6                          |
| Подключение публичного уровня                  | -                                 | 6                          |
| Информационная безопасность (сертификация)     | 2                                 | 3                          |
| Обучение и сопровождение                       | 3                                 | 4                          |
| Итого                                          | ≈38                               | ≈54                        |

Табл. 4. Оценка затрат на разработку двух типов блокчейн-сетей.  
Источник: составлено автором по результатам проведенного исследования

Заключение

Приватная архитектура более проста в реализации и подходит для строго защищенных процессов (работы с информацией ограниченного распространения), но ограничена в возможностях взаимодействия, масштабирования и коммерциализации. Гибридная архитектура, несмотря на более высокие стартовые затраты, предоставляет стратегические преимущества: прозрачность, гибкость, возможности токенизации, интеграции с внешними сервисами, что особенно важно в современных реалиях цифровой трансформации. При наличии проектов с эле-

ментами НИОКР, открытых данных, маркетингового сопровождения или привлечения внебюджетных средств гибридный подход оптимален. Таким образом, для закрытых систем (внутри предприятий или госкорпорации) целесообразно использовать моноархитектуру, а для проектов с инвестиционной или коммерческой частью – применять гибридную модель. В этом случае важно учитывать юридическую связку между слоями, включая электронную подпись, сертифицированные каналы связи и правовой статус смарт-контрактов.

Список литературы

1. Полуэктов Р. М. О перспективах применения блокчейн-технологии в ракетно-космической отрасли / Р. М. Полуэктов. – Текст: непосредственный // Экономика космоса. – 2023. – Т. 2, № 3 (5). – С. 58–69. – DOI 10.48612/agat/space\_economics/2023.02.05.06.

2. Авдийский В. И. Взаимосвязь цифрового суверенитета и цифрового пространства: новые вызовы и перспективы / В. И. Авдийский, А. В. Иванов, А. В. Царегородцев. – Текст: непосредственный // Вестник евразийской науки. – 2024. – Т. 16, № S3. – С. 21.

3. Янг Р. Публичный и частный блокчейн в создании бизнес-процессов и информационной интеграции / Р. Янг, Р. Уэйкфилд, С. Лю и др. – Текст: непосредственный // Автоматизация в конструировании. – 2020. – Т. 118. – С. 103276. – DOI 10.1016/j.autcon.2020.103276.

4. Полуэктов Р. М. Концепция децентрализованного инвестиционного фонда в ракетно-космической отрасли на базе блокчейн-технологии / Р. М. Полуэктов, Д. Ю. Иванов. – Текст: непосредственный // Экономика космоса. – 2024. – Т. 3, № 3 (9). – С. 19–28. – DOI 10.48612/agat/space\_economics/2024.03.09.03.
5. Мельников М. О. Консенсус-алгоритмы в блокчейн-системах / М. О. Мельников. – Текст: непосредственный // Современные методы прикладной математики, теории управления и компьютерных технологий (ПМТУКТ-2023): сборник трудов Международной научной конференции, Воронеж, 04–06 декабря 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный педагогический университет, 2023. – С. 56–58.
6. Кириличев А. Ю. Концепция blockchain сети confblock: экономическая выгода по сравнению с Hyperledger Fabric / А. Ю. Кириличев. – Текст: непосредственный // Инновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности: Сборник научных статей IV международной научной конференции, Волгоград, 22–23 апреля 2021 года. Часть 2. – Волгоград: ООО «КОНВЕРТ», 2021. – С. 111–113.
7. Лавреница Е. В. Сравнительная характеристика платформ Ethereum, Hyperledger Fabric и R3 Corda. От Ethereum к «Мастерчейн» / Е. В. Лавреница. – Текст: непосредственный // Сборник трудов VII Конгресса молодых ученых, Санкт-Петербург, 17–20 апреля 2018 года. Том 2. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2018. – С. 137–143.
8. Фернандо Е. Технология блокчейн для отслеживания лекарств с помощью многоцепочечной платформы: метод моделирования / Е. Фернандо, Мэйлиана, Х. Л. Х. Спитс Варнарс, Е. Абдурахман. – Текст: непосредственный // Достижения в области науки, техники и инженерных систем. – 2021. – Т. 6, № 1. – С. 765–769. – DOI 10.25046/aj060184.
9. Оцоков Ш. А. О возможности применения блокчейн-платформы Quorum для организации взаиморасчетов между поставщиками и потребителями услуг / Ш. А. Оцоков, Д. В. Шибитов, Н. Г. Бабак. – Текст: непосредственный // Экономика и предпринимательство. – 2023. – № 1 (150). – С. 717–722. – DOI 10.34925/EIP.2023.150.1.142.
10. Ионенко П. Т. Решение социально-экономических проблем с помощью инновационной технологии мастерчейн / П. Т. Ионенко. – Текст: непосредственный // Взгляд поколения XXI века на будущее цифровой экономики: сборник статей преподавателей IX Международной научно-практической конференции «Современная экономика: концепции и модели инновационного развития», Москва, 15–16 февраля 2018 года. – М.: Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, 2018. – С. 177–182.
11. Надь П. Систематический обзор литературы О стоимости частной технологии блокчейн для предприятий / П. Надь, А. С. Надь. – Текст: непосредственный // Экономика. – 2024. – Т. 15, № 3-4. – С. 22–33. – DOI 10.47282/economica/2024/15/3-4/14283.
12. Авасти П. Отслеживаемость с использованием блокчейна – Анализ ценообразования и принятия решений по отслеживанию усилий в цепочках поставок / П. Авасти, Т. Халдар, Д. Гош. – Текст: непосредственный // Европейский журнал операционных исследований. – 2024. – Т. 321, № 3. – С. 760–774. – DOI 10.1016/j.ejor.2024.10.019.

#### List of literature

1. Poluektov R. M. About prospects of using blockchain technology in the rocket and space industry / R. M. Poluektov. – Text: direct // Space economics. – 2023. – Vol. 2, № 3 (5). – pp. 58–69. – DOI 10.48612/agat/space\_economics/2023.02.05.06.
2. Avdiysky V. I. Interrelation of digital sovereignty and digital space: new challenges and prospects / V. I. Avdiysky, A. V. Ivanov, A. V. Tsaregorodtsev. – Text: direct // Bulletin of Eurasian science. – 2024. – Vol. 16, № S3. – p. 21.
3. Yang R. Public and private blockchain in construction business process and information integration / R. Yang, R. Wakefield, S. Lyu [et al.]. – Text: direct // Automation in Construction. – 2020. – Vol. 118. – p. 103276. – DOI 10.1016/j.autcon.2020.103276.
4. Poluektov R. M. Concept of a decentralized investment fund in the rocket and space industry based on blockchain technology / R. M. Poluektov, D. Y. Ivanov. – Text: direct // Space economics. – 2024. – Vol. 3, № 3 (9). – pp. 19–28. – DOI 10.48612/agat/space\_economics/2024.03.09.03.
5. Melnikov M. O. Consensus algorithms in blockchain systems / M. O. Melnikov. – Text: direct // Modern methods of applied mathematics, management theory and computer technology (2023): a collection of works of the International Scientific Conference, Voronezh, December 04–06, 2023. – Voronezh: Voronezh State Pedagogical University, 2023. – pp. 56–58.
6. Kirilichev A. Y. Concept Blockchain Confblock Network: Economic benefits compared to Hyperledger Fabric / A. Y. Kirilichev. – Text: direct // Innovative technologies, economics and management in industry: a collection of scientific articles of the IV International Scientific Conference, Volgograd, April 22–23, 2021. Part 2. – Volgograd: Limited Liability Company “Convert”, 2021. – pp. 111–113.
7. Lavrenica E. V. Comparative characteristics of Ethereum platforms, Hyperledger Fabric and R3 Corda. From Ethereum to “Masterchain” / E. V. Lavrenica. – Text: direct // Collection of works of the VII Congress of young scientists, St. Petersburg, April 17–20, 2018. Volume 2. – St. Petersburg: ITMO University, 2018. – pp. 137–143.
8. Fernando E. Blockchain technology for tracing drug with a multichain platform: simulation method / E. Fernando, Meyliana, H. L. H. Spits Warnars, E. Abdurachman. – Text: direct // Advances in Science, Technology and Engineering Systems. – 2021. – Vol. 6, № 1. – pp. 765–769. – DOI 10.25046/aj060184.
9. Otsokov S. A. On the possibility of using the QUORUM blockchain platform to organize mutual settlements between suppliers and

consumers of services / S. A. Otsokov, D.V. Shibitov, N. G. Babak. – Text: direct // Economics and Entrepreneurship. – 2023. – № 1 (150). – pp. 717–722. – DOI 10.34925/EIP.2023.150.1.142.

10. Ionenko P. T. The solution of socio-economic problems with the help of innovative technology of the Masterchain / P. T. Ionenko. – Text: direct // The view of generation of the 21st century for the future of the digital economy: a collection of articles by teachers of the IX International Scientific and Practical Conference “Modern Economics: concepts and models of innovative development”, Moscow, February 15–16, 2018. – M.: Russian Economic University named after G.V. Plekhanova, 2018. – pp. 177–182.

11. Nagy P. SLR About the costs of private blockchain technology for businesses / P. Nagy, A. S. Nagy // Economica. – 2024. – Vol. 15, № 3-4. – pp. 22–33. – DOI 10.47282/economica/2024/15/3-4/14283.

12. Awasthy P. Blockchain enabled traceability – An analysis of pricing and traceability effort decisions in supply chains / P. Awasthy, T. Haldar, D. Ghosh. – Text: direct // European Journal of Operational Research. – 2024. – Vol. 321, № 3. – pp. 760–774. – DOI 10.1016/j.ejor.2024.10.019.

Рукопись получена: 22.05.2025

Рукопись одобрена: 19.06.2025