

Бондаренко Владимир Владимирович

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева

Шарипов Рифат Рашатович

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева - КАИ

Олин Роман Александрович

Самарский государственный экономический университет

Блокчейн как инфраструктура доверия для автономных агентов

Аннотация. В статье рассматривается трансформация цифровой среды под влиянием автономных агентов, способных самостоятельно взаимодействовать с сервисами, инициировать операции и участвовать в экономических отношениях. Распространение агентных систем требует формирования доверенной инфраструктуры, обеспечивающей проверяемость происхождения агента, подтверждение полномочий и прослеживаемость действий. Репутация может рассматриваться как вычисляемый показатель, основанный на истории действий, качестве исполнения и подтверждённых результатах. Развитие автономных агентов способно привести к формированию более управляемой цифровой экономики, в которой доверие обеспечивается прозрачностью операций и программируемыми механизмами расчётов.

Ключевые слова: автономные агенты, искусственный интеллект, блокчейн, смарт-контракты, репутация агентов, токенизация ресурсов, машинные платежи, цифровая валюта центрального банка, CBDC, робономика, цифровая экономика.

Bondarenko Vladimir Vladimirovich

Samara National Research University

Sharipov Rifat Rashatovich

Kazan National Research Technical University

Olin Roman Alexandrovich

Samara State University of Economics

Blockchain as a trust infrastructure for autonomous agents

Annotation. The article examines the transformation of the digital environment under the influence of autonomous agents capable of independently interacting with services, initiating operations, and participating in economic relations. The spread of agent-based systems requires the formation of a trusted infrastructure that ensures the verifiability of an agent's origin, the confirmation of authority, and the traceability of actions. Reputation may be considered a computable indicator based on the history of actions, quality of execution, and confirmed results. The development of autonomous agents may lead to the formation of a more manageable digital economy, in which trust is ensured by the transparency of operations and programmable settlement mechanisms.

Keywords: autonomous agents, artificial intelligence, blockchain, smart contracts, agent reputation, resource tokenization, machine payments, central bank digital currency, CBDC, robonomics, digital economy.

Сеть Интернет, сформированная вокруг человека как главного участника цифрового обмена, постепенно утрачивает прежнюю антропоцентричную природу, превращаясь в среду взаимодействия автономных программных субъектов, действующих поверх

построенной информационной инфраструктуры в виде сайтов, прикладных интерфейсов, платёжных контуров и различных сервисов. Поисковая активность, ранее связанная с ручными запросами пользователей, в настоящее время переходит к агентным системам, извлекающим сведения из распределённых источников, оценивающим достоверность полученных материалов и формирующим результат самостоятельно спланированных действий. [1] Возникающая архитектура машинного взаимодействия меняет природу Сети, поскольку обращение к ресурсам приобретает форму автоматизированного многошагового процесса, включающего использование дополнительных инструментов для наиболее эффективного исполнения поручения. [2] Цифровая среда, насыщенная автономными агентами, начинает функционировать как инфраструктура, в которой программные субъекты способны самостоятельно запрашивать коммерческие предложения, анализировать условия сделок, инициировать оплату и фиксировать исполнение обязательств. Прежняя модель Интернета, основанная на визуальном интерфейсе и человеческом внимании, дополняется машинным слоем, работающим через протоколы, смарт-контракты и автоматизированные механизмы компьютерного зрения. Расширение агентной активности приводит к изменению экономической роли интернет-инфраструктуры, поскольку значительная доля сетевых операций начинает выполняться ради достижения целей, заданных формализованным поручением вычислительной системе. В такой среде основной целью цифрового узла становится способность быть понятным для машин, поддерживать автоматическую авторизацию и допускать исполнение транзакций без ручного сопровождения. Сетевое пространство, проектировавшееся как совокупность документов и сервисов для человеческого восприятия, постепенно преобразуется в экосистему агентного взаимодействия, внутри которой цифровые автономные исполнители получают возможность действовать как самостоятельные экономические участники, связывая поиск, анализ и принятие решений в единую цепь машинной активности. Данный переход означает перераспределение функций между оператором и автоматизированной системой, при котором человек задаёт цель, пределы полномочий и критерии допустимого результата, тогда как агент берёт на себя полное исполнение задачи, снижая транзакционные издержки и ускоряя выполнение повторяемых операций. [3] Формирование агентной цифровой среды является фундаментальным условием для последующего развития робономики, поскольку автономные программы создают основу для экономики, где машинная активность получит институциональное признание.

Одним из ограничений распространения автономных агентов является дефицит доверия, поскольку передача права на выполнение действий требует доказательства подлинности источника. [4] В распределённой цифровой среде идентификатор агента должен подтверждать происхождение программного субъекта, исключая подделки, перехват операций или извлечение закрытых сведений. [5] Полномочия участника задают пределы допустимого поведения, разрешённые операции и возможные последствия. Команда передаваемая автономному агенту, требует подтверждения подлинности, криптографического подтверждения намерения владельца и отсутствия скрытого изменения инструкции на пути между постановкой задачи и исполнением. Подтверждённое происхождение данных необходимо для надёжного взаимодействия, поскольку искажённая информация способна привести к операции ошибочной и спорной по смыслу. При автоматизированном исполнении первоначальная неточность быстро закрепляется в связанных процессах и является основанием для последующих действий, увеличивая масштаб возможного ущерба. [6] Трудно однозначно установить ответственность за действия автономного агента, поскольку на результат влияют качество программной модели, настройки инфраструктуры и достоверность использованных сведений. При отсутствии проверяемого журнала событий становится затруднительным установление момента возникновения ошибки и источника вредного распоряжения. Агентная среда нуждается в механизме, связывающем цифровую личность исполнителя и прослеживаемость последствий в единую процедуру доверенного взаимодействия. [7]

Блокчейн выступает надёжным слоем доверия, переводя подтверждение значимых состояний в формально проверяемые процедуры, защищённые криптографией. Распределённая архитектура устраняет зависимость от единого центра контроля, заменяя вертикальную иерархическую модель горизонтальным порядком валидации, при котором достоверность записи обеспечивается совпадением вычислительных результатов, подтверждённых независимыми узлами. [8] Запись, внесённая в распределённый реестр, приобретает статус проверяемого цифрового атрибута, закрепляя содержание совершённого действия и состояние сети, предшествовавшее новой операции. В агентной экономике удостоверение результатов на основе блокчейна снижает зависимость автономных программных субъектов от посредников и ручного подтверждения. Фиксируя состояния, блокчейн снижает неопределённость, возникающую при делегировании полномочий и автоматизированном исполнении обязательств с помощью смарт-контрактов. [9] Неизменяемый характер внесённых сведений формирует ретроспективную проверяемость сетевого обмена, позволяя восстановить причинную связь между источником решения и наступившим результатом. [10] Криптографическая подпись придаёт действию автономного агента доверенный статус, консенсусный механизм создаёт порядок, при котором признание записи основано на соблюдении единой процедуры подтверждения всей децентрализованной сетью. [11]

Автономного агента следует рассматривать как программно-экономического участника, способного действовать в пределах заданных прав, оставляя проверяемый след выполненных операций. [12] Архитектура должна включать надёжную идентификацию, поскольку агент должен быть связан с определённым владельцем. Без ясного происхождения невозможно понять, кто запустил действие, на каком основании была передана команда и кому принадлежит результат совершённой операции. Собственный электронный кошелек позволит агенту работать с заранее выделенным лимитом средств, рассчитанным на выполнение конкретной задачи. Режим доступа определяет границы поведения, отделяя разрешённые действия от операций, требующих дополнительного подтверждения со стороны владельца или внешней системы контроля. Для сохранения управляемости каждое значимое действие должно попадать в журнал, фиксирующий полученную команду, принятое решение и итог исполнения в форме, пригодной для последующей автоматической проверки. [13] Работа с данными образует отдельный контур агентной архитектуры, самостоятельное выполнение поручения требует обращения к источникам, качество которых влияет на правильность последующих действий. [14] Механизм исполнения связывает аналитическую часть агента с практическим результатом в виде запроса к сервису, записи в блокчейн, платёжной операции или изменении состояния. Автономный агент становится цифровым представителем человека, выполняющим поручения в заданных технических, экономических и организационных рамках. Доверенная инфраструктура необходима для создания контролируемой среды машинного участия в цифровой экономике.

Децентрализованные идентификаторы (Decentralized Identifier, DID) необходимы автономным агентам для полноценного участия в цифровой среде, где выполнение поручений должно быть связано с проверяемым происхождением исполнителя. За агентом закрепляется постоянное удостоверение, не зависящее от учётной записи конкретной платформы и предоставляющее надёжную верификацию при обращении к различным сервисам. Благодаря идентификатору агент получает цифровое подтверждение собственной легитимности перед внешними участниками. Проверяемые учётные данные дополняются персонализированной информацией, подтверждая назначение агента, выданные полномочия и связь с владельцем или организацией, передавшей право на выполнение определённых действий. Криптографическая подпись связывает каждую значимую операцию с цифровым идентификатором, позволяя отличить подлинные команды от сообщений, изменённых злоумышленником. Автономные агенты начинают вступать во взаимодействие без постоянного участия человека, запрашивая данные, обращаясь к

сервисам и инициируя операции от имени владельца. Без децентрализованной идентичности такой агент остаётся трудно проверяемым программным процессом, доверие к которому зависит от централизованной платформы или внутреннего реестра отдельной организации, которые могут быть скомпрометированы. Использование DID, проверяемых учётных данных и криптографических подписей создаёт более устойчивую основу для машинного взаимодействия. [15]

В агентной экономике доверие между незнакомыми участниками формируется через репутацию, зависящую от проверяемого поведения и закрепляемую в цифровой среде, пригодной для последующего аудита. Выполненные поручения оставляют след, показывающий точность соблюдения условий и достижение подтверждённого результата. Накопленная история влияет на допуск агента к ответственным операциям и готовность контрагентов вступать в последующее взаимодействие. [16] Регулярное выполнение обязательств повышает ожидаемую надёжность. Зафиксированные нарушения снижают доверие к будущим действиям, ограничивая участие в более значимых процессах. Репутация становится вычисляемым показателем, используемым при выборе исполнителя и согласовании задач. [17] Смарт-контракты дополняют репутационный механизм машиночитаемыми соглашениями, задающими условия и подтверждающими результат. [18] При достижении заданного состояния запускается предусмотренная операция в пределах установленного сценария. Репутация отражает исторические данные надёжности агента, смарт-контракт в свою очередь задаёт проверяемый порядок текущих обязательств, трансформируя машинное взаимодействие в предсказуемый и экономически управляемый процесс.

Классический блокчейн, построенный вокруг последовательного включения операций в линейную цепочку блоков, сталкивается с естественными ограничениями при переходе к высокочастотному взаимодействию автономных агентов. Машинная среда создаёт поток мелких действий, возникающих быстрее, чем распределённая сеть успевает согласовывать новое состояние реестра и доводить транзакцию до окончательного признания. [19] Интервал между блоками, конкуренция за место в блокчейне и необходимость подтверждения операции несколькими участниками увеличивают время ожидания результата, снижая пригодность линейной архитектуры для сценариев, требующих почти непрерывного обмена. Размеры комиссий существенно возрастают при перегрузке сети, превращая машинное взаимодействие в экономически невыгодные операции и ограничивая применение блокчейна там, где агентам требуется часто оплачивать доступ к данным, вычислительным ресурсам и цифровым сервисам. Массовое участие автономных агентов усиливает проблему масштабируемости, поскольку каждый агент порождает множество запросов, фиксируя промежуточные состояния и требуя быстрой проверки результата. [20] Направленный ациклический граф (Directed Acyclic Graph, DAG) предлагает иную организацию доверенной записи вместо строгой очереди блоков и допускающую параллельное внесение данных в децентрализованный реестр. В архитектуре DAG новая операция связывается с уже существующими записями, подтверждая предшествующие события и одновременно становясь основанием для последующей валидации. Параллельная обработка снижает зависимость пропускной способности от определённого времени создания блока, позволяя распределённой системе лучше соответствовать активному агентному взаимодействию. [21] Микроплатежи, обращения к сервисам и подтверждение результатов могут выполняться без ожидания включения в общий линейный порядок, DAG создаёт более гибкую технологическую основу недоступную при использовании классического линейного блокчейна.

По мере перехода автономных агентов к практическому исполнению поручений возникает потребность в форме учёта, позволяющей оплачивать каждый полезный фрагмент потреблённого ресурса. Токенизация решает эту задачу, превращая право на использование ресурса в цифровой товар, пригодный для автоматической передачи, проверки и погашения при совершении операции. Пропускная способность сети становится

самостоятельным объектом расчёта, позволяя оплачивать передачу сведений в зависимости от фактического использования канала. Доступ к датчику, роботизированному модулю или промышленному устройству также может быть представлен через токен, закрепляющий право на ограниченное обращение к физической инфраструктуре. Необходима микроплатёжная инфраструктура для большинства машинных действий, имеющих малую стоимость, высокую частоту и тесную связь с техническим процессом. [22] Агенту требуется возможность немедленно оплачивать услуги без ожидания ручного согласования и последующего выставления счёта при этом система сохраняет непрерывность исполнения задачи, не выходя за пределы заданного бюджета. Токены и микроплатежи образуют расчётный контур агентной экономики, в рамках которого потребление ресурса связывается непосредственно с машинным действием.

Платёжный контур автономных систем должен связывать финансовое действие с фактом выполнения поручения без вынесения расчёта в отдельную процедуру. Программируемый платёж позволяет заранее закрепить условие списания средств, допустимый предел расходов и основание для перевода стоимости после подтверждения результата. Встроенный расчёт делает транзакцию частью коммуникаций, придавая оплате техническую связь с использованием ресурса, получением услуги или завершением машинного действия. Кошелёк автономного агента выступает управляемым финансовым инструментом, через который выполняются операции в пределах выданных полномочий. Автоматический клиринг согласует встречные требования между участниками цифрового обмена, сокращая временной разрыв между возникновением обязательства и окончательным исполнением расчёта. В робоэкономике также могут использоваться цифровые валюты центральных банков (Central Bank Digital Currency, CBDC), способные обеспечить машинные платежи, совместимые с регулированием, надзором и юридическим признанием операций. Налоговый учёт при использовании цифровой валюты может связываться с подтверждённой машинной операцией, сокращая время между хозяйственным действием и фискальной фиксацией результата. [23]

Развитие автономных агентов открывает возможность формирования более точной и управляемой цифровой экономики, в которой значительная часть повторяемых операций будет выполняться цифровыми работниками. Доверенная цифровая среда позволит связать все компоненты робоэкономике в единую систему взаимодействия между людьми, организациями, роботами и интеллектуальными сервисами. Цифровая среда постепенно может превратиться из совокупности разрозненных сервисов в целостное пространство хозяйственной координации, поддерживающее производственные, финансовые и управленческие процессы с меньшими потерями времени и меньшей зависимостью от ручного сопровождения.

Список источников

1. Федина, М. Е. Использование автономных интеллектуальных агентов для персонализации образовательных траекторий / М. Е. Федина, В. Ю. Живцов, Е. О. Манякова // Математика и математическое моделирование : материалы III Всероссийской научной конференции, Самара, 20–21 ноября 2025 года. – Самара: Самарама, 2026. – С. 170-174. – EDN ZRKZXX.

2. Анализ методов эмерджентного искусственного интеллекта / К. В. Портнов, Б. Э. Забержинский, Р. Р. Габбасов, К. А. Агафонов // Актуальные проблемы общества, экономики и права в контексте глобальных вызовов : сборник материалов XX Международной научно-практической конференции., Москва, 17 мая 2023 года. Том Часть 2. – Санкт-Петербург: Печатный цех, 2023. – С. 30-36. – EDN GVVLER.

3. Воропаева, Н. В. Декомпозиция разнотемповых дискретных систем управления / Н. В. Воропаева, В. А. Соболев // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2004. – № 8. – С. 2-6. – EDN KMMQPJ.

4. Шиверов, П. К. Доверие в контексте анализа стойкости протоколов аутентификации / П. К. Шиверов, Т. Г. Новосад, М. Н. Осипов // Ползуновский вестник. – 2014. – № 2. – С. 248-250. – EDN SYNZJZ.

5. Бурлаков, М. Е. Акустические и виброакустические каналы утечки информации. Теоретические основы и базовый практикум / М. Е. Бурлаков, М. Н. Осипов. – Самара : Самарский национальный исследовательский университет им. акад. С.П. Королева, 2021. – 96 с. – ISBN 978-5-7883-1659-8. – EDN FJVXUU.

6. Елисеев, Е. Э. Разработка адаптивного алгоритма оценки эффективности систем обнаружения вторжений для предотвращения web-угроз / Е. Э. Елисеев, М. Е. Бурлаков, М. Н. Осипов // Математическое и компьютерное моделирование : Сборник материалов IX Международной научной конференции, посвященной 85-летию профессора В.И. Потапова, Омск, 19 ноября 2021 года. – Омск: Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, 2021. – С. 285-287. – EDN IQCIIN.

7. Артамонов, В. А. Обеспечение доверия при децентрализованном взаимодействии автономных агентов / В. А. Артамонов, В. Ю. Живцов // Кибернетика и информационная безопасность "КИБ-2025" : Сборник научных трудов Третьей Всероссийской научно-технической конференции. В 2-х томах, Москва, 03–04 декабря 2025 года. – Москва: Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, 2025. – С. 114-115. – EDN GXYSR.

8. Novikov, S. Y. Boundary spaces for inclusion map between rearrangement invariant spaces / S. Y. Novikov // Collectanea Mathematica. – 1993. – Vol. 44, No. 1-3. – P. 211-216. – EDN XJBRTG.

9. Бондаренко, В. В. Применение методов математического и функционального анализа для исследования смарт-контрактов / В. В. Бондаренко, В. Ю. Живцов, Е. О. Манякова // Математика и математическое моделирование : материалы III Всероссийской научной конференции, Самара, 20–21 ноября 2025 года. – Самара: Самарама, 2026. – С. 44-48. – EDN NYMOFM.

10. Новиков, С. Я. Полные системы в задачах восстановления сигнала / С. Я. Новиков, М. Е. Федина // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2015) : труды Международной научно-технической конференции, Самара, 28–30 апреля 2015 года / СГАУ. Том 1. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2015. – С. 280-284. – EDN TZIJDP.

11. Novikov, S. Y. Singularities of embedding operators between symmetric function spaces on $[0, 1]$ / S. Y. Novikov // Mathematical Notes. – 1997. – Vol. 62, No. 4. – P. 457-468. – DOI 10.1007/bf02358979. – EDN RQJYMB.

12. Влияние стандартизации процессов разработки ПО на достижимость конечного результата / К. В. Портнов, Б. Э. Забержинский, Г. В. Аванесян [и др.] // Актуальные проблемы общества, экономики и права в контексте глобальных вызовов : сборник материалов XX Международной научно-практической конференции., Москва, 17 мая 2023 года. Том Часть 2. – Санкт-Петербург: Печатный цех, 2023. – С. 19-23. – EDN MHRKKY.

13. Автоматизированный комплекс определения форм и частотных характеристик собственных колебаний / М. Н. Осипов, Н. А. Шарафутдинов, Ю. Д. Щеглов [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17, № 2-5. – С. 1072-1075. – EDN VOCBZL.

14. Ermolina, L. V. Digital Twins as a Method of Risk Management Transformation / L. V. Ermolina, A. M. Zinovyev, D. A. Melnikova // Digital Technologies in the New Socio-Economic Reality. Lecture Notes in Networks and Systems, Samara, 27–29 апреля 2021 года. – Samara: Springer Nature, 2022. – P. 451-457. – DOI 10.1007/978-3-030-83175-2_56. – EDN MYJNIB.

15. Новиков, С. Я. Котип и тип функциональных пространств Лоренца / С. Я. Новиков // Математические заметки. – 1982. – Т. 32, № 2. – С. 213-221. – EDN MYFHMD.

16. Ермолина, Л. В. Место и роль оценки стратегической эффективности в процессе управления предприятием / Л. В. Ермолина // Вестник Самарского государственного

университета. Серия: Экономика и управление. – 2013. – № 7(108). – С. 30-36. – EDN RPBMXL.

17. Ермолина, Л. В. Анализ тенденции применения инновационных подходов в современном менеджменте / Л. В. Ермолина, Д. А. Мельникова, Ю. В. Левашова // Экономика и предпринимательство. – 2021. – № 10(135). – С. 761-764. – DOI 10.34925/EIP.2021.135.10.145. – EDN HYNHNF.

18. Каримов, Б. Ф. Проблемы адаптации генетических алгоритмов к решению задач структурно-параметрической оптимизации / Б. Ф. Каримов, К. В. Портнов // Современные исследования: теория, практика, результаты : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Москва, 29 декабря 2023 года. – Москва: Центр развития образования и науки, ООО "Издательство АЛЕФ", 2023. – С. 443-448. – DOI 10.26118/1590.2023.63.10.010. – EDN PUGPKI.

19. Воропаева, Н. В. Декомпозиция задач управления для разнотемповых систем с дискретным временем / Н. В. Воропаева // XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014, Москва, 16–19 июля 2014 года / Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 842-848. – EDN SSIATB.

20. Воропаева, Н. В. Декомпозиция разнотемповых динамических систем со слабой диссипацией / Н. В. Воропаева // Вестник Самарского государственного университета. Естественнонаучная серия. – 2013. – № 9-2(110). – С. 5-10. – EDN RXWIDB.

21. Об одной модели динамического управления потоком данных в радиоканале / В. П. Цветов, Г. И. Леонович, С. Я. Новиков [и др.] // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2015) : труды Международной научно-технической конференции, Самара, 28–30 апреля 2015 года / СГАУ. Том 1. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2015. – С. 299-302. – EDN TZIJFN.

22. Новиков, С. Я. Полные системы в задачах восстановления сигнала / С. Я. Новиков, М. Е. Федина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17, № 2-5. – С. 1069-1071. – EDN VOCBYR.

23. Харитонов, Е. В. Детектирование уязвимостей на основе графовых нейронных сетей / Е. В. Харитонов, В. Ю. Живцов // Кибернетика и информационная безопасность "КИБ-2025" : Сборник научных трудов Третьей Всероссийской научно-технической конференции. В 2-х томах, Москва, 03–04 декабря 2025 года. – Москва: Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, 2025. – С. 72-73. – EDN IJSVEQ.

Сведения об авторах

Бондаренко Владимир Владимирович, к.ф.-м.н., доцент кафедры безопасности информационных систем, ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет), г. Самара, Россия

Шарипов Рифат Рашатович, к.т.н., доцент кафедры систем информационной безопасности, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань, Россия

Олин Роман Александрович, старший преподаватель кафедры прикладной информатики, ФГАОУ ВО «Самарский государственный экономический университет», г. Самара, Россия

Information about the authors

Bondarenko Vladimir Vladimirovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Information Systems Security, Samara National Research University, Samara, Russia

Sharipov Rifat Rashatovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Information Security Systems, Kazan National Research Technical University, Kazan, Russia

Olin Roman Alexandrovich, Senior lecturer of the Department of Applied Informatics, Samara State University of Economics, Samara, Russia