УДК 004.82
DOI https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.2.2/12

Єщенко М. С.
Національний університет «Києво-Могилянська академія»

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН

Ця стаття оглядового характеру покликана детально дослідити організаційно-орієнтований метод моделювання технології блокчейн і зафіксувати його переваги, а також визначити подальші можливі вдосконалення для підвищення точності моделі. Вона забезпечує поглиблений аналіз відображення абстракцій між блокчейном і мультиагентними системами.

Блокчейн-системи все ще є відносно новими соціальними системами, і їх організаційне моделювання, описане в статті, розглядає засоби для їхнього більш точного представлення з метою покращення їх розуміння та поширення у релевантних областях. Мультиагентні системи в умовах використання організаційно-орієнтованого підходу надають гнучкий інструментарій, який дозволяє повноцінно представляти абстракції блокчейну. Організаційно-орієнтоване моделювання абстрагує внутрішні деталі реалізації агентів і дозволяє зосередити увагу на структурних, організаційних і соціальних вимірах блокчейн-систем – на тому, що пов'язує структуру організації з поведінкою агентів, що спостерігаються ззовні їхніми користувачами.

Представлення систем блокчейну за допомогою абстракції організації дозволяє агентам співпрацювати один з одним, визначаючи спільні шаблони співпраці, такі як обов'язки, групи, протокол та глобальні завдання. Крім того, норми можуть використовуватися для обмеження поведінки незалежних агентів щодо глобальної мети організації.

Особлива увага приділяється аналізу підходу під назвою «Агент/Група/Роль» (AGR), який описує організацію мультиагентної системи на високому рівні абстракції, і тому є дуже гнучким і відкритим для різних схем взаємодії та організаційних архітектур.

Розглянутий організаційно-орієнтований підхід до моделювання добре зарекомендував себе в задачі представлення технології блокчейн. Так, вузли представлені агентами, а транзакції представлені повідомленнями. Агенти мультиагентних систем мають достатню гнучкість для представлення двох різних абстракцій блокчейну – вузлів і смарт-контрактів. Взаємодії на основі ролей між групами добре передають проблематику роботи об'єкта моделювання.

Подальші дослідження для ще більшого підвищення точності моделювання ймовірно мають включати розгляд саморегуляції системи за допомогою спеціальних регуляторних мета-агентів, які забезпечать безпеку системи від багатьох векторів атак, одночасно контролюючи інших агентів системи та підтримуючи коректність роботи системи в цілому.

Ключові слова: *блокчейн, мультиагентні системи, моделювання, обмін повідомленнями, смарт-контракти.*

Постановка проблеми. Під час проєктування розподілених програмних застосунків часто постає задача з вибором рішення для збереження даних. Одним із варіантів є блокчейн, коректність застосування якого є не завжди очевидною. Саме тому постає необхідність із його представлення засобами розповсюджених мультиагентних систем задля надання наочного розуміння його особливостей.

Оскільки технологія блокчейн є достатньо новою, її моделювання через більш сталі абстракції дає можливість пояснення принципу її роботи та створення позитивного впливу на її прийняття й поширення у релевантних предметних областях, таких як охорона здоров'я, логістика та банківська справа.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оскільки блокчейн-системи є соціальними системами, саме організаційне моделювання надає більш релевантні абстракції для точнішого представлення перших згідно [1–3]. Мультиагентні системи в основі організаційно-орієнтованого підходу надають гнучкий інструментарій, що уможливлює повноцінне відображення абстракцій блокчейну, особливо з використанням підходу «Агент/Група/Роль», окресленого у [3]. Організаційно-орієнтоване моделювання абстрагує внутрішні деталі реалізації агентів і, відповідно,

дозволяє зосередитися на структурних, організаційних [2, 4–5] і соціальних вимірах блокчейн-систем – на тому, що пов'язує структуру організації [6] із поведінками агентів.

Проведений аналіз останніх тематичних досліджень виявив несистемність відомостей із моделювання технології блокчейн. Зокрема, у [3] накладаються обмеження із використання визначеної ролі, що не є притаманним об'єкту моделювання згідно [6–7].

Постановка завдання. Метою статті є детальне дослідження організаційно-орієнтованого способу моделювання технології блокчейн, фіксування його переваги та узагальнення знань щодо нього, а також визначення подальших шляхів можливого вдосконалення процедури для підвищення точності мультиагентної моделі задля поширення обізнаного використання блокчейну.

Виклад основного матеріалу. Структура даних блокчейну. Представлення систем блокчейну за допомогою абстракції організації [2] дозволяє агентам співпрацювати один з одним, визначаючи загальні схеми співпраці, такі як обов'язки, групи, протокол і глобальні завдання. Наприклад, прийняття рішення про загальний блок у системі блокчейн є інституційною дією, можливою лише тому, що система блокчейну визначає правила, яких необхідно дотримуватися для цього.

Крім того, норми можна використовувати для обмеження поведінки незалежних агентів щодо глобальної мети організації [2, 8–9]. Іншими словами, коли агент бере на себе роль, він приймає набір поведінкових обмежень, які підтримують глобальну мету організації. Після цього агент вирішує підкорятися чи не підкорятися цим обмеженням. Наприклад, у системі блокчейн, коли агент приймає роль користувача, він приймає поведінкові обмеження щодо підготовки належних транзакцій і перевірки всіх даних перед ретрансляцією [8].

Наявність специфікації організації дозволяє агентам міркувати відповідним чином. Тобто агенти можуть вирішувати, чи приєднатися до організації, чи залишити її протягом свого життя, можуть змінити/адаптувати свою поточну організацію та можуть вирішити підкорятися/не підкорятися нормам організації.

Крім того, така організаційна специфікація також може дозволити організації міркувати про себе та про агентів [10], щоб забезпечити досягнення своєї глобальної мети. Тобто організації можуть дозволити агентам приєднуватися/виходити під час виконання, вони можуть дозволити агентам змінювати/адаптувати свою поточну організацію, і вони можуть керувати поведінкою агентів (відслідковувати, примушувати, регламентувати) [5].

Підхід «Агент/група/роль». Серед кількох організаційно-орієнтованих мультиагентно-орієнтованих підходів [1–3, 6], запропонованих у літературі, підхід «Агент/група/роль» (AGR), запропонований у [3], добре підходить для поставленої задачі та мети. Зокрема, AGR описує, що таке організація мультиагентної системи на високому рівні абстракції, і тому є дуже гнучким і відкритим для різних схем взаємодії та організаційних проектів. Модель AGR (рис. 1) базується на трьох абстракціях першого класу: агент, група та роль. Ці абстракції комбінуються та взаємодіють одна з одною.

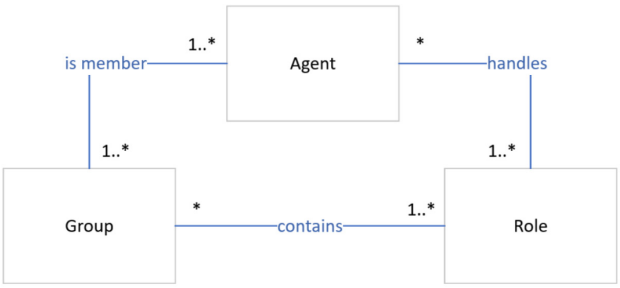

Рис. 1. Організаційна модель

Ролі – це абстрактні представлення функціональних позицій агентів у групі. Роль описує пов'язані з нею обов'язки, обмеження, яким агенти повинні задовольнити, щоб отримати цю роль, і переваги, які агенти отримають, граючи цю роль [7].

Групи визначають контексти для шаблонів діяльності (тобто ролей), які можуть бути спільними для груп агентів (тобто вони об'єднують агентів, які працюють разом). Агенти можуть спілкуватися, якщо і тільки якщо вони належать до однієї групи. Групи – це організаційні структури [5, 7], де взаємодії перетворюють сукупність агентів у функціонально узгоджене ціле. Крім того, групи також можуть встановлювати межі. Агенти, які не належать до групи, можуть не знати її структуру.

Агенти є активними, комунікаційними сутностями, які грають ролі в групах. Агенти виконують принаймні одну роль у групі, але можуть виконувати кілька ролей і бути членами кількох груп [6]. Однак жодних обмежень не накладається на архітектуру, когнітивні здібності та/або розумові проблеми агентів.

На рисунку 2 показано робочий процес, який використовується для визначення організаційної моделі систем блокчейн. Пропонуємий підхід подібний до того, що представлено в [3], із системною точкою зору на функціональні можливості через так звані «Системні історії». Однак, на відміну від [3], відсутні обмеження конкретною роллю чи агентом.

Спочатку визначаються ролі, які є частиною системи, тобто функції високорівневі функції, які повинні бути присутніми в системі. З цих визначень ролей робиться висновок про різні групи та те, як ролі групуються разом для досягнення своїх цілей. Коли ці два кроки зроблені, далі детально розробляються ролі та визначається їхня поведінка – низькорівневі функції, які повинні бути присутніми, щоб виконувати функції високого рівня. Далі визначається, як ролі взаємодіють одна з одною всередині групи – про що потрібно повідомити та як це зробити. Наостанок, визначаються типи агентів, які типи взаємодії вони можуть мати та ролі, які вони можуть відігравати в системі.

Загальна організаційна модель для систем блокчейн. Використовуючи підхід AGR, пропонується загальна організаційна модель для систем блокчейну, яка є основою для визначення кількох конкретних систем блокчейну. Таким чином можна створювати та/або аналізувати конкретні блокчейн-системи, які знаходяться на рівні агента, тобто там, де можуть взаємодіяти агенти з різними когнітивними здібностями. Це дозволяє чітко розділити різні будівельні блоки блокчейн-систем, залишаючи при цьому можливість досліджувати поведінкові відмінності в чітко визначеній структурі.

З цією метою визначаються всі можливі ролі та їхню відповідну номінальну (чесну) поведінку, застосовну до всіх типів систем блокчейну. Агенти, які беруть участь у системах блокчейну, можуть виконувати одну або декілька загальних ролей, перелічених нижче, в тому числі в кількох системах блокчейну одночасно.

Типи ролей. Відносно існуючих систем блокчейну визначається 9 загальних типів ролей [2, 7, 11]. Далі створюється ретельний розподіл обов'язків між цими типами ролей.

Ініціатор угоди (Transaction Proposer) несе відповідальність за пропонування угод. Індосант угоди (Transaction Endorser) відповідає за підтвердження запропонованих угод. Ініціатор блоків (Block Proposer) відповідає за створення та пропонування блоків для мережі блокчейн. Індосант блоку (Block Endorser) відповідає за схвалення запропонованих блоків. Підтримувач блокчейну (Blockchain Maintainer) відповідає за підтримку та реплікацію структури даних блокчейну. Інвестор несе відповідальність за здійснення інвестицій у мережу блокчейн. Об'єкт інвестування несе відповідальність за виконання завдання від імені своїх інвесторів і пропорційний перерозподіл відповідних прибутків між ними. Підрядник (Contractor) відповідає за надання внутрішніх послуг іншим учасникам на договірних засадах. Оракул (Oracle) відповідає за надання зовнішніх послуг та/або даних іншим учасникам.

Типи груп. У контексті систем блокчейну визначено дві категорії загальних типів груп блокчейну [5], застосовних до будь-якої системи блокчейну: структурні групи та групи інтересів. Структурні групи виконують основні функції системи блокчейн, і всі агенти знають про існування цих

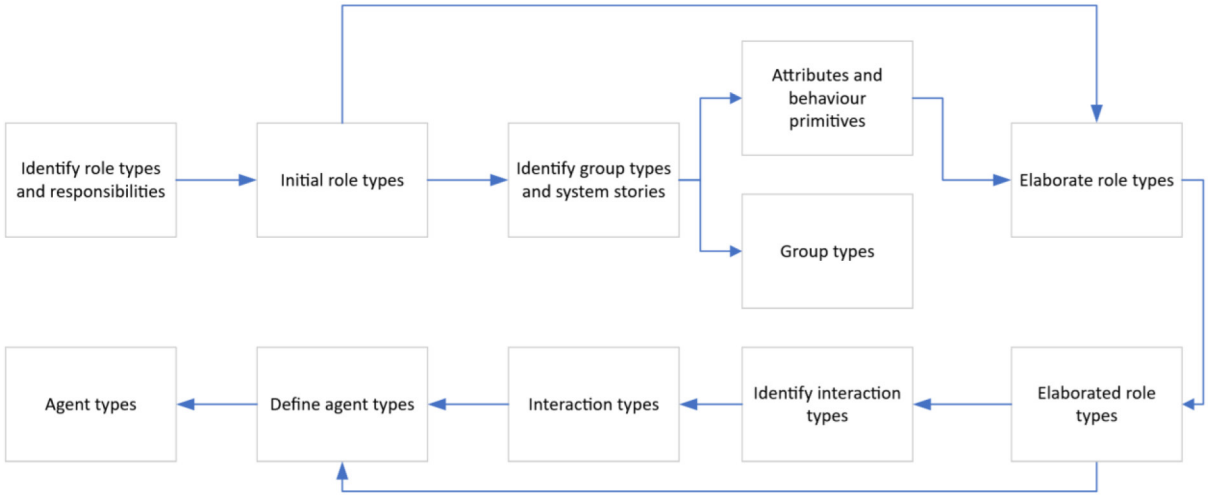

Рис. 2. Запропонована методологія для визначення загальної організаційної моделі

груп. Виділено два типи структурних груп: управління транзакціями та управління блоками. Групи інтересів складаються з агентів, які підвищують якість однієї або кількох властивостей блокчейна, таких як масштабованість, пропускна спроможність, безпека або відмінність винагороди. Таким чином, групи інтересів не є структурними (неосновними) для загального блокчейну, і про їх існування не обов'язково знають усі учасники.

Залежно від обраної системи блокчейну, членством у різних групах можна керувати двома основними способами:

1. Явні групи, де агенти повинні задовольняти деяким чітко визначеним критеріям для входу;

2. Неявні групи, куди агенти можуть входити без жодної перевірки.

Явні групи можуть бути двох форм: або вони мають агента, який виконує роль менеджера групи, який відповідає за перевірку відповідності агентів специфікації структури та ролей групи та авторизує або забороняє входити їм у групу [2], або специфікація структури та ролей групи незмінно визначена в блокчейні (тобто безпечно надається всім), і агенти можуть зробити висновок, чи можуть вони входити до групи. чи ні. Специфікації неявних груп явно не визначені, і, отже, агенти формують такі групи емерджентним способом. Іншими словами, специфікації цих груп неявно реалізуються всередині кожного агента, і, отже, будь-хто з них може приєднатися чи піти за особистим рішенням.

Агенти знають про явні групи. Це означає, що агенти знають про інших членів цих груп і, отже, можуть безпосередньо співпрацювати один з одним. Це також означає, що існують чіткі специфікації щодо того, як поводитися, приєднуватися та/або залишати ці групи. Однак це не стосується неявних груп. У цих групах агенти не обов'язково знають про інших учасників і, отже, за замовчуванням можуть лише опосередковано співпрацювати один з одним.

Взаємодії. Взаємодії – це засоби, за допомогою яких різні ролі обмінюються інформацією або ресурсами [2, 5]. Спосіб взаємодії ролей у системі (тобто спосіб реалізації взаємодії) може мати значні наслідки для їх поведінки. Нижче визначено можливі типи взаємодії, які можна знайти в системах блокчейну з точки зору обміну повідомленнями, коли актор/об'єкт-відправник надсилає повідомлення актору/об'єкту-одержувачу і покладається на цього актора та його допоміжну інфраструктуру для вибору та запуску деякої відповідної поведінки:

– Синхронний обмін повідомленнями відбувається між ролями, які спілкуються через ту саму мережу блокчейн (рис. 3, *a*). Повідомлення доставляються одержувачу, а процес відправника блокується до завершення процесу одержувача;

– Асинхронна передача повідомлень відбувається між ролями, які спілкуються через ту саму мережу блокчейн (рис. 3, *b*). Повідомлення надсилається до черги, де воно зберігається до запиту ролі отримувача, а потім обробляється. При цьому процес відправника не заблокований;

– Захищений від втручання обмін повідомленнями базується на схемі зв'язку на дошці, використовуючи реплікований блокчейн як постійний носій (рис. 3, *c*). Це різновид асинхронного обміну повідомленнями, у якому відправник публікує своє повідомлення в захищеному від втручання реплікованому блокчейні.

Загальні протоколи взаємодії можуть бути реалізовані в конкретній системі блокчейн за допомогою форматів взаємодії, наведених у цьому розділі. Різні конкретні реалізації можуть використовувати різні типи взаємодії залежно від того, який агент яку роль відіграє.

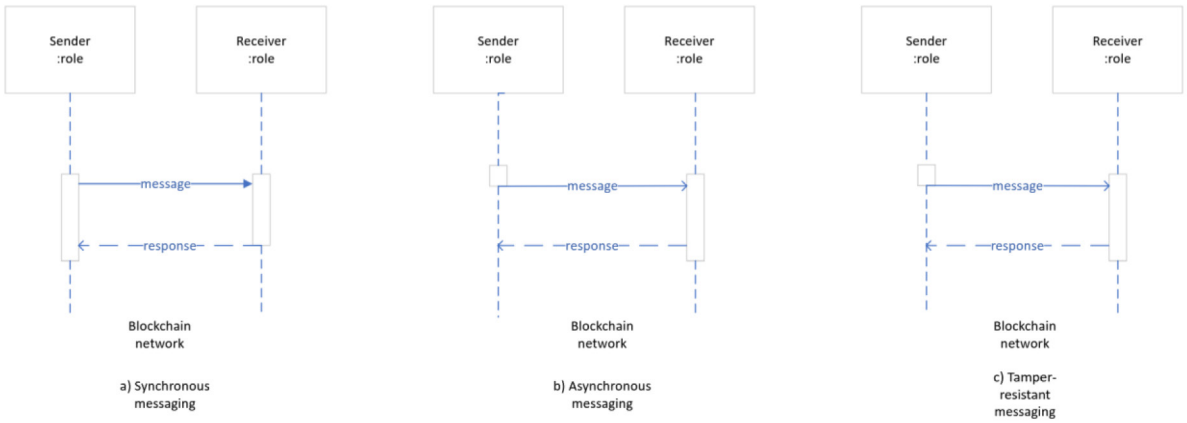

Рис. 3. Типи взаємодії для систем блокчейн: *a* – синхронна передача повідомлень, *b* – асинхронна передача повідомлень, *c* – передача повідомлень із захистом від втручання

Рис. 4. Агенти для систем блокчейн та моделі їх взаємодії

Типи агентів. Поведінковий потенціал агентів дуже великий [12–14], а функціональність може бути налаштована згідно конкретних потреб. Для обраної предметної області було визначено такі типи агентів, які можуть існувати в системах блокчейн: вузол (Node) і смарт-контракт (Smart Contract) (рис. 4).

Агенти типу вузол – це однорангові пристрої в мережі блокчейн, які розгортаються на комп'ютері як окреме програмне забезпечення. Вони можуть спілкуватися з агентами вузлів за допомогою синхронного, асинхронного та/або захищеного від втручання обміну повідомленнями. Однак вони можуть спілкуватися з агентами розумних контрактів лише за допомогою синхронного або захищеного від несанкціонованого обміну повідомленнями (рис. 4). Агенти вузлів беруть на себе відповідальність за технічне обслуговування, безпеку та динаміку системи блокчейну через основні загальні ролі: Ініціатор транзакції, Підтримувач транзакції, Ініціатор блоку, Підтримувач блоку, Підтримувач блокчейну, Одержувач інвестицій, Інвестор та Оракул. Вони забезпечують працездатність системи та активно сприяють виконанню її основних функцій [15–17].

Агенти типу смарт-контракт – це незмінні програми, які розгортаються в структурі даних блокчейну. Агенти розумних контрактів не знають свого оточення та не можуть безпосередньо спостерігати за ним. Їхня схема зв'язку є більш обмеженою, оскільки вони можуть спілкуватися з іншими агентами лише реактивно за допомогою синхронних або захищених від втручання повідомлень. Вони можуть мати лише реактивну поведінку, яка викликана іншими агентами. Агенти типу смарт-контракт виконують лише ролі Підрядника, Керівника групи та Об'єкта інвестицій. Завдяки ролі підрядника вони можуть додавати функціональні можливості до системи блокчейн.

Висновки. Розглянутий організаційно-орієнтовний підхід до моделювання технології блокчейн добре показав себе у завданні представлення технології блокчейн. Агенти мультиагентних систем мають достатню гнучкість для того щоб відображати дві різні абстракції технології – вузли та смарт-контракти. Взаємодія між групами, заснована на ролях, добре відтворює проблематику предметної області, що моделюється, засобами мультиагентної системи. Зокрема, якісно змодельована асинхронна та синхронна комунікація підтвердила важливість використання техніки «Агент/Група/Роль». Ці концепції були узагальнені для вищезгаданого способу моделювання блокчейну, а отже мають стати достатнім необхідним підґрунтям для подальших досліджень із покращення точності моделі. Окреслена систематизація знань також має потенціал позитивно вплинути на коректність рішень із застосування технології блокчейн у релевантних галузях.

Відкритим залишається питання атак на такі моделі. Вдала емуляція таких дій мала б дедалі підтвердити універсальність та остаточно виправдати доцільність вибору організаційно-орієнтованого підходу до моделювання блокчейну. Також, для подальшого наближення моделі до об'єкту моделювання, залишається необхідним передбачити механізми саморегуляції моделі засобами метаагентів.

Список літератури:

1. Alharby M., van Moorsel A. BlockSim: An Extensible Simulation Tool for Blockchain Systems. *Frontiers in Blockchain*. 2020. Vol. 3. DOI: https://doi.org/10.3389/fbloc.2020.00028

2. Decentralized Autonomous Organizations: Concept, Model, and Applications / S.Wang et al. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*. 2019. Vol. 6, no. 5. P. 870–878. DOI: https://doi.org/10.1109/tcss.2019.2938190

3. Rocha H., Ducasse S. Preliminary steps towards modeling blockchain oriented software. *ICSE '18: 40th International Conference on Software Engineering*, Gothenburg Sweden. New York, NY, USA, 2018. DOI: https://doi.org/10.1145/3194113.3194123

4. Santana C., Albareda L. Blockchain and the emergence of Decentralized Autonomous Organizations (DAOs): An integrative model and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*. 2022. Vol. 182. P. 121806. DOI: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121806

5. Rikken O., Janssen M., Kwee Z. Governance impacts of blockchain-based decentralized autonomous organizations: an empirical analysis. *Policy Design and Practice*. 2023. P. 1–23. DOI: https://doi.org/10.1080/25741292.2023.2270220

6. Abbas H.A. Realizing the NOSHAPE MAS Organizational Model. *International Journal of Agent Technologies and Systems*. 2015. Vol. 7, no. 2. P. 75–104. DOI: https://doi.org/10.4018/ijats.2015040103

7. From Agents to Blockchain: Stairway to Integration / G. Ciatto et al. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10, no. 21. P. 7460. DOI: https://doi.org/10.3390/app10217460

8. Liebau D., Oh S. Decentralized Autonomous Organizations. WORLD SCIENTIFIC, 2024. DOI: https://doi.org/10.1142/13918

9. Augustin N., Eckhardt A., de Jong A.W. Understanding decentralized autonomous organizations from the inside. *Electronic Markets*. 2023. Vol. 33, no. 1. DOI: https://doi.org/10.1007/s12525-023-00659-y

10. Hübner J.F., Sichman J.S., Boissier O. MOISE+. *The first international joint conference*, Bologna, Italy, 15–19 July 2002. New York, New York, USA, 2002. DOI: https://doi.org/10.1145/544741.544858

11. Hassan S., De Filippi P. Decentralized Autonomous Organization. Internet. *Policy Review*. 2021. Vol. 10, no. 2. DOI: https://doi.org/10.14763/2021.2.1556

12. Kerckhoven S. v. Decentralized Autonomous Organizations: Innovation and Vulnerability in the Digital Economy. Routledge, 2024.

13. Rodriguez S., Thangarajah J., Winikoff M. User and System Stories: An Agile Approach for Managing Requirements in AOSE. *AAMAS '21: Proceedings of the 20th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems*. 2021. P. 1064–1072. DOI: https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/3463952.3464076

14. Ferber J., Gutknecht O., Michel F. From Agents to Organizations: An Organizational View of Multi-agent Systems. *Agent-Oriented Software Engineering IV*. 2004. P. 214–230. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-24620-6_15

15. Niazi M., Hussain A. Agent-based computing from multi-agent systems to agent-based models: a visual survey. *Scientometrics*. 2011. Vol. 89, no. 2. P. 479–499. DOI: https://doi.org/10.1007/s11192-011-0468-9

16. INGENIAS-SCRUM Development Process for Multi-Agent Development / G.-M. I et al. *International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence 2008 (DCAI 2008)*. 2009. P. 1–12. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-85863-8_14

17. Metamodels for role-driven agent-based modelling / R. Fuentes-Fernández et al. *Computational and Mathematical Organization Theory*. 2012. Vol. 18, no. 1. P. 91–112. DOI: https://doi.org/10.1007/s10588-012-9110-5

Yeshchenko M.S. ORGANIZATION-ORIENTED MODELING FOR BLOCKCHAIN SYSTEMS

Blockchain systems are still relatively new social systems, and their organizational modeling covered in the article provides relevant means to represent them more accurately for the sake of increasing their understanding and adoption in applicable areas. Multi-agent systems based on an organization-oriented approach provide a flexible toolkit that enables a full display of blockchain abstractions. Organization-oriented modeling abstracts the internal details of the implementation of agents and, accordingly, allows to focus on the structural, organizational and social dimensions of blockchain systems – on what connects the structure of the organization with the behaviors of agents that are externally monitored by users.

Representing blockchain systems using an organization abstraction allows agents to collaborate with each other by defining common collaboration patterns such as responsibilities, groups, protocol, and global tasks. In addition, norms can be used to constrain the behavior of independent agents in relation to the organization's global goal.

Particular attention is paid to the analysis of an approach called Agent/Group/Role (AGR), which describes what a multi-agent system organization is at a high level of abstraction and is therefore very flexible and open to different interaction schemes and organizational designs.

This article is designated to investigate in detail the organization-oriented method of modeling blockchain technology and record its advantages, as well as define further possible improvements to increase the accuracy of the model. It provides an in-depth analysis of abstractions mappings between blockchain and multi-agent systems. Mainly, nodes are represented with agents and transactions are represented with messages.

The considered organization-oriented approach to the modeling of blockchain technology proved itself well in the task of presenting blockchain technology. Agents of multi-agent systems have sufficient flexibility to represent the two different blockchain technology abstractions – nodes and smart contracts. Role-based interactions between groups represent well the problems of the subject area being modeled by a multi-agent system.

Further research for enhancing modeling accuracy even more should potentially include consideration of the system self-regulation with the help of special regulatory meta-agents which would ensure the system safety against multiple attack vectors while keeping other agents in check and the whole system healthy.

Key words: *blockchain, multi-agent systems, modeling, messages exchange, smart contracts.*