

DOI: 10.18372/2225-5036.29.17870

СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО ГОЛОСУВАННЯ НА БЛОКЧЕЙНІ

Валерій Яланецький

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»



ЯЛАНЕЦЬКИЙ Валерій Анатолійович

Рік та місце народження: 1978 рік, м. Київ, Україна.

Освіта: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2002 рік.

Посада: старший викладач кафедри інформаційних систем та технологій з 2019 року.

Наукові інтереси: автоматизація виробничих процесів, засоби віддаленого збору інформації, вбудовані системи, проектування інформаційно керуючих та інтелектуальних систем керування, безпека інформації, розподілені бази даних, децентралізовані реєстри, блокчейн, суверенна ідентичність та WEB 3.0.

Публікації: близько 30 наукових публікацій, серед яких наукові статті, навчальні посібники, тези та матеріали доповідей на конференціях.

E-mail: v.yalanetskiy@gmail.com.

Orcid ID: 0000-0001-6163-0258.

Анотація. Розвинені демократичні країни стрімко удосконалюють інфраструктуру систем електорального волевиявлення. Технологія блокчейн швидко заповнила дефіцит інновацій в різноманітних сферах людської діяльності. У системи підтримки виборчого процесу також поступово впроваджуються концепції децентралізованого реєстру зберігання голосів та виключення із парадигми голосування третіх зацікавлених осіб. Від третіх осіб, які зазвичай є фальсифікаторами голосів, ніяк не можна було позбутись. Із появою блокчейнів така можливість стає реальністю. Об'єктом дослідження є процес електронного голосування. Предметом дослідження є системи електронного голосування на децентралізованих реєстрах типу блокчейн. Метою роботи є проведення оглядового дослідження існуючих систем електронного голосування на найбільш вживаних, поширених і надійних блокчейнах Bitcoin та Ethereum. Серед досліджених блокчейн-рішень електронного голосування, на жаль, жодне не впроваджено на загальнонаціональному рівні. У майбутніх дослідженнях планується пошук систем електронного голосування на новітніх блокчейнах, зокрема на блокчейні Near Protocol.

Ключові слова: цифровізація виборчого процесу, система електронного голосування, цифрове голосування в освіті, розподілений реєстр, технологія блокчейн, блокчейн.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Системи електронного голосування (СЕГ) використовуються у прогресивному світі з 1960-х років [1]. Сам термін «електронне голосування» включає в себе різні види голосування, включаючи автоматизовані засоби підрахунку голосів і сучасні інформаційні технології проведення виборчих кампаній. Електронні системи підрахунку голосів широко використовуються на парламентських виборах і референдумах в розвинених демократичних країнах. Наприклад, в більшості штатів США електронне голосування вперше було використано на президентських виборах ще в 2000 році, а вже 2002 року в США було прийнято закон, який встановив обов'язкове використання СЕГ у всіх штатах. В Швейцарії на федеральному рівні інтернет-голосування було успішно проведено в 2004 році, а в Естонії 2005 року через інтернет вперше було використано СЕГ на виборах до органів міс-

цевого самоврядування. Останніми роками з'явилися дистанційні СЕГ, які здебільшого збільшують електоральну явку виборців, себто такі СЕГ дозволяють голосувати всім хто має право голосу без необхідності переміщуватись, зокрема перетинаючи кордони, до виборчих дільниць.

Постановка проблеми

Питання уніфікації та цифрової трансформації виборчих процесів останнім часом набувають і в Україні широкої дискусії. Основною метою, яку ідеологи впровадження СЕГ ставлять перед собою, є спрощення та дебіюрократизація виборчих процедур, мінімізація можливості впливу на підрахунок голосів виборців та легітимність результатів голосування. В роботі [2] досліджено основні види процедур в СЕГ. Також наголошується на важливості дотримання рекомендацій СМ/Рес (2017) 5 Комітету Міністрів Ради Європи державам-членам щодо стандартів електрон-

ного голосування (прийнято Комітетом Міністрів 14 червня 2017 року). Навіть впровадження SEG на заміну паперовій інфраструктурі виборчої системи, рівень недовіри до прозорості виборів традиційно низький. Актуальним питанням є необхідність концептуально переосмислити протоколи діючих SEG, аби зробити їх більш прозорими, інклюзивними та дружніми до електорату при збереженні максимального рівня безпеки та таємничості. Ризики фальсифікацій надто важливі, а низька масштабованість таких SEG поки що не дозволяє розглядати їх на загальнонаціональному рівні. Аудит результатів роботи як SEG так і паперового голосування залишається дуже складним для громадянського суспільства, яке фактично не контролює роботу SEG. Для подолання цих проблем технологія блокчейн виглядає перспективним інструментом [3].

Мета та постановка завдання

Метою роботи є огляд найкращих практичних рішень SEG, заснованих на технології блокчейн, задля спроби зрозуміти їх особливості у порівнянні з традиційними системами голосування. Для роботи розглядалися та досліджувалися лише SEG, що базуються на децентралізованих блокчейнах.

Виклад основного матеріалу дослідження

Завдяки стрімкому розвитку інформаційних технологій, доволі застаріла технологія електронного голосування часів середини минулого століття набуває інноваційних характеристик завдяки впровадженню у SEG технології блокчейн. На сьогодні блокчейн інфраструктура являє собою різноманітні програмно-апаратні засоби та інструментарії для розгортання типових блокчейнів. Як наслідок нате-пер розроблено пілотні фреймворки та додатки SEG і ця робота триває понині й успішно розвивається. У роботі [4] наведений огляд SEG з використанням технології блокчейн. Автори виділили проблеми із якими стикаються SEG: конфіденційність, відсутність доказів результатів, стійкість до фальсифікацій, простота використання, масштабованість, швидкість та кошторис. Автори статті [5] описали використання SEG на основі блокчейну в реальних сценаріях. Автори навели набір властивостей, яким має задовольняти додаток SEG на основі блокчейну, щоб бути справедливою, прозорою та демократичною системою виборів. Такими властивостями є: надійність, узгодженість, можливість незалежної публічної та індивідуальної перевірки голосу, анонімність (таємність), прозорість, масштабованість, доступність, автентифікація виборця та справедливість. Окрім SEG не на блокчейні, та SEG на блокчейнах, існують наукові доробки та інноваційні рішення побудови SEG не на децентралізованих блокчейнах. Такі рішення не розглядалися в даній статті.

В роботі [6] авторами використана методологія порівняння близько 10 SEG, яка виділяє їхні відпові-

дні сильні та слабкі сторони порівняно з раніше встановленими властивостями.

Функціонування типової SEG поділяють на такі наступні етапи:

- фаза 1. Ініціалізація правил (протоколу) голосування, списку виборців й списку кандидатів [7];

- фаза 2. Ідентифікація виборців, завдяки різним механізмам автентифікації [8];

- фаза 3. Голосування, коли виборець обирає одного або кількох кандидатів відповідно до правил голосування. Потім голоси криптографічно шифруються та додаються до блокчейну. Автори статті [9] пропонують рішення, яке дозволяє відредагувати голос до закриття виборчих дільниць. SEG, що представлена в [10], дозволяє виборцю відкликати свій голос до закриття голосування. Автори статті [11] пропонують SEG, що надає виборцю утриматися від голосування;

- фаза 4. Підрахунок голосів, коли оголошено про завершення виборів, змінити чи додати голоси стає неможливо. Якщо процес підрахунку відбувається паралельно з голосуванням, важливо, щоби точний рахунок був анонімний, задля уникнення впливу на виборців, які ще не проголосували;

- фаза 5. Оприлюднення результатів голосування через захищений канал передачі даних. Деталі та результати виборів деанонімізуються та стають доступними для всіх;

Одним із фундаментальних компонентів блокчейн-систем є автоматичний консенсусний механізм, що регулює формування єдиного децентралізованого загальноприйнятого ланцюга блоків. Без такого механізму консенсусу, використання технології блокчейн в сфері розробок SEG не має сенсу, позаяк централізовані інструменти апріорі схильні до фальсифікацій нарівні із традиційними паперовими системами голосування. Тож консенсусний механізм є невід'ємною частиною SEG. Другим фундаментальним компонентом технологій блокчейн без яких побудова сучасних SEG неможлива є програмовані процедури, або так звані розумні контракти (смарт-контракти).

У роботах [12]-[16] пропонуються рішення на блокчейні Ethereum, що підтримує смарт-контракти як для запису, так і для підрахунку голосів виборців. У статтях [17]-[19] автори пропонують рішення з використанням смарт-контрактів на фреймворку Hyperledger Fabric, зі швидкістю близько 100000 транзакцій в секунду. У роботі [20] пропонується використовувати Біткойн як блокчейн-рішення для реалізації SEG. Але вкрай повільний блокчейн Біткойн не має перспектив у цьому напрямку, оскільки він запроєктований для виконання зовсім інших фундаментальних задач в фінансовій системі нового типу. В SEG, побудованих із використанням технології блокчейн не можна повністю позбутися присутності центрального органу, який налаштовує, запускає та адмініструє

процес голосування. Ба більше, публічний блокчейн навряд чи міг би провести загальнонаціональні вибори через проблеми із масштабованістю. Багато рішень пропонують частково централізований блокчейн.

Архітектура СЕГ, що запропонована в [11], проєктується з трьома вузлами: загальнодержавним, окружним і місцевим. Місцевий рівень складається з усіх цифрових виборчих дільниць і пов'язаний з окружним вузлом. Окружні вузли мають підмножину локальних станцій і підключені до вузлів загальнодержавного рівня, які в свою чергу додають блоки в блокчейн. У цій же роботі, а також в [21], пропонується розгалужений блокчейн, в якому кожен кандидат має спеціальний ланцюг, де перша транзакція - це ім'я кандидата, а кожна інша транзакція - голоси за нього. Голосування можна розглядати як транзакцію, і кожен блок містить хеш попереднього блоку та корінь дерева Меркле. Транзакція повинна містити контент для авторизації: посвідчення виборця, його підпис, голос і часову відмітку.

До появи технології блокчейн електронне голосування вже існувало в Європі та в усьому світі. Кілька СЕГ (без використання блокчейну) були впроваджені в Естонії, Швейцарії та Норвегії [22]. В Естонії використання СЕГ показало задовільні результати, але в Норвегії від нього відмовилися в 2014 році з міркувань безпеки, а також через те, що показник неявки або пасивних виборців майже не змінився. Проте в Естонії на парламентських виборах 2019 року майже 44% голосів було віддано онлайн засобами СЕГ, що підтверджує успішність впровадження СЕГ. Це дозволило перевірити електронне голосування в реальних умовах в загальнонаціональному масштабі, чого поки не можна сказати про СЕГ на базі блокчейн. Через свою інституційну природу електронне голосування необхідно розглядати спочатку з юридичної та політичної точки зору [22]. Норматив-на база виборчої системи різних країн визначають критерії та передумови для голосування, будь то паперового чи електронного. В роботі [22] зазначено, що будь-яка заява про електронне голосування повинна в першу чергу відповідати закону. Себто, пряме голосування повинно бути загальним, чесним, вільним і, найголовніше, таємним.

Загальне виборче право надає всім повнолітнім громадянам можливість проголосувати. Однак, враховуючи цифрову безграмотність, викликану відсутністю базових навичок роботи з комп'ютером та проблемами підключення до Інтернету багатьох людей (літніх та інвалідів), багато громадян будуть виключені з електронного голосування, що неприпустимо. Що стосується справедливості електронного голосування, тобто того, що з виборцем пов'язаний унікальний голос, його також дуже важко забезпечити в порівнянні з паперовим голосуванням. Дійсно, дуже важко гарантовано перевірити особу людини, яка

голосує дистанційно. Таким чином, питання системи аутентифікації виборця є актуальним, але виходить за межі цієї статті. Нарешті, конфіденційність (таємність) також є одним з основоположних принципів голосування, гарантованого законом.

Хоча СЕГ на основі блокчейну все ще знаходяться в зародковому стані (менше десяти років), про ці системи було опубліковано декілька тематичних досліджень [23]. Дослідження, що представлено в [24], показує, як оцифрувати європейський виборчий процес, дотримуючись методу, розробленого та протестованого на блокчейні Ethereum. В іншому тематичному дослідженні [25] технологічна некомерційна організація Democracy Earth Foundation запустила СЕГ, щоб дозволити колумбійцям за кордоном віддавати символічні голоси через платформу в контексті затвердження мирного договору. СЕГ на основі блокчейну також використовувалася в московії, для виборів до міської ради [26]. Але питання фальсифікації результатів виборів в росії так і не знято, навіть з блокчейном. Наразі тривають деякі дослідницькі проєкти, спрямовані на використання блокчейну для СЕГ. Наприклад, СЕГ на блокчейні в Японії буде заснована на картках соціального страхування для перевірки особи виборців, щоб запобігти фальсифікації будь-яких зареєстрованих даних [27]. Ще одним проєктом є VotingDAO, який використовує повністю децентралізовану СЕГ на блокчейні, де система буде регулюватися смарт-контрактом для забезпечення її прозорості, надійності та аудиту [28].

В роботі [29] автори розробляють структуру для СЕГ, які використовують технологію блокчейн для усунення недоліків традиційних систем голосування. Змішаний підхід застосовується для вивчення можливостей і викликів СЕГ на згаданому вище блокчейні Hyperledger. В [30] автори розробляють та впроваджують додаток для електронного голосування з підтримкою блокчейну Ethereum у розумних містах, орієнтованих на технологію Internet of Things. Кожному виборцю видається секретний ключ, щоб мати можливість підтвердити, що голосування не було підірвано. В [31] автори пропонують СЕГ на основі віртуального ідентифікатора Aadhaar (біометричне посвідчення громадянина Індії) з використанням технології блокчейн. В [32] автори пропонують захищену СЕГ, що базується на EVM (Електронна машина для голосування), яка захищена від фальсифікацій та редагування голосів. Таким чином, це дозволяє запобігти подвійному голосуванню, але потребує використання сильніших гібридних криптографічних методів для підвищення безпеки. В [33] автори представляють нову безпечну СЕГ, так звану SecEVS (Secure E-Voting System). Проєктування системи базується на моделі системи менеджменту університетського кампусу. Задля виключення дублювання голосів автори використовували унікальний ідентифікатор для кожного виборця. В [34] автори пропонують багаторівневу архі-

тектуру СЕГ на блокчейн Ethereum. Смарт-контракти автоматизують процес перевірки виборців, які мають право голосу, за допомогою сервісу машинного і штучного інтелекту для аутентифікації обличчя кожного виборця. Дослідження СЕГ на інших блокчейнах не проводилось, це виходить за межі даної роботи, але пошукова робота буде продовжена надалі, наприклад, в розрізі новітнього блокчейну Near Protocol. В доповіді [35] представлений концепт найпростішого децентралізованого сервісу таємного голосування на смарт-контрактах блокчейну Near, що вирішує просту задачу в виборчій сфері освітнього закладу на кшталт обрання делегатів на студентську конференцію, голів підрозділів, декана тощо.

Висновки. Інфраструктурні рішення, фреймворки та відкриті програмні коди блокчейнів (блокчейни нульового рівня, блокчейн-хаби) відкривають широкі перспективи проектування СЕГ у якості альтернативи традиційним системам централізованого (паперового або електронного) голосування. Технологія блокчейн стрімко розвивається останніми роками. Цей напрям інженерних розробок перебуває у стані різноманітних пілотних рішень та наукових досліджень. В наукових публікаціях та інженерних роботах все більше і більше з'являється дослідницьких робіт, в яких розробляються сервіси, веб та мобільні додатки для електронного голосування на основі блокчейнів. В роботі досліджено декілька доволі цікавих закінчених блокчейн рішень, жодне з яких не було випробувано масовим користувачем, але у майбутньому такі рішення можуть бути впроваджені на загальнодержавних рівнях голосування. Станом на тепер, не можливо сформулювати остаточний висновок, що СЕГ на блокчейнах є достатній мірі комфортними, безпечними та надійними альтернативами для проведення, наприклад, загальнонаціональних виборів. Це пов'язане із інфраструктурною особливістю блокчейн екосистем, які схильні до зовнішніх атак та зламів. Як наслідок, вкрай складно гарантувати чесність результатів виборів. Існують значні репутаційні ризики для організацій, що інтегрують СЕГ на блокчейні в державний сектор послуг. Також, підкреслимо, що блокчейн не звільняє від центрального органу, що адмініструє виборчу кампанію. Будь-яка організація загальнонаціональних виборів обов'язково передбачає централізацію, як мінімум, задля того аби скласти список виборців, які мають право голосу та внести кандидатів до голосування. Також технології блокчейн можна використовувати як доповнення до поточних СЕГ, наприклад, для підрахунку паперових голосів на муніципального рівні, тим самим зменшуючи ризик локальних фальсифікацій голосів.

СЕГ локального типу, де кількість виборців від сотень до тисяч, цілком реальна в реалізації та впровадженні, зокрема на рівні шкіл та вищих навчальних закладів. В університетах існує регулярна потреба у коротких голосуваннях за старост і кураторів, голів

студентських та вчених рад, завідувачів кафедр та деканів тощо. Реалізація СЕГ для таких простих задач вимагатиме лише існуючого відкритого блокчейну та набору фреймворків. Врегулювання будь-яких юридично-правових норм не потрібно, достатньо внутрішньо університетських розпоряджень та наказів. Наступною глобальною віхою розвитку СЕГ на блокчейнах можуть бути персоналізовані кабінети виборців із соціальним рейтингуванням їх вчинків, досягнень та стягнень. Наприклад, виборець, може тимчасово втрачати голос на майбутніх виборах, вчинивши серйозний кримінальний злочин. Позаяк, парадигма соціального рейтингування населення, платників податків та електорату вже не далеке майбутнє, а теперішній час (система соціального рейтингу населення в Китаї).

Список літератури

- [1]. Богдан Ю. И., Веселая О. О. Анализ существующих систем голосования [Электронный ресурс]. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2011. № 1(2). С. 33-37. Доступно: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2011_1\(2\)_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2011_1(2)_9).
- [2]. Бойко О. Електронне голосування: Перспективи для України. Публічне урядування, 23(3), pp. 24-34. [https://doi.org/10.32689/2617-2224-2020-3\(23\)-24-34](https://doi.org/10.32689/2617-2224-2020-3(23)-24-34).
- [3]. Widayanti, R., Aini, Q., Haryani, H., Lutfiani, N. and Apriliasari, D., (2021), "Decentralized Electronic Vote Based on Blockchain P2P", 9th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM), Bengkulu, Indonesia, 2021, pp. 1-7, <https://doi.org/10.1109/CITSM52892.2021.9588851>.
- [4]. Garg, K., Saraswat, P., Bisht, S., Aggarwal, S. K., Kothuri, S. K. and Gupta, S., (2019), "A Comparative Analysis on E-Voting System Using Blockchain", 4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU), Ghaziabad, India, 2019, pp. 1-4, <https://doi.org/10.1109/IoT-SIU.2019.8777471>.
- [5]. Vivek, S. K., Yashank, R. S., Prashantha, Y., Yashas, N. and Namratha M., (2020) "E-Voting Systems using Blockchain: An Exploratory Literature Survey", Second International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA), Coimbatore, India, 2020, pp. 890-895, <https://doi.org/10.1109/ICIRCA48905.2020.9183185>.
- [6]. Pawlak, Michal and Poniszewska-Maranda, Aneta. (2021), "Trends in blockchain-based electronic voting systems". Information Processing & Management, Elsevier, 58(4):102595, <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2021.102595>.
- [7]. Xuechao Yang, Xun Yi, Surya Nepal, Andrei Kellarev, and Fengling Han. (2020), "Blockchain voting: Publicly verifiable online voting protocol without trusted tallying authorities". Future Generation Computer Systems, Elsevier, 112:859-874, <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.06.051>.
- [8]. Marwa Chaieb and Souheib Yousfi. (2020), "Loki vote: A blockchain-based coercion resistant e-voting protocol". European, Mediterranean, and Middle Eastern

Conference on Information Systems, Springer, pp. 151-168, https://doi.org/10.1007/978-3-030-63396-7_11.

[9]. Antonio M Larriba, Aleix Cerda i Cuco, Jose M Sempere, and Damian Lopez. (2021), "Distributed trust, a blockchain election scheme". Informatica, Vilnius University Institute of Data Science and Digital Technologies, pages 1-35, <https://doi.org/10.15388/20-INFOR440>.

[10]. Haibo Yi. "Securing e-voting based on blockchain in p2p network". (2019), EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, SpringerOpen, 2019. pp. 1-9, <https://doi.org/10.1186/s13638-019-1473-6>.

[11]. Andrew Barnes, Christopher Brake, and Thomas Perry. (2016), "Digital voting with the use of blockchain technology". Team Plymouth Pioneers- Plymouth University.

[12]. Abhishek Subhash Yadav, Ashish Uttamrao Thombare, Yash Vandesh Urade, and Abhijeet Anil Patil. (2020), "E-voting using blockchain technology. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)", <https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS070183>.

[13]. Pawade, Dipti and Sakhapara, Avani and Badgujar, Aishwarya and Adepur, Divya and Andrade, Melvita. (2020), "Secure online voting system using biometric and blockchain". pp. 93-110., https://doi.org/10.1007/978-981-32-9949-8_7.

[14]. Akhil Shah, Nishita Sodhia, Shruti Saha, Soumi Banerjee and Madhuri Chavan. (2020), "Blockchain Enabled Online-Voting System. ITM Web Conference, 32. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20203203018>.

[15]. Shao, Wei, and Jia, Chunfu and Xu, Yunkai and Qiu, Kefan and Gao, Yan and He, Yituo. (2020), "Attrichain: Decentralized traceable anonymous identities in privacy-preserving permissioned blockchain". Computers & Security, Elsevier, 99, <https://doi.org/10.1016/j.cose.2020.102069>.

[16]. Xu, Ze and Cao, Sanxing. (2020), "Efficient Privacy-Preserving Electronic Voting Scheme Based on Blockchain". 2020 IEEE International Conference on Smart Internet of Things (SmartIoT), IEEE, pages 190-196, <https://doi.org/10.1109/SmartIoT49966.2020.00036>.

[17]. Kirillov, Denis, Korkhov, Vladimir, Petrunin, Vadim, Makarov, Mikhail, Khamitov, Ildar M. and Dostov, Victor. (2019), "Implementation of an e-voting scheme using hyperledger fabric permissioned blockchain". International Conference on Computational Science and Its Applications, Springer, pp. 509-521, https://doi.org/10.1007/978-3-030-24296-1_40.

[18]. Seftyanto, Donny and Amiruddin, Amiruddin and Hakim, Arif Rahman. (2019), "Design of Blockchain-Based Electronic Election System Using Hyper-ledger: Case of Indonesia". 2019 4th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE), IEEE, pp. 228-233, <https://doi.org/10.1109/ICITISEE48480.2019.9003768>.

[19]. Soud, Majd and Helgason, Sigurdur and Hjalms-tysson, Gisli and Hamdaqa, Mohammad. (2020),

"TrustVote: On Elections We Trust with Distributed Ledgers and Smart Contracts". 2020 2nd Conference on Blockchain Research & Applications for Innovative Networks and Services (BRAINS), IEEE, pp. 176-183, <https://doi.org/10.1109/BRAINS49436.2020.9223306>.

[20]. Zhao, Zhichao and Chan, (2015), "T-H Hubert. How to vote privately using bitcoin. International Conference on Information and Communications Security, Springer, pp. 82-96, https://doi.org/10.1007/978-3-319-29814-6_8.

[21]. Harsha V Patil, Kanchan G Rathi, and Malati V Tribhuwan. (2018), "A study on decentralized e-voting system using blockchain technology". Int. Res. J. Eng. Technol, 5(11): pp. 48-53.

[22]. Trechsel A. (2016), "Potential and challenges of e-voting in the European Union". Доступно: https://cadmus.eui.eu/bitstream/handle/1814/44926/EUDO_REPORT_2016_11.pdf?sequence=1.

[23]. Ali Benabdallah, Antoine Audras, Louis Couderc, Nour El Madhoun and Mohamad Badra. (2022), "Analysis of Blockchain Solutions for E-Voting: A Systematic Literature Review". IEEE Access, 10, pp. 70746-70759. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3187688ff>. hal-03717773.

[24]. Skotnica, Marek and Aparicio, Marta and Pergl, Robert and Guerreiro, Sergio. (2021), "Process Digitalization using Blockchain". Europe Union Parliament Elections Case Study. MODELSWARD, pp. 65-75, <https://doi.org/10.5220/0010229000650075>.

[25]. Embracing Innovation in Government - Blockchain Voting for Peace in Colombia. Доступно: <https://www.oecd.org/gov/innovative-government/embracing-innovation-in-government-colombia.pdf>.

[26]. Official Website of the Mayor of Moscow. Доступно: <https://www.mos.ru/news/item/58866073>.

[27]. Osborne C. (2018), "Japanese city trials blockchain to replace traditional voting booths". Доступно: <https://thenextweb.com/news/japan-city-blockchain-voting>.

[28]. VotingDAO Announces Upcoming Inaugural Blockchain Person of The Year Decentralized Voting Event. Доступно: <https://zycrypto.com/votingdao-announces-upcoming-inaugural-blockchain-person-of-the-year-decentralize-d-voting-event/2022>.

[29]. AlAbri, R.; Shaikh, A.K.; Ali, S. and Al-Badi, A.H. (2022), "Designing an E-Voting Framework Using Blockchain Technology: A Case Study of Oman". Int. J. Electron. Gov. Res, 18, pp. 1-29, <https://doi.org/10.4018/IJEGR.298203>.

[30]. Rathee, G.; Iqbal, R.; Waqar, O. and Bashir, A.K. (2021), "On the Design and Implementation of a Blockchain Enabled E-Voting Application Within IoT-Oriented Smart Cities". IEEE Access 2021, 9, pp. 34165-34176, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3061411>.

[31]. Roopak, T. and Sumathi, R. (2020), "Electronic Voting based on Virtual ID of Aadhar using Blockchain Technology". In Proceedings of the 2nd International

Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA), Bangalore, India, 5–7 March 2020; pp. 71–75, <https://doi.org/10.1109/ICIMIA48430.2020.9074942>.

[32]. Krishna, S.B.; Arvinth, M.P. and Alagappan, M. (2019), "Secured Electronic Voting System Using the Concepts of Blockchain". In Proceedings of the IEEE 10th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON), Vancouver, BC, Canada, 17–19 October 2019; pp. 675–681, <https://doi.org/10.1109/IEMCON.2019.8936310>.

[33]. Singh, A. and Chatterjee, K. (2018), "SecEVS: Secure Electronic Voting System Using Blockchain Technology". In Proceedings of the International Conference on Computing, Power and Communication Technologies

(GUCON), Greater Noida, India, 28–29 September 2018; pp. 863–867, <https://doi.org/10.1109/GUCON.2018.8675008>.

[34]. El Fezzazi, A.; Adadi, A. and Berrada, M. (2021), "Towards a Blockchain based Intelligent and Secure Voting". In Proceedings of the 2021 Fifth International Conference on Intelligent Computing in Data Sciences (ICDS), Fez, Morocco, 20–22 October 2021; pp. 1–8, <https://doi.org/10.1109/ICDS53782.2021.9626751>.

[35]. Яланецький В.А., Лашин Л. Веб-сервіс таємного голосування на блокчейні [Електронний ресурс]. Інтернет конференція «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення». Доступно: <http://www.konferenciaonline.org.ua/ua/article/id-679/>.

УДК 378.147

Yalanetskyi V. Blockchain-based electronic voting systems

Abstract. Developed democratic countries are rapidly improving the infrastructure of electoral expression systems. Blockchain technology has quickly flooded the shortage of innovations in various spheres of human activity. The concepts of a decentralized register of vote storage and the exclusion of third parties from the voting paradigm are also being gradually introduced into the support systems of the election process. Third parties, who are usually vote riggers, could not be disposed of. With the advent of blockchains such an opportunity is becoming a reality. The object of the study is the process of electronic voting. The subject of the study are e-voting systems on decentralized ledgers such as blockchain. The aim of the work is to conduct a review study of existing e-voting systems on the most used, common and reliable Bitcoin and Ethereum blockchains. Among the studied blockchain solutions for e-voting, unfortunately, none has been implemented at the national level. In future research, it is planned to search for e-voting systems on the latest blockchains, in particular on the Near Protocol blockchain.

Key words: digitization of the election process, electronic voting system, digital voting in education, distributed ledger, blockchain technology, blockchain.

Яланецький Валерій Анатолійович, старший викладач Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Valerii Yalanetskyi, senior lecturer of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute».

Отримано 23 червня 2023 року, затверджено редколегією 28 серпня 2023 року
