

М. С. Кавецький, О. І. Федюшин, В. В. Просолов, В. О. Фроленко

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

АНАЛІЗ БЛОКЧЕЙНІВ НА МОЖЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ЗАСТОСУНКІВ

Анотація. Предметом дослідження є можливості блокчейн-платформ для розробки децентралізованих застосунків (DApps), з акцентом на продуктивність, масштабованість, розробку смарт-контрактів, екосистему, вартість транзакцій та відповідність регуляціям. **Завдання статті** полягає в аналізі платформ, визначенні їх сильних і слабких сторін та допомозі розробникам у виборі оптимальної технології для реалізації проєктів. **Висновки:** проведене дослідження показало, що блокчейни Aptos та Solana мають доволі непогані загальні характеристики для розробки більшості децентралізованих застосунків.

Ключові слова: блокчейн, Ethereum, Solana, Optimism, Tron, BNB, Avalanche, Polygon, Hedera, Aptos.

Вступ

Актуальність дослідження блокчейнів на можливості у розробці децентралізованих застосунків (DApps) обумовлена швидким розвитком технологій розподіленого реєстру та їх зростаючою популярністю у різних сферах, через що з'являється багато блокчейнів, серед яких складно обрати найкращий. Минулий рік був дуже сприятливий для криптовалют, де за даними Мінфіну [1] капіталізація ринку зросла з 795 млрд до поточних 1,55 трлн (+95%), багато ключових гравців вистояли під натиском регуляторів. За прогнозами [2], глобальний ринок блокчейну до 2030 року досягне вартості 1,431.54 мільярда доларів, зростаючи з середньорічним темпом (CAGR) приблизно 85.9% з 2022 по 2030 рік. Крім того, блокчейн може збільшити глобальний ВВП на 1.76 трильйона доларів до 2030 року [2]. Це свідчить про суттєвий вплив технології на економіку. Дослідження також показують, що 96% експертів у фінансових послугах вважають, що блокчейн досягнув масового впровадження [2]. У виробництві блокчейн зростає з темпом 73% між 2023 і 2026 роками [2]. Прозорість та відслідковуваність є головними факторами, що стимулюють впровадження блокчейну.

У світі, де безпека та прозорість даних стають пріоритетами, блокчейни пропонують унікальні рішення, які дозволяють створювати системи з високим рівнем захисту від втручання та шахрайства. Водночас, збільшення кількості користувачів та транзакцій вимагає від блокчейн-платформ не тільки стабільної роботи, але й високої продуктивності та масштабованості. Саме тому аналіз продуктивності, розробки смарт-контрактів, екосистеми, вартості транзакцій, інтероперабельності та відповідності регуляціям є вкрай важливим для розробників, які планують створювати DApps. Технологічні інновації, зокрема впровадження нових механізмів консенсусу та інструментів для розробки, суттєво впливають на спроможність блокчейнів задовольняти потреби сучасних застосунків. Оцінка цих аспектів дозволяє зрозуміти, які блокчейн-платформи є найбільш перспективними для розробки децентралізованих застосунків, що, в свою чергу, сприяє розвитку інноваційних рішень у різних галузях, включаючи фінанси, логістику, охорону здоров'я та багато інших.

Метою даної роботи є проведення детального аналізу можливостей різних блокчейн-платформ у контексті розробки децентралізованих застосунків. Це включає оцінку продуктивності та масштабованості, зручності розробки смарт-контрактів, екосистеми та підтримки, вартості транзакцій, інтероперабельності та відповідності регуляціям. Визначення сильних та слабких сторін кожної платформи допоможе розробникам обрати найбільш підходящу технологію для реалізації своїх проєктів, забезпечуючи тим самим їхню успішність та ефективність.

Виклад основного матеріалу

Блокчейн та децентралізовані застосунки

Блокчейн — це розподілена база даних або цифровий реєстр, який зберігає інформацію у вигляді блоків, зв'язаних між собою за допомогою криптографії [3]. Кожен блок містить певну кількість записів про транзакції та унікальний криптографічний геш попереднього блоку, що утворює ланцюжок блоків, або блокчейн. Ця структура забезпечує незмінність даних та захист від несанкціонованого втручання. Завдяки своїй децентралізованій природі, блокчейн не має центрального контролюючого органу — всі учасники мережі мають копію бази даних і разом підтверджують транзакції, що робить систему стійкою до атак і збоїв.

Blockchain був розроблений як відповідь на ці проблеми. Він впроваджує практику додавання блоків після кожної транзакції, які обмінюються всіма користувачами мережі і створюють розподілену, децентралізовану мережу [4].

Децентралізовані застосунки (DApps) — це програмні застосунки, що працюють на децентралізованих мережах, таких як блокчейн. Вони відрізняються від традиційних централізованих застосунків тим, що не мають єдиного центрального сервера або контролюючого органу. Замість цього, DApps використовують смарт-контракти — програмні протоколи, які автоматично виконують певні дії при виконанні визначених умов. Смарт-контракти розміщуються на блокчейні, що забезпечує прозорість, безпеку та незмінність виконання коду [4]. Це дозволяє створювати застосунки, що працюють безпосередньо між користувачами без посередників, знижуючи ризики шахрайства і покращуючи ефективність.

Важливою особливістю DApps є їхня архітектура, яка забезпечує більшу прозорість та стійкість до цензури порівняно зі звичайними веб-застосунками. Замість зберігання даних на централізованих серверах, як це робиться у веб2, DApps зберігають інформацію на блокчейні. Це дозволяє користувачам мати повний контроль над своїми даними та забезпечує їхню безпеку [5].

Також в даній області слід ввести поняття Веб2 та Веб3. Де Веб2 — це друга генерація Інтернету, яка зосереджена на централізованих сервісах та інтерактивності. Веб2 дозволяє користувачам створювати контент, взаємодіяти з іншими через соціальні мережі, блоги, та веб-застосунки. Основною характеристикою Веб2 є централізоване управління даними компаніями, які надають платформи для взаємодії. Веб3 — це наступне покоління інтернету, яке базується на децентралізованих технологіях, таких як блокчейн. Веб3 надає користувачам більший контроль над своїми даними, дозволяє створювати та використовувати децентралізовані застосунки (DApps) без посередників. Основними характеристиками Веб3 є прозорість, безпека та децентралізоване управління.

Відмінності між Веб2 та Веб3 є значущими і охоплюють кілька аспектів. У Веб2 моделі більшість застосунків залежать від централізованих серверів, що належать окремим компаніям. Ці компанії мають контроль над даними користувачів, можуть монетизувати їх і навіть обмежувати доступ до сервісів. Веб3, заснований на блокчейні та DApps, відмовляється від централізованого контролю, надаючи користувачам більше контролю над своїми даними та взаємодіями.

У Веб3 користувачі зберігають власні дані і можуть взаємодіяти з DApps без посередників. Це створює більш безпечне та приватне середовище, де дані користувачів захищені криптографією і розподілені по всій мережі. Прозорість смарт-контрактів дозволяє будь-кому переглядати логіку застосунків і бути впевненими в їх чесності та безпеці.

Таким чином, блокчейн та децентралізовані застосунки (DApps) є ключовими компонентами нової парадигми Веб3. Блокчейн забезпечує надійну та безпечну основу для зберігання даних і виконання транзакцій, тоді як DApps використовують цю інфраструктуру для створення інноваційних програмних рішень. Уявіть блокчейн як інфраструктуру, яка надає незмінні записи та безпеку, тоді як DApps є додатками, що працюють на цій інфраструктурі, надаючи користувачам різноманітні функції та сервіси без потреби у централізованому контролі. Це поєднання створює нові можливості для розробки програмних рішень, які є безпечними, прозорими та стійкими до цензури, відкриваючи шлях до більш децентралізованого інтернету та економіки.

Аналіз важливих елементів блокчейну для децентралізованих застосунків. Аналіз блокчейнів на можливості розробки децентралізованих застосунків (DApps) передбачає оцінку кількох ключових параметрів та властивостей різних блокчейн-платформ. Перший важливий аспект — продуктивність та

масштабованість. Тут варто звернути увагу на кількість транзакцій, які може обробити блокчейн за секунду (TPS), час підтвердження транзакції та механізм консенсусу. Наприклад, Proof of Work (PoW) відомий своєю високою безпекою, але повільною швидкістю, тоді як Proof of Stake (PoS) пропонує швидші транзакції з меншими енергозатратами. Важливо оцінювати, наскільки обрана платформа може впоратися з навантаженням великої кількості користувачів.

Другий аспект — розробка смарт-контрактів. Це включає мови програмування, які підтримує блокчейн, такі як Solidity для Ethereum або Rust для Solana. Також слід враховувати наявність засобів розробки та підтримки інструментів, таких як IDE, бібліотеки та фреймворки. Безпека смарт-контрактів є критично важливою, тому наявність інструментів для аудиту та виявлення вразливостей допомагає уникнути потенційних проблем.

Третій важливий аспект — екосистема та підтримка. Кількість активних розробників, які працюють з платформою, може значно вплинути на її розвиток та популярність.

Якість документації та наявність технічної підтримки забезпечують легкість у навчанні та використанні платформи. Активне ком'юніті, форуми та конференції сприяють обміну знаннями та підтримці розробників.

Вартість транзакцій також має велике значення. Комісії за транзакції можуть варіюватися в залежності від платформи та навантаження на мережу. Важливо враховувати вартість розгортання смарт-контрактів та обслуговування, оскільки це впливає на економічну ефективність проекту.

Інтероперабельність блокчейну — це здатність взаємодіяти з іншими блокчейнами та підтримка різних токенів.

Можливість міжланцюгових транзакцій розширює функціональність DApps та дозволяє інтеграцію з іншими системами.

Підтримка стандартів токенів, таких як ERC-20 або ERC-721, також важлива для розробки різноманітних застосунків.

Відповідність регуляціям є критичним аспектом, особливо в контексті зростаючої уваги з боку державних органів. Блокчейн-платформа повинна відповідати місцевим законам та регуляціям, щоб уникнути юридичних проблем. Приватність даних та механізми їх захисту також є важливими для багатьох застосунків, що потребують зберігання конфіденційної інформації.

Приклади популярних блокчейн-платформ для розробки DApps включають Ethereum, Solana, Polkadot та Binance Smart Chain (BSC). Кожна з цих платформ має свої особливості. Ethereum відомий своєю великою екосистемою та підтримкою смарт-контрактів на Solidity, хоча й має високі комісії. Solana пропонує високу швидкість та низькі комісії, що робить її привабливою для розробників. Polkadot забезпечує інтероперабельність між блокчейнами та можливість створення парачейнів. Binance Smart Chain відрізняється низькими комісіями та активною

спільнотою, що робить її популярною у сфері DeFi. Узагалі, при виборі блокчейн-платформи для розробки DApps необхідно враховувати специфічні потреби конкретного застосунку, такі як швидкість, безпека, вартість, підтримка розробників та можливість інтеграції з іншими системами.

Кожна платформа має свої переваги та недоліки, які потрібно ретельно аналізувати для досягнення найкращих результатів у розробці децентралізованих застосунків.

Порівняльний аналіз блокчейнів. Для порівняльного аналізу блокчейнів пропонується комплексно підійти до аналізу, та зробити порівняльний аналіз за різними показниками, включаючи показники швидкодії блокчейну, його поточний стан на ринку, інструменти для дослідника та ком'юніті розробників, а також самі характеристики блокчейну.

Наступна таблиця (табл. 1) була зібрана використовуючи відомості з ресурсу, який спеціалізується на аналітиці технічних метрик блокчейн платформ [6].

Таблиця 1 – Порівняння блокчейнів за параметром швидкодії

Назва	TPS на момент 21.07.2024	Максимальний отриманий TPS	Максимальний теоретичний TPS	Час блоку, сек	TTF	Модель управління
Ethereum	12.85	62.34	119	12.04	16 хв	Off-chain
Solana	777	7229	65000	0.45	12 сек	Off-chain
Optimism	6.6	67.41	714	2	16 хв	On-chain
Tron	70.47	236	2516	3	57 сек	On-chain
BNB Chain	31.66	1731	2222	3	7 сек	On-chain
Avalanche	2.47	92.74	357	2	0 сек	On-chain
Polygon	29.68	429	649	2.15	4 хв	Off-chain
Hedera	1821	3287	10000	2	7 сек	Council
Aptos	11.08	7480	160000	0.22	1 сек	On-chain

На основі наданої табл. 1, проведемо порівняльний аналіз блокчейнів для розробки децентралізованих застосунків (dApps). Розглянемо кожен параметр окремо та зробимо висновки щодо найкращих і найгірших блокчейнів.

Почнемо з параметра TPS на момент написання статті 21.07.2024. Найкращий показник має блокчейн Hedera з 1821 транзакцією за секунду (TPS). Це значно перевищує показники інших блокчейнів. Найгіршим у цьому показнику є Avalanche з лише 2.47 TPS, що свідчить про значно меншу пропускну здатність.

При аналізі максимального отриманого TPS, Aptos виявляється лідером із 7480 TPS, демонструючи значні можливості під час пікових навантажень. На іншому кінці спектра знаходиться Ethereum з 63.34 TPS, що є найменшим показником серед усіх блокчейнів.

Максимальний теоретичний TPS розкриває потенційні можливості блокчейнів. Aptos виділяється з колосальними 160000 TPS, що робить його найкращим у цій категорії. Ethereum, з іншого боку, має найменший теоретичний максимум у 119 TPS, що обмежує його потенційну масштабованість.

Час блоку також є важливим показником. Aptos має найменший час блоку — 0.22 секунди, що забезпечує швидку обробку транзакцій. Найбільший час блоку, 12.04 секунди, має Ethereum, що може стати перешкодою для швидких транзакцій.

TTF (Time to Finality) є ще одним важливим параметром. Avalanche показує найкращий результат із нульовим часом до фінальної транзакції, що означає миттєве підтвердження. Найгірший показник у Ethereum та Optimism, де TTF становить по

16 хвилин. Модель управління може бути суб'єктивним параметром і залежить від вимог до управління конкретного проекту. Деякі блокчейни використовують on-chain моделі (Ethereum, Optimism, Tron, BNB Chain, Avalanche, Aptos), деякі off-chain (Solana, Polygon), а Hedera використовує модель Council.

Згідно з проведеним порівняльним аналізом блокчейнів для розробки децентралізованих застосунків (dApps), найкращим блокчейном у більшості параметрів виявився Aptos. Він демонструє високі показники як максимального отриманого TPS (7480 TPS), так і теоретичного максимуму (160000 TPS), а також має найменший час блоку — лише 0.22 секунди. Ці характеристики роблять його надзвичайно потужним і масштабованим рішенням для швидкої та ефективної обробки транзакцій.

З іншого боку, Ethereum показав найгірші результати у кількох важливих категоріях, таких як максимальний отриманий TPS (63.34 TPS), теоретичний максимум (119 TPS) і час блоку (12.04 секунди). Варто зазначити, що в аналізі використовувався блокчейн Ethereum з Proof of Work (PoW), що значно обмежує його продуктивність і масштабованість порівняно з новішими блокчейнами.

Отже, Aptos є найкращим вибором для розробників децентралізованих застосунків завдяки своїм високим показникам пропускну здатності та швидкості обробки транзакцій. Це робить його ідеальним для проектів, які потребують швидкої обробки та великої кількості транзакцій.

В табл. 2 показано поточний стан цих блокчейнів на ринку. Дані були зібрані на момент 21.07.2024, а також показано їх зміну за останні 30 днів. Дані було взято з сервісу DappRadar [7].

Таблиця 2 – Порівняння блокчейнів за поточною ситуацією на ринку

Назва	Ціна токєну	K-сть Dapps	Кон-тракти	Загальне UAW	DeFi TVL	NFT об'єм	Транзакції	Dapps об'єм
Ethereum	\$3.52k -0.01%	4,710 +28	179.67k	1.82M -15.61%	\$65.97B -18.86%	\$219.23M -52.9%	6.87M -30.36%	\$220.71B +10.07%
Solana	\$173.84 +29.94%	302 +9	1.85k	9.97M +9.15%	\$1.52B +23.38%	\$51.1M -4.28%	470.54M +78.11%	\$3.91B -14.91%
Optimism	\$1.93 +3.76%	288 +5	4.9k	998.98k -7.06%	\$304.94M -34.54%	-	1.94M -4.01%	\$7.06B +8.23%
Tron	\$0.134 +15.31%	1,386 +1	25.68k	54.27k +6.41%	-	\$3.89k +11,097.77%	414.19k +9.97%	\$1.11B +22.85%
BNB Chain	\$597.25 +0.88%	5,433 +30	81.56k	3.06M -26.28%	\$2.98B -13.07%	\$214.93k -65.27%	18.33M -17.52%	\$18.53B -25.72%
Avalanche	\$28.79 +3.94%	611 +9	4.3k	129.22k -0.32%	\$620.17M +13.96%	\$110.22k -32.78%	697.1k -7.73%	\$750.78M +0.78%
Polygon	\$0.54 -6.8%	2,209 +32	101.98k	8.08M -1.44%	\$614.41M -37.54%	\$133.34M +73.19%	55.37M -5.53%	\$6.3B -17.55%
Hedera	\$0.0746 -8.36%	29 0	176	6.71k -38.43%	\$7.59M -6.05%	\$73.92k -75.08%	185.18k -26.23%	\$79.3M -37.95%
Aptos	\$7.42 +6.46%	34 +4	57	2.19M -9.58%	\$419.17M +22.83%	-	13.72M -85.67%	\$1.02B +18.12%

З табл. 2 видно, що Ethereum має найвищу ціну токєну серед усіх блокчейнів, досягаючи \$3.52k, хоч це і на 0.01% менше порівняно з попереднім місяцем. Це свідчить про високу ринкову вартість та стабільність Ethereum. З іншого боку, найнижчу ціну токєну має Hedera – \$0.0746, що також зменшилося на 8.36%, вказуючи на менший ринок або більшу доступність. Токєн блокчейну Solana має непогану тенденцію росту.

Щодо кількості децентралізованих додатків (Dapps), BNB Chain лідирує з 5,433 Dapps, збільшившись на 30 за останні 30 днів. Це свідчить про велику популярність платформи серед розробників. Водночас, Hedera має лише 29 Dapps, і їх кількість залишилась незмінною, що може вказувати на новизну або меншу активність платформи.

Ethereum також має найбільшу кількість контрактів – 179.67k, що вказує на активне використання платформи для створення смарт контрактів. Aptos, з іншого боку, має найменшу кількість контрактів – 57, що вказує на меншу активність або новизну платформи.

Серед активних користувачів найбільше виділяється Solana з 9.97 мільйонами, збільшившись на 9.15% за останні 30 днів. Це свідчить про популярність платформи серед користувачів, а також можна бачити гарні перспективи розвитку. Hedera, навпаки, має найменшу кількість активних користувачів – 7.61k, зменшившись на 38.43%, що вказує на низьку активність.

Ethereum також лідирує у сфері DeFi із загальною заблокованою вартістю (TVL) у розмірі \$65.97B, хоч це і на 18.86% менше порівняно з попереднім місяцем. Це свідчить про значну кількість коштів, заблокованих у децентралізованих фінансових додатках.

Hedera має найнижчу заблоковану вартість – \$5.75M, що зменшилась на 60.65%, вказуючи на низьку активність у сфері DeFi. Для Tron дані щодо TVL відсутні.

Обсяг NFT на Ethereum є найвищим і становить \$219.23M, хоча зменшився на 52.9%. Це свідчить про активний ринок NFT на цій платформі. Найнижчий обсяг NFT на Tron – \$3.89k, але варто відзначити, що цей показник зріс на 1,197.77% за останні 30 днів.

Solana має найбільшу кількість транзакцій – 470.54 мільйони, що вказує на велику кількість операцій на платформі, збільшившись на 78.11%. Найменшу кількість транзакцій має Hedera – 26.3k, зменшившись на 85.67%, що вказує на низьку активність.

Найбільший обсяг децентралізованих додатків (Dapps) спостерігається на Ethereum – \$220.71B, збільшившись на 10.07%. Це свідчить про велику активність та використання платформи. Найнижчий обсяг Dapps у Hedera – \$12.8M, що зменшився на 37.95%, вказуючи на низьку активність.

З табл. 3 бачимо, що всі блокчейни підтримують щонайменше одну мову для програмування смарт контрактів для розробки децентралізованих застосунків. Ethereum використовує Solidity та Vyper, Solana – Rust, C, C++, а інші блокчейни переважно використовують Solidity. Hedera виділяється використанням Java та JavaScript.

Лідером по кількості зірок на гітхабі є Ethereum з 46.8 тис зірок, а Solana наздоганяє його з 12.7 тис, але все ще далеко. Optimism, який є Layer 2 рішенням для Ethereum, має 5.5 тис зірок, що показує зростаючий інтерес до масштабування Ethereum.

Кількість форків також найбільша у Ethereum (19.8 тис). Співвідношення відкритих та вирішених проблем у Ethereum доволі непогане (276 відкритих та 7771 вирішених).

Таблиця 3 – Порівняння блокчейнів за параметром швидкодії

Назва	Ім'я пакету GitHub	Мова розробки смарт-контрактів	Кількість GitHub зірок	Кількість GitHub форків	Відкриті/ вирішені GitHub проблеми (issues)	Останній коміт, (різниця часу)
Ethereum	github.com/ethereum/go-ethereum	Solidity, Vyper	46.8 тис	19.8 тис	276 / 7771	18.07.2024 (3 дні)
Solana	github.com/solana-labs/solana	Rust, C, C++	12.7 тис	4 тис	379 / 4994	22.03.2024 (4 місяці)
Optimism	github.com/ethereum-optimism/optimism	Solidity	5.5 тис	3 тис	139 / 995	19.07.2024 (2 дні)
Tron	github.com/tronprotocol/java-tron	Solidity	3.7 тис	1.4 тис	17 / 1441	08.07.2024 (2 тижні)
BNB Chain	github.com/bnb-chain/bsc	Solidity	2.6 тис	1.5 тис	13 / 1261	17.07.2024 (4 дні)
Avalanche	github.com/ava-labs/avalanchego	Solidity, Go	2.1 тис	652	135 / 628	19.07.2024 (2 дні)
Polygon	github.com/maticnetwork/heldall	Solidity	251	176	2 / 324	05.06.2024 (більше місяця)
Hedera	github.com/hashgraph/hedera-sdk-java	Solidity, Java, JavaScript	203	113	55 / 597	18.07.2024 (3 дні)
Aptos	github.com/aptos-labs/aptos-core	Move	6 тис	3.6 тис	463 / 1722	20.07.2024 (вчора)

Polygon має найменшу кількість відкритих issues (2) відносно загальної кількості вирішених (324), що може свідчити про ефективне вирішення проблем.

Цікаво, що Aptos, незважаючи на відносно невелику кількість зірок (6 тис), має найбільшу кількість відкритих issues (463), що може вказувати на активну розробку та залучення спільноти.

З огляду на дату останнього коміту (18.07.2024) та інших описаних вище показників можна сказати, що у Ethereum найкраща активність на гітхабі, що свідчить про те, що проект розвивається досить непогано. Дати останніх комітів для більшості проектів досить свіжі (липень 2024), що вказує на активний розвиток.

Інші блокчейни не такі популярні, але на другому місці стоїть перспективна Solana, яка може ще себе показати, бо показувала непоганий приріст по основним показникам з характеристик в табл. 4.

Аналізуючи технології різних блокчейн-платформ, можна виокремити ті, які пропонують найвищий рівень захисту, а також виявити ті, що мають певні ризики.

Aptos вирізняється серед інших завдяки використанню мови програмування Move, яка була спеціально розроблена для зменшення ймовірності помилок у смарт-контрактах. Цей підхід значно знижує ризики, пов'язані з безпекою, що робить Aptos однією з найнадійніших платформ. Додатково, механізм консенсусу Proof of Stake (PoS) забезпечує високий рівень децентралізації, що ускладнює централізовані атаки на мережу. Але дана система нова та не пройшла перевірку часом.

Ethereum також демонструє високий рівень безпеки завдяки своїй розвиненій екосистемі аудиту смарт-контрактів. Вона є однією з найбільш зрілих у блокчейн-світі, що зменшує вразливість мережі до атак. Крім того, завдяки довгій історії розвитку та широкій підтримці спільноти, Ethereum швидко виявляє та виправляє потенційні уразливості.

Hedera виділяється своїм унікальним механізмом консенсусу Hashgraph, який забезпечує високий рівень безпеки завдяки швидкій обробці транзакцій і стійкості до атак. Високий рівень децентралізації, що досягається через управління мережею Консультативною радою, також сприяє підвищенню безпеки та запобіганню централізованим атакам.

На противагу цьому, Tron має певні ризики через низький рівень децентралізації, що є наслідком використання механізму Delegated Proof of Stake (DPoS).

Такий підхід забезпечує управління мережею невеликою кількістю валідаторів, що підвищує ризик централізації та можливість зловживань. Крім того, відомі випадки атак на смарт-контракти та DDoS-атаки свідчать про наявність вразливостей у цій мережі.

BNB Chain також демонструє середній рівень безпеки через схожі проблеми з децентралізацією, використовуючи механізм DPoS. Незважаючи на наявність сильної екосистеми аудиту, мережа пережила кілька хардфорків, що свідчить про можливість виникнення критичних помилок у її роботі.

Solana, хоч і є потужною платформою, також має певні ризики через свою схильність до перевантаження мережі.

Таблиця 4 – Порівняння безпеки блокчейнів

Аспект безпеки	Aptos	Ethereum	Solana	Optimism	Tron	BNB Chain	Avalanche	Polygon	Hedera
Механізм консенсусу	Proof of Stake (PoS)	Proof of Stake (PoS) (після The Merge)	Proof of History (PoH) + PoS	Optimistic Rollup	Delegated Proof of Stake (DPoS)	Delegated Proof of Stake (DPoS)	Proof of Stake (PoS)	Proof of Stake (PoS)	Hashgraph
Рівень децентралізації	Високий	Високий	Середній	Середній	Низький	Середній	Високий	Середній	Високий
Модель управління	Управління власниками токенів	Управління через DAO і власників токенів	Управління валідаторами	Управління через DAO	Управління валідаторами	Управління валідаторами	Управління власниками токенів	Управління через DAO	Управління через Консультативну раду
Історія оновлень та форків	Нова мережа, поки що без форків	Значна історія, багато форків	Перевантаження мережі, інциденти з атаками	Мала історія форків	Хардфори за необхідності	Декілька хардфорків	Історія форків	Декілька хардфорків	Без форків (протокол Hashgraph)
Аудит смарт-контрактів	Забезпечений через Move	Потужна екосистема аудиту	Потужна екосистема аудиту	Використовує Solidity, підтримка аудиту	Потужна екосистема аудиту	Потужна екосистема аудиту	Підтримка аудиту смарт-контрактів	Потужна екосистема аудиту	Підтримка аудиту смарт-контрактів
Відомі атаки	Поки що немає	DAO Hack, Poly Network Hack	Перевантаження мережі	Поки що немає	Уразливості смарт-контрактів, DDoS атаки	Уразливості смарт-контрактів	Уразливості в DeFi	Експлойти в смарт-контрактах	Поки що немає
Протоколи безпеки	Високий рівень, Move мінімізує помилки	Високий рівень, багато рішень	Середній рівень, робота з перевантаженням	Оптимізований для масштабування	Середній рівень, захист від DDoS	Середній рівень, захист від DDoS	Високий рівень захисту	Високий рівень захисту	Високий рівень захисту
Регуляторні аспекти	Відносно новий, вплив мінімальний	Підвищена увага регуляторів	Підвищена увага регуляторів	В процесі адаптації	Підлягає регуляції	Регулятори слідкують за діяльністю	Активний контроль регуляторів	Активний контроль регуляторів	Впливає на законодавчі рішення

Це може впливати на загальну безпеку та робити мережу більш вразливою до атак. Додатково, середній рівень децентралізації та обмежене управління мережею викликають занепокоєння щодо безпеки цієї платформи.

Таким чином, платформи, такі як Aptos, Ethereum та Hedera, є найбільш безпечними завдяки своїм інноваційним технологіям, високому рівню децентралізації та надійним механізмам консенсусу.

Водночас, Tron, BNB Chain і Solana мають певні ризики, пов'язані з централізацією та історією вразливостей, що робить їх менш стійкими до потенційних атак.

Висновки

У висновку можна зазначити, що проведений аналіз можливостей різних блокчейн-платформ для розробки децентралізованих застосунків (DApps)

підтверджує, що вибір платформи залежить від специфічних вимог і цілей проекту.

Кожна з розглянутих платформ має свої унікальні переваги та недоліки.

На основі проведеного аналізу можна виділити два блокчейни, які демонструють найкращі показники: Aptos та Solana. Aptos вражає своїми характеристиками, маючи найвищий максимальний отриманий TPS у 7480 та теоретичний максимум у 160000 TPS, а також найменший час блоку - всього 0.22 секунди. Solana не відстає, показуючи високий поточний TPS у 777, максимальний отриманий TPS у 7229 та другий найвищий теоретичний максимум у 65000 TPS.

Крім того, Solana має дуже малий час блоку в 0.45 секунди та швидкий час до фінальності (TTF) у 12 секунд. Обидва блокчейни демонструють відмінну продуктивність та масштабованість, що робить

їх найперспективнішими для розробки децентралізованих застосунків. На противагу цьому, Ethereum у версії Proof of Work виявляється найгіршим серед порівнюваних блокчейнів. Він має низький поточний TPS у 12.85, найнижчий максимальний отриманий TPS у 62.34 та теоретичний максимум лише у 119 TPS. Крім того, Ethereum має найбільший час блоку в 12.04 секунди та найдовший TTF у 16 хвилин. Такі показники суттєво обмежують ефективність Ethereum для сучасних децентралізованих застосунків, особливо порівняно з більш продуктивними альтернативами.

Щодо даних по поточній ситуації на ринку, то Ethereum залишається лідером ринку за багатьма ключовими показниками. Він має найвищу ціну токена, найбільшу кількість смарт-контрактів, найвищий показник TVL у DeFi секторі та найбільший обсяг NFT. Це свідчить про високу довіру інвесторів, активне використання платформи розробниками та значну популярність у DeFi та NFT сегментах. Solana демонструє вражаючий прогрес, маючи найбільшу кількість активних користувачів та транзакцій, а також показуючи значне зростання в цих категоріях. Це вказує на зростаючу популярність платформи та її потенціал стати серйозним конкурентом Ethereum. BNB Chain лідирує за кількістю децентралізованих додатків, що свідчить про її популярність серед розробників. Aptos, незважаючи на свої технічні переваги, поки що має невелику кількість контрактів, що може вказувати на ранню стадію розвитку екосистеми. Hedera демонструє найнижчі показники в багатьох категоріях, включаючи ціну токена, кількість Dapps, активних користувачів, TVL у DeFi та обсяг

Dapps. Це може свідчити про те, що платформа все ще знаходиться на ранній стадії розвитку або стикається з труднощами в залученні користувачів та розробників.

Щодо ситуації з ком'юніті, то Ethereum лідирує за розміром та активністю спільноти розробників, маючи найбільшу кількість зірок і форків на GitHub, а також підтримуючи кілька мов програмування. Solana посідає друге місце за популярністю серед розробників, демонструючи зростаючий інтерес. Aptos показує високу активність розробки, незважаючи на меншу кількість зірок. Optimism привертає увагу як перспективне рішення для масштабування Ethereum. Polygon відзначається ефективним вирішенням проблем. Більшість проектів демонструють активний розвиток, про що свідчать свіжі дати останніх комітів. Загалом, хоча Ethereum залишається лідером, інші блокчейни, особливо Solana та Aptos, показують значний потенціал росту та активне залучення розробників, що свідчить про здорову конкуренцію в екосистемі.

Щодо ситуації з безпекою, то можна сказати, що блокчейни Aptos, Ethereum та Hedera, є найбільш безпечними завдяки своїм інноваційним технологіям, високому рівню децентралізації та надійним механізмам консенсусу. Водночас, Tron, BNB Chain і Solana мають певні ризики, пов'язані з централізацією та історією вразливостей, що робить їх менш стійкими до потенційних атак.

У підсумку, блокчейн Ethereum показує непогані результати, але по динаміці росту Solana має всі шанси вирватися вперед та стати новим лідером у сфері розробки децентралізованих застосунків.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Що буде з криптовалютою у 2024 році [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://minfin.com.ua/ua/crypto/articles/vid-nulya-do-milyona-yaki-z-navguchnishih-prognoziv-pro-kriptu-mozhut-zbutisya-vzhe-u-2024-roci/>
2. 19 Must-know blockchain statistics [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://findstack.com/resources/blockchain-statistics>
3. Guo, H., & Yu, X. (2022). A survey on blockchain technology and its security. *Blockchain: research and applications*, 3(2), 100067
4. Mohammed, A. H., Abdulateef, A. A., Abdulateef, I. A. (2021, June). Hyperledger, Ethereum and blockchain technology: a short overview. In *2021 3rd International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)* (pp. 1-6). IEEE.
5. Garg, Aakash & Tyagi, Ankit & Patel, Anant & Raj, Divyansh. (2023). *Blockchain and Decentralized Apps*.
6. TPS dashboard [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://chainspect.app/dashboard>
7. Top blockchains [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dappradar.com/rankings/chains>

Received (Надійшла) 14.05.2024

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.08.2024

Analysis of blockchains for the development of decentralized applications

M. Kavetskyi, O. Fedyushyn, V. Prosolov, V. Frolenko

Abstract. The goal of this work is to conduct a detailed analysis of the capabilities of various blockchain platforms in the context of developing decentralized applications. The study covers the evaluation of key aspects such as performance, scalability, ease of smart contract development, ecosystem and support, transaction costs, interoperability, and regulatory compliance. Identifying the strengths and weaknesses of each platform aims to help developers choose the most suitable technology for their projects, ensuring their success and efficiency in the dynamic world of blockchain technologies. The article will be useful for researchers and developers of decentralized applications who need to build fast and reliable blockchain-based systems.

Keywords: blockchain, Ethereum, Solana, Optimism, Tron, BNB, Avalanche, Polygon, Hedera, Aptos.