

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КРОСПЛАТФОРМНОЇ РОЗРОБКИ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ОБМІНУ ЦИФРОВИХ АКТИВІВ

Оксак М. А.

Київський столичний університет імені Бориса Грінченка, м. Київ

ВСТУП

Актуальність і постановка проблеми. Стрімкий розвиток децентралізованих фінансових систем (DeFi) та зростання ринку цифрових активів зумовлює підвищений попит на програмні застосунки, здатні ефективно взаємодіяти з блокчейн-інфраструктурою на різних платформах. Сучасний ринок вимагає від розробників забезпечення доступності продуктів на iOS, Android, веб- та десктоп-платформах одночасно, що робить кросплатформну розробку стратегічно важливим напрямом.

Водночас проблема оптимізації обміну цифрових активів є надзвичайно актуальною: через фрагментацію ліквідності між різними децентралізованими біржами (DEX) користувачі часто здійснюють обміни за неоптимальними курсами, втрачаючи значну частину коштів внаслідок прослизання (slippage), завищених комісій або неефективного вибору маршруту транзакції. Загальна заблокована вартість (TVL) у DeFi-протоколах у 2024 році перевищила 100 млрд доларів США [1], однак більшість користувачів не мають доступу до зручних кросплатформних інструментів для пошуку оптимальних маршрутів обміну токенів, що суттєво знижує ефективність їхніх операцій та підвищує транзакційні витрати.

Поєднання двох викликів - розробки якісного кросплатформного застосунку та реалізації ефективної логіки маршрутизації DeFi-обміну - формує комплексну науково-практичну проблему, що потребує системного дослідження. Особливої гостроти це набуває в контексті зростання кількості EVM-сумісних блокчейнів і фрагментації ліквідності між ними.

Мета дослідження. Метою роботи є дослідження та обґрунтування ефективних технологій кросплатформної розробки програмного забезпечення і методів оптимізації обміну цифрових активів, а також практичне створення кросплатформного програмного застосунку, що реалізує алгоритми пошуку оптимальних маршрутів обміну токенів у децентралізованих фінансових системах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням кросплатформної розробки присвячено роботи Fentaw A. C. [2], у яких порівнюються фреймворки React Native, Flutter та Kotlin Multiplatform з погляду продуктивності та якості користувацького досвіду. Дослідження показують, що Flutter забезпечує найбільш однорідний UI-досвід між

платформами завдяки власному рушію рендерингу, тоді як React Native пропонує ширший вибір бібліотек для роботи з Web3-технологіями [3].

У сфері DeFi-оптимізації значний внесок зробили автори протоколу 1inch [4], запропонувавши алгоритм Pathfinder для маршрутизації між кількома DEX. Angeris G. та Chitra T. [5] дослідили математичні засади формування цін в автоматичних маркет-мейкерах (АММ), зокрема довели властивості монотонності функції торгівлі та навели умови беззбиткового арбітражу. Adams H. та ін. [6] у технічному описі Uniswap V3 представили концентровану ліквідність як механізм підвищення ефективності капіталу. Проте комплексного дослідження, що поєднує кросплатформну розробку з методами оптимізації DeFi-обміну, у вітчизняній науковій літературі не представлено, що підтверджує актуальність і наукову новизну даної роботи.

Короткий опис дослідження, його методів і засобів

У процесі дослідження планується проведення порівняльного аналізу провідних фреймворків кросплатформної розробки: Flutter (Dart), React Native (JavaScript/TypeScript), Kotlin Multiplatform та Ionic. Аналіз здійснюватиметься за шістьма критеріями: підтримка Web3-бібліотек, продуктивність UI, рівень перевикористання коду, зрілість екосистеми, наявність блокчейн-бібліотек та підтримка протоколу WalletConnect. Результати порівняльного аналізу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз фреймворків кросплатформної розробки для DeFi-застосунків

| Критерій | React Native | Flutter | Kotlin Multiplatform | Ionic |
|-------------------------|---------------------|----------------|-----------------------------|--------------|
| Web3-підтримка | Відмінна | Обмежена | Часткова | Добра |
| Продуктивність UI | Добра | Відмінна | Нативна | Задовільна |
| Перевикористання коду | Високе | Дуже високе | Помірне | Дуже високе |
| Зрілість екосистеми | Висока | Висока | Середня | Середня |
| Блокчейн-бібліотеки | ethers.js, web3.js | web3dart | KEthereum | ethers.js |
| Підтримка WalletConnect | Так (v2) | Частково | Ні | Так |

На основі попереднього аналізу для реалізації застосунку обрано стек React Native + TypeScript з бібліотекою ethers.js v6 для взаємодії з блокчейн-мережами. Цей вибір зумовлений відмінною підтримкою Web3-бібліотек JavaScript-екосистеми, підтримкою WalletConnect v2 та достатнім рівнем продуктивності для фінансових застосунків.

Для вирішення задачі оптимізації маршрутів обміну досліджуються три підходи: (1) агрегація ліквідності через API-інтеграцію з агрегаторами (такі як 1inch та Kyberswap); (2) власний алгоритм пошуку найкращого маршруту на основі зважених орієнтованих графів, де вершини - токени, а ребра - пули ліквідності з вагою, що відповідає очікуваному обсягу виходу; (3) метод симуляції транзакцій для попереднього розрахунку прослизання через Hardhat-форки основних мереж.

Архітектура застосунку побудована за принципом Clean Architecture з розподілом на три шари: Domain (бізнес-логіка та інтерфейси репозиторіїв), Data (реалізації репозиторіїв, робота з API та блокчейном) та Presentation (UI-компоненти на React Native). Для управління станом застосовано Redux Toolkit із middleware для обробки асинхронних запитів до блокчейн-вузлів через RPC-провайдери Infura та Alchemy. Застосунок планується до реалізації з підтримкою мереж Ethereum, BNB Smart Chain та Polygon, із взаємодією з пулами ліквідності Uniswap V2/V3, SushiSwap та PancakeSwap [6].

Алгоритм оптимізації маршрутів ґрунтується на модифікованому алгоритмі Беллмана-Форда, адаптованому для пошуку маршруту з максимальним виходом у зважених орієнтованих графах пулів ліквідності. Вага ребра обчислюється як функція резервів пулу, комісії протоколу та поточного газового курсу. Алгоритм підтримуватиме розбиття ордера між кількома маршрутами (split routing) для мінімізації прослизання при великих обсягах. Тестування планується на архівних даних основних мереж із використанням Hardhat Mainnet Fork [7].

Граф пулів ліквідності формується як орієнтований мультиграф $G = (V, E)$, де V - множина токенів, E - множина пулів. Для кожного ребра e з E визначається функція виходу $f(x, e)$, що обчислює кількість токенів на виході при вхідному обсязі x для пулу з константною функцією продукту (АММ типу $x \times y = k$). Задача маршрутизації формулюється як задача максимізації сумарного виходу цільового токена при заданому вхідному обсязі та допустимій множині шляхів у графі. Для пулів АММ типу Uniswap V2 функція виходу має вигляд: $f(x) = (x \times (1 - f) \times R_{out}) / (R_{in} + x \times (1 - f))$, де R_{out} та R_{in} - резерви вхідного та вихідного токена відповідно, f - комісія протоколу.

Для обробки концентрованої ліквідності пулів Uniswap V3 алгоритм використовуватиме апроксимацію активної ліквідності в поточному ціновому діапазоні, що дозволяє коректно оцінити прослизання без повної симуляції тіків. Це знижує обчислювальну складність розрахунку

маршруту з $O(T \times N)$ до $O(N \times \log N)$, де T - кількість тіків у пулі, N - кількість пулів у графі.

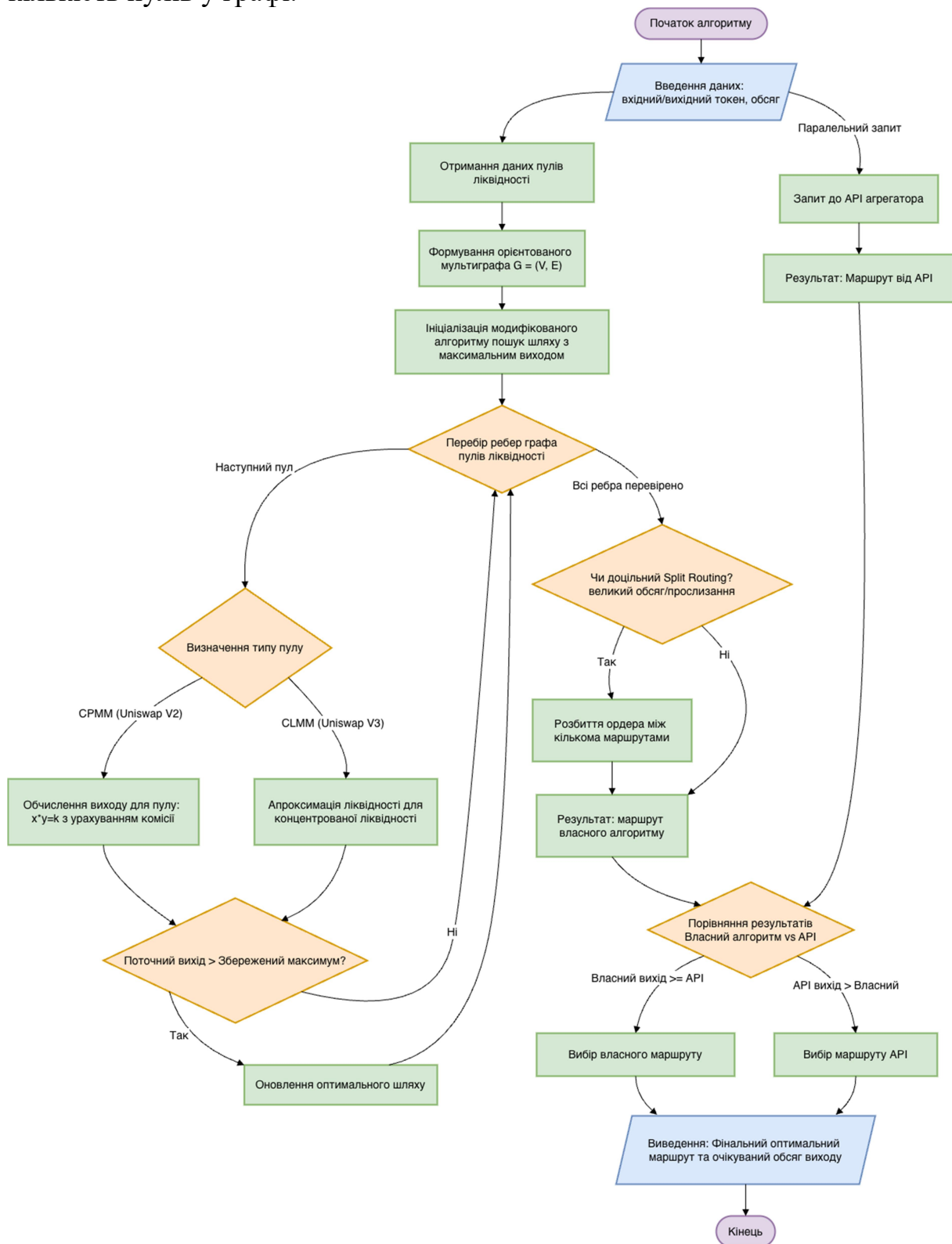


Рис. 1. Блок-схема гібридного алгоритму маршрутизації та оптимізації обміну цифрових активів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведений попередній порівняльний аналіз фреймворків свідчить про перевагу React Native для DeFi-застосунків з погляду підтримки Web3-бібліотек та інтеграції з блокчейн-інфраструктурою. Flutter демонструє вищі показники продуктивності рендерингу, однак потребує написання нативних плагінів або використання менш зрілих Dart-альтернатив для Web3-взаємодії, що збільшує трудомісткість розробки. Kotlin Multiplatform пропонує нативну продуктивність, проте має обмежену підтримку протоколів підключення гаманців.

Запропонований алгоритм маршрутизації на основі модифікованого алгоритму Беллмана-Форда теоретично дозволяє забезпечити вищий обсяг токенів на виході порівняно з прямим одноетапним обміном - насамперед при великих обсягах транзакцій, де прослизання в єдиному пулі є найбільш критичним. Очікується, що split routing між кількома пулами ліквідності дозволить суттєво зменшити негативний вплив прослизання на кінцевий результат обміну.

Порівняння з API-підходом (використання готового агрегатора 1inch) показує, що власний алгоритм поступатиметься за охопленням джерел ліквідності, проте забезпечуватиме повну автономність і незалежність від доступності стороннього сервісу. Гібридний підхід, запланований до реалізації у застосунку, використовуватиме власний алгоритм як первинний і звертатиметься до API агрегатора як резервний варіант.

З погляду продуктивності застосунку очікується, що час відклику при завантаженні котирувань та розрахунку маршруту залишатиметься прийнятним для інтерактивного використання у фінансових застосунках. Показники споживання пам'яті та часу відклику будуть оцінені в ході фактичного тестування на цільових пристроях з iOS та Android.

Реалізована модель безпеки передбачає, що застосунок не зберігатиме та не передаватиме приватних ключів: усі підписи транзакцій виконуватимуться виключно у середовищі підключеного гаманця (MetaMask Mobile або WalletConnect-сумісний гаманець). Дані про адреси гаманців кешуватимуться локально у зашифрованому сховищі за допомогою бібліотеки react-native-encrypted-storage, що унеможливить витік чутливих даних.

Функціональне тестування охоплюватиме тест-кейси для всіх ключових сценаріїв роботи застосунку, реалізовані у Jest та React Native Testing Library. Інтеграційне тестування взаємодії з блокчейном планується на Hardhat Mainnet Fork із автоматизованими сценаріями через бібліотеку viem. Навантажувальне тестування API-маршрутизатора дозволить оцінити стабільність системи при одночасних запитах від кількох користувачів.

Наукова новизна роботи полягає у:

1. Обґрунтуванні вибору React Native як оптимального фреймворку для кросплатформних DeFi-застосунків на основі розробленої системи критеріїв порівняльного аналізу;

2. Модифікації алгоритму Беллмана-Форда для задачі пошуку маршруту максимального виходу в мультиграфі пулів ліквідності з підтримкою split routing та апроксимацією концентрованої ліквідності V3-пулів;

3. Практичній реалізації гібридного підходу до агрегації ліквідності, що поєднує власну маршрутизацію та API-агрегатор у єдиному кросплатформному застосунку.

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз технологій кросплатформної розробки показав, що React Native є обґрунтованим вибором для створення DeFi-застосунків завдяки зрілій Web3-екосистемі та широким можливостям інтеграції з блокчейн-провайдерами. Обрана архітектура Clean Architecture забезпечує масштабованість і тестованість застосунку, а розподіл на шари Domain, Data та Presentation сприяє незалежності бізнес-логіки від деталей реалізації.

Запропонований алгоритм оптимізації маршрутів обміну цифрових активів на основі модифікованого алгоритму Беллмана-Форда для зважених графів пулів ліквідності теоретично обґрунтований як такий, що може забезпечити вищий вихід токенів порівняно з одноетапним прямим обміном - особливо при значних обсягах транзакцій. Фактичне підтвердження ефективності алгоритму буде отримано в ході запланованого експериментального тестування на архівних ринкових даних.

Розроблений кросплатформний застосунок планується як повнофункціональний інструмент для оптимізації обміну цифрових активів у мережах Ethereum, BNB Smart Chain та Polygon. Перспективою подальших досліджень є розширення підтримки EVM-сумісних мереж (Arbitrum, Optimism, Base) та впровадження методів машинного навчання для прогнозування оптимального часу виконання транзакцій з урахуванням динаміки газових цін.

ДЖЕРЕЛА

1. DeFi Llama. Total Value Locked in DeFi. URL: <https://defillama.com> (дата звернення: 10.03.2026).

2. Fentaw A. C. Comparative Study of Cross-platform Mobile Application Development Frameworks. International Journal of Computer Applications. 2023. Vol. 185, No. 12. P. 1-9.

3. Biorn-Hansen A., Majchrzak T. A., Gronli T.-M. Progressive Web Apps: The Possible Web-native Unifier for Mobile Development. Proceedings

of the 13th International Conference on Web Information Systems and Technologies. 2017. P. 344-351.

4. 1inch Network. 1inch Pathfinder Algorithm. URL: <https://docs.1inch.io/docs/aggregation-protocol/introduction> (дата звернення: 05.03.2026).

5. Angeris G., Chitra T. Improved Price Oracles: Constant Function Market Makers. Proceedings of the 2nd ACM Conference on Advances in Financial Technologies. 2020. P. 80-91.

6. Adams H., Zinsmeister N., Salem M., Keefer R., Robinson D. Uniswap v3 Core. URL: <https://uniswap.org/whitepaper-v3.pdf> (дата звернення: 08.03.2026).

7. Gudgeon L., Perez D., Harz D., Livshits B., Gervais A. The Decentralized Financial Crisis. 2020 Crypto Valley Conference on Blockchain Technology. 2020. P. 1-15.

8. Abramov, V., Astafieva, M., Boiko, M., Bodnenko, D., Bushma, A., Vember, V., Hlushak, O., Zhyltsov, O., Ilich, L., Kobets, N., Kovaliuk, T., Kuchakovska, H., Lytvyn, O., Lytvyn, P., Mashkina, I., Morze, N., Nosenko, T., Proshkin, V., Radchenko, S., & Yaskevych, V. (2021). Theoretical and practical aspects of the use of mathematical methods and information technology in education and science. <https://doi.org/10.28925/9720213284km>