

## **МОДЕЛІ ТА СТРАТЕГІЇ ТОРГІВЛІ НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ ФІНАНСОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України

### **Анотація**

*Досліджено сучасні фінансові технології, зокрема блокчейн та високочастотну торгівлю. Здійснено огляд відповідних моделей та стратегій торгівлі. Оцінено перспективи застосування даних технологій для модернізації торговельних платформ та інвестиційних процесів в Україні.*

**Ключові слова:** алгоритмічна торгівля, блокчейн, високочастотна торгівля, децентралізований ринок, моделі торгівлі, ринок електроенергії, смарт контракти, фондова біржа.

### **Abstract**

*Various modern financial technologies have been researched, in particular blockchain and high-frequency trading. Corresponding models and strategies were reviewed. The perspectives of applying these technologies for the modernization of trading platforms and investment processes in Ukraine were assessed.*

**Keywords:** algorithmic trading, blockchain, high-frequency trading, decentralized market, trading models, electricity market, smart contracts, stock exchange.

### **Вступ**

**Постановка проблеми:** Сьогодні знаходять все ширше прикладне застосування такі новітні фінансові технології як блокчейн, смарт контракти, алгоритмічна (АТ) та високочастотна торгівля (ВЧТ), мобільний банкінг. Багатьма новаторами ринку оцінюються технології штучного інтелекту та зокрема його нове покоління – генеративний штучний інтелект, що може бути інтегрованим в системи прийняття рішень та виконувати роль віртуального асистента (багаж його знань та швидкість аналізу даних різного типу значно перевершує людські здібності). Дані технології за основу використовують як традиційні, перевірені часом, математичні оптимізаційні методи, стохастичні моделі та алгоритми, так і більш сучасні підходи навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning) і нейронні мережі, зокрема глибокі нейронні мережі (Deep Learning) з десятками мільярдів параметрів. Успішно піддаються аналізу не тільки числові дані, а й текстова інформація, табличні дані, зображення та графіки.

З іншого боку в Україні наявний запит на модернізацію торговельних платформ та інвестиційних процесів. Традиційними проблемами вітчизняного ринку є непрозорість для інвесторів, низька ліквідність, доступність інвестиційних інструментів лише обмеженому колу професійних учасників ринку, значні комісійні витрати при супроводженні інвестицій, неефективні витрати часу. Технологічну складову названих проблем потенційно можуть вирішити вищезгадані технології, оскільки технологічна інтелектуальна автоматизація стандартизованих процесів дозволить обробити більшу кількість інвестиційних заявок, а відтак відкрити ринок для більшого кола учасників, тим самим наростивши ліквідність ринку та знизивши граничні витрати на обслуговування одного користувача. Прозорість та гарантованість виконання які несуть смарт контракти суттєво знижує ризики та недовіру до фінансових інвестицій. Автоматичний моніторинг (для виявлення аномальних шаблонів торгівлі можливо використати методи машинного навчання) та звітування (наприклад аналіз торгів, звітностей публічних компаній, професійних інвестиційних оглядів технологіями генеративного штучного інтелекту) щодо організованих торгів дозволять тримати ситуацію на контролі як регулюючим органам так і роздрібним інвесторам.

Окрім біржової торгівлі цікавим виглядає досвід Європейських країн та США щодо використання торгівельних технологій на ринках електроенергії. Це важливий, динамічний та складний ринок, оскільки варто враховувати як спотові угоди (на даний момент часу) так і угоди на майбутню дату поставки; варто враховувати структуру електрогенерації (АЕС, ТЕС, ГЕС, СЕС, ВЕС), зокрема децентралізовану природу значної кількості малих сонячних та вітрових електростанцій, обсяг їх електрогенерації залежно від погодних умов; враховувати волатильність споживання з піковими навантаженнями у ранішні та вечірні години, зростання електроспоживання для обігріву взимку та охолодження влітку; розподіл між комерційними споживачами (промисловістю) та населенням; можливий обсяг власної електрогенерації та можливість імпорту/експорту дефіцитних/надлишкових обсягів.

Зазначимо, що успішна модернізація буде можливою лише за умови якісно скоординованої співпраці між учасниками ринку, регуляторними органами, постачальниками технологій та науковими установами. Також, варто приділити пріоритетну увагу впровадженню надійних технологій кібербезпеки та нормативно-правової бази, що передбачала б суворе покарання за спроби порушення цілісності та стабільності організованого ринку.

**Мета роботи:** дослідити сучасні фінансові технології, зокрема блокчейн та високочастотну торгівлю. Здійснити огляд відповідних моделей та стратегій торгівлі. Оцінити перспективи застосування даних технологій для модернізації торгівельних платформ та інвестиційних процесів в Україні.

### **Виклад основного матеріалу**

**Огляд технології блокчейн.** Технологія блокчейну та розподілені реєстри мають значний суспільний резонанс, що зумовлює їх використання в проектах різних галузей. Однак, фінансова індустрія вважається основною сферою застосування концепції блокчейну. Один із факторів, що вплинули на це - застосування технології у криптовалютах, зокрема найвідоміших. Також, галузі характерна неефективність процесів та велика база витрат. Фінансова криза показала необхідність визначати поточного власника активу. Ще більшою проблемою є відстеження власності через довгий ланцюжок змінних покупців у глобальних фінансових транзакціях. Проблема відстеження власності в довгих ланцюжках транзакцій вже є критичним аспектом на фінансових ринках, але вона також важлива для фізичних товарів. Технологія блокчейн обіцяє подолати критичні аспекти.

Зростання технології блокчейн в останні роки також підтримує інші концепції, що були запропоновані в літературі. Угоди, які поєднують комп'ютерні протоколи з інтерфейсами користувача для виконання умов контракту називають смарт-контрактами [1]. Завдяки блокчейну смарт-контракти стають все більш популярними, оскільки їх можна використовувати легше, застосовуючи блокчейни, порівняно з технологіями, доступними на момент їх винаходу 20 років тому. Цей інноваційний підхід може, наприклад, замінити юристів і банки, що були залучені у контракти для угод з активами, залежно від попередньо визначених аспектів [2]. Смарт-контракти також можуть бути використані для контролю власності. Ця власність може бути матеріальною (наприклад, будинки, автомобілі) або нематеріальною (наприклад, акції, права доступу). Відомим прикладом блокчейн-технології, що розглядає смарт-контракти як першокласних громадян, є Ethereum, який є децентралізованою системою, вперше запропонованою В. Бутерінім [3]. Ethereum можна розглядати як розширення блокчейну Біткоїна для підтримки ширшого спектру застосувань. Таким чином, технологія блокчейн дозволяє встановлювати контракти, використовуючи криптографію, та замінювати треті сторони (наприклад, нотаріусів), які раніше були необхідні для встановлення довіри. Блокчейн може змінити весь процес транзакцій, автоматично виконуючи контракти в економічно ефективний, прозорий та безпечний спосіб.

Фінансова індустрія навіть замислюється, чи можуть великі частини їхньої поточної діяльності бути замінені блокчейном. Це можна проілюструвати на прикладі процесу платежів. Якщо сьогодні люди платять за товари кредитною карткою, розрахунок може відбутися після кількох днів затримки. Використання блокчейн дозволяє уникнути цієї затримки в розрахунках, оскільки оплата може здійснюватися в реальному часі шляхом коригування реєстру.

**Огляд технологій високочастотної торгівлі.** 14 років тому 6 травня 2010 р. промисловий індекс Доу Джонса раптово втратив понад 1000 пунктів, трейдери, що в цей час уклали угоди зазнали збитків на \$ 4.1 млрд. Вже через 15 хвилин значення індексу майже повернулось до попереднього рівня [4]. Стався

так званий «скороминущий збій» (Flash Crash). Подія привернула до себе значну увагу громадськості та власне питання впливу алгоритмічної та високочастотної торгівлі на динаміку ціноутворення на фондовому ринку. В 2010 р. Консалтингова компанія Tabb Group оцінювала частку торгів на основі високочастотних алгоритмів на рівні 56% на ринку США та на рівні 38% на ринку Європи. Та й сама модель ВЧТ, щоб бути рентабельною, має відбуватися на основі великих обсягів торгівлі. Спрацював і психологічний фактор, учасники ринку розуміли, що будь який алгоритм значно швидше приймає рішення ніж людина та, наприклад, здатен значно частіше залишати заявки на продаж/купівлю активів (до кількох десятків, а то й сотень на секунду). Розслідування того випадку встановило факти шахрайства, маніпулювання ринком та використання «шкідливих» алгоритмів, однак щодо саме традиційних стратегій ВЧТ, то в науковій літературі переважно не зустрічається підтвердження їх негативного впливу [4]. ВЧТ не є стратегією самою по собі проте інструментом, що забезпечує інноваційно швидкий доступ до інформації, ринків капіталу та дозволяє розраховувати шляхи оптимального розміщення торговельних заявок; є природної еволюцією фондового ринку зважаючи на тиск конкурентного та регуляторного середовищ, прагнення до інновацій. Подібно до інших технологій кожне нове покоління торгових алгоритмів та ВЧТ зокрема дозволяє досвідченим учасникам ринку отримати свою винагороду за інвестиції в технології, а також скористатись ситуацією коли конкуренти мають менш оптимальні операційні процеси. Варто зазначити, що на Європейському ринку «скороминущих збоїв» не було зафіксовано. Причиною цього може бути більш гнучка система торгів щодо оптимальної ціни та мінімізація волатильності на основі пропорційності до кількості акцій. В той же час в США працює національне регулювання NBBO (National best bid and offer), що визначає орієнтир ціни для всіх бірж, та відповідно біржу на якій буде розміщено ту чи іншу заявку виходячи з максимально можливої нижчої ціни для покупця, та максимально можливої вищої ціни для продавця.

Більшість стратегій з ВЧТ в основі сприяють ліквідності ринків [4]. Для прикладу стратегія маркет мейкерства, стратегія розвідки цін, стратегія арбітражу. Зависока зарегульованість цих стратегій може спровокувати непродуктивні та слабо передбачувані наслідки для якості ринку. Хоча, звичайно ж, будь які стратегії, які потенційно можуть загрожувати цілісності ринку мають бути ефективно виявленими та нейтралізованими наглядовими органами. Більшість дослідників ВЧТ не знаходять підтвердженнь негативному впливу ВЧТ та зауважують окрім позитивних ефектів щодо ліквідності також позитивний ефект формування цін. Варто зазначити, що в цій сфері все ж дещо бракує обширних статистичних даних, щоб емпірично виміряти рівень впливовості АТ та ВЧТ, оскільки самі по собі алгоритми є інтелектуальною власністю професійних учасників ринку. В будь якому разі, еволюція регулювання ринків вимагає від торговців звітувати/помічати ті транзакції, що здійснюються на основі автоматизованих алгоритмів, і, з часом, відповідні дані будуть накопичені та проаналізовані регуляторами ринку.

У травні 2010 р. індекс «Української Біржі» був традиційно стабільним. Фондовий ринок України є беззаперечно набагато менш ліквідним ніж ринок США чи Європи. Торговельні операції проводять відповідні фахівці, а якщо і експериментують з алгоритмами автоматичної торгівлі то запускають їх під строгим наглядом професійних інвестиційних аналітиків та портфельних управляючих. Кожна акція на фондовому ринку України особлива, має свою історію, новинний інформаційний фон та потребує відповідного педантичного ставлення, якого практично неможливо досягти математичними алгоритмами (і зокрема алгоритмами ВЧТ орієнтованими на значні обсяги торгів). Нормативно на законодавчому рівні поняття АТ та ВЧТ (як і основні вимоги до такої діяльності) визначені статтею 55-ю ЗУ «Про ринки капіталу та організовані товарні ринки» від 2006 р. Так склалось, що в Україні вибудована банкоцентрична фінансова система, відповідно фондовий ринок відіграє другорядну роль.

На початок 2021 р. складається ситуація коли на фондовому ринку не залишається охочих інвестувати, та й ліквідних потенційно дохідних інструментів по суті не залишається [5]. Причин тому вистачає. Одна з них зависока частка (> 95%) мажоритарних акціонерів в капіталі більшості компаній. З 2017 р. вони отримали право примусово викуповувати акції в міноритарних акціонерів, чим і скористались тим самим витіснивши міноритаріїв з ринку. «Блакитні фішки» (найбільш ліквідні й надійні компанії зі стабільними показниками одержуваних доходів) українського фондового ринку покидають біржу. Так, ключовий власник АТ «Мотор Січ» прийняв рішення продати свою частку китайському інвестору, однак на угоду наклав заборону Антимонопольний комітет України. Акції підприємства були арештовані а торги за ними

зупинені. Україна отримала позов від китайської сторони на \$3,5 млрд. Міноритарії, зокрема іноземні інвестори були змушені фіксувати величезні збитки від своїх інвестицій. Ще одна «блакитна фішка» – Укрнафта, постраждала від корпоративного конфлікту між менеджментом, який контролювався найбільш впливовим інвестором-олігархом та головним акціонером – державою.

26 квітня 2024 р. Національна комісія з цінних паперів та фондового ринку України (НКЦПФР) попередила ринок про ризик втрати ліцензій біржами ПФТС і УБ і запропонувала розглянути опцію створення нової біржі [6]. Голова Комісії Р. Магомедов зазначив, що ПФТС і УБ у зазначений термін не виконали вимоги до нормативу ліквідності (тримання 50% власного капіталу в «живих» грошах або в ОВДП, а не в «надліквідній дебіторській заборгованості»). Стосовно «Української біржі», було ще й питання корпоративної структури, адже в структурі власників перебувають особи пов'язані з державою-агресором (законопроект №11037 «Про неприпустимість участі осіб, пов'язаних із державою-агресором, у функціонуванні ринків капіталу та організованих товарних ринків»).

«Згідно з даними НКЦПФР, обсяг торгів фінансовими інструментами на фондових біржах України 2023 року зріс у 2,7 раза - до 436,43 млрд грн, з яких 93% припало на облігації внутрішньої держпозики (ОВДП). Частка ПФС у загальному обсязі торгів становила 62,9%, «Перспективи» - 33,7% і УБ - 3,4%. За даними Комісії, на неорганізованому ринку 2023 року обсяг торгів зріс удвічі - до 925,11 млрд грн.» [6].

Зауважимо, що первинними дилерами, за посередництва яких можна придбати ОВДП, які розміщуються на аукціонах Міністерства фінансів України на сьогодні є 11 банків. Таким чином близько 2/3 обсягу торгівлі ОВДП потенційно перерозподіляться від бірж, які можуть втратити ліцензії до банківської системи та біржі, яка залишиться працювати.

5 червня 2024 р. рішенням НКЦПФР АТ «Українська біржа» втратила свою ліцензію [7]. Ще 8 травня група зацікавлених компаній з управління активами (КУА), інвесткомпаній та банк звернулися до голови НКЦПФР з повідомленням про намір створити нову біржу. Ідея була підтримана Р. Магомедовим, який в свою чергу поросив підтримати її і КМУ та профінансувати статутний капітал на 25 – 30%. Згодом КМУ прийнято рішення, що держава не підтримуватиме цю ініціативу фінансово. В чомусь логічне рішення, зважаючи на вищезазначену банкоцентричну фінансову модель України та другорядність фондової біржі (навіть не кажучи про бюджетний дефіцит країни за умов повномасштабної війни). Більш того, дійсно існують альтернативні канали розміщення та обігу ОВДП, операції з якими склали 93% діяльності бірж.

Отже, традиційна фондова біржа фактично та інституційно втрачає свої позиції. Але цікаво й те, що, банкоцентрична система країни з ринковою економікою починаючи з другого півріччя 2023 р. має вищу (понад 53%) частку саме державного капіталу. Хоча, згідно з економічною теорією, приватний власник є більш ефективним власником ніж держава. Проте, саме від такого «високоєфективного» власника був врятований один з найбільших приватних банків країни. Та й в складні часи дисбалансів спровокованих повномасштабною війною суттєва частка держави в банківському капіталі скоріше позитивний сигнал стабільності ніж загроза економічній ефективності. В будь якому разі прийшов час для інновацій та назрів запит на модернізацію фінансової системи країни. Прикладом успішної банківської інновації є Монобанк – перший мобільний банк без відділень, що обслуговує понад 7 млн. клієнтів [8]. Загалом сучасні інновації в ФінТех індустрії є високодинамічними та багатовимірними. Так, Р. Gomber пропонує систематизуючу 3D концепцію кубу інновацій в сфері цифрових фінансів з розподілом за типом фінансових інституцій (на традиційні фінансові установи та ФінТех компанії), за типом бізнес функціоналу (фінансування, інвестування, гроші, платежі, страхування, консалтинг щодо цифрових фінансів), за технологіями та технологічними ідеями (блокчейн, соціальна мережа, P2P (peer-to-peer), великі дані, акселератори нових відкриттів)[9]. Традиційні фінансові установи модернізують наявні процеси та послуги, наприклад, активно вводять та покращують додатки, що дозволяють здійснення операцій мобільного банкінгу. Проривні стартапи об'єднують послуги мобільного банкінгу з елементами соціальної мережі та peer-to-peer переказів. Відкривають доступ до торгівлі цифровими валютами на базі блокчейн технологій. Вищезазначені технології можуть бути використані і для модернізації фондової біржі. Потенційне відкриття ринку більшої кількості учасників збільшить його ліквідність. Інтелектуальна автоматизація стандартизованих процесів дозволить обробити більшу кількість інвестиційних заявок та знизити граничні витрати на обслуговування одного користувача. Ширше коло інвестиційних інструментів дозволить уникати дисбалансів на ринку, які традиційно створюють надлишковий небажаний тиск на обмінний курс,

або ж призводять до спекулятивного завищення цін на ринку нерухомості.

**Перспективи застосування технології блокчейн.** Можливі фінансові та нефінансові застосування, які можуть бути вирішені за допомогою блокчейну наведено в таблиці 1 [10]. Ця революційна інновація має потенціал змінити не тільки природу взаємодії у фінансовій сфері, але й у багатьох інших сферах нашого повсякденного життя.

Таблиця 1. Сфери застосування технології блокчейн

Тип	Застосування	Опис	Приклади
Фінансові застосування	Криптовалюти	Мережі та засоби обміну, які використовують криптографію для забезпечення транзакцій	Bitcoin, Litecoin, Ripple, Monero
	Випуск цінних паперів, торгівля та розрахунки	Компанії, що виходять на публіку, випускають акції безпосередньо і без банківського синдикату. Приватні, менш ліквідні акції можуть торгуватися на вторинному ринку, що базується на блокчейні. Перші проекти намагаються вирішити питання розрахунків по цінних паперах	NASDAQ private equity, Medici, Blockstream, Coinsetter
	Страховання	Властивості (наприклад, нерухомість, автомобілі тощо) можуть бути зареєстровані за допомогою блокчейн-технологій. Страховики можуть перевіряти історію транзакцій	Everledger
Нефінансові застосування	Нотаріус	Заміна центральної авторизації нотаріуса	Stampery, Viacoin, Ascribe
	Музична індустрія	Визначення музичних роялті та управління правами на музику	Imogen heap
	Децентралізований доказ існування документів	Збереження та валідація підпису та мітки часу документа за допомогою блокчейну	<a href="http://www.proofofexistence.com/">http://www.proofofexistence.com/</a>
	Децентралізоване зберігання	Обмін документами без потреби в третій стороні за допомогою однорангової розподіленої платформи хмарного зберігання	Storj
	Децентралізований інтернет речей	Блокчейн зберігає комунікації розумних пристроїв в інтернеті речей	Filament ADEPT (розроблено IBM і Samsung)
	Антифальсифікаційні рішення	Автентичність продуктів перевіряється мережею блокчейну, що складається з усіх учасників ринку в електронній комерції (виробники, торговці, маркетплейси)	Blockverify
	Інтернет-застосування	Замість урядів і корпорацій, сервери доменних імен (DNS) контролюються кожним користувачем децентралізовано	Namecoin

Сфери застосування блокчейнів здаються різноманітними, особливо в тих галузях, які історично покладалися на треті сторони для встановлення певного рівня довіри. Децентралізація державних послуг за допомогою дозвільних блокчейнів можлива і бажана, оскільки вона може значно підвищити функціональність державного управління [11].

Також наразі серед дослідників і регуляторів тривають дискусії щодо того, чи можуть криптовалюти, що спираються на блокчейн, виконувати функції реальних грошей [12]. Лютер і Вайт стверджують, що сьогодні криптовалюти рідко використовуються як засіб обміну [13]. Інші дослідники також надають емпіричні дані, що Біткоїн дійсно в основному використовується як спекулятивний актив [14]. Однак витрати та прийняття можуть стати легшими завдяки інноваційним підходам підприємців, які встановлюють криптовалюти як заміну фіатних грошей. Таким чином, блокчейн може сприяти зміні способу, яким люди оплачують товари в реальному світі. Власники нерухомості стикаються з значними витратами на транзакції під час купівлі нерухомості. Згідно з Goldman Sachs, «блокчейн може зменшити премії за страхування титулів і згенерувати 2-4 мільярди доларів економії витрат у США за рахунок зменшення помилок і ручної праці» [15].

У той час як науковці в галузі комп'ютерних наук здебільшого зосереджуються на технічних і криптографічних викликах у цій галузі, дослідники з галузі бізнесу та інженерії інформаційних систем мають можливість зосередитися на дизайні ринку, питаннях довіри та конфіденційності, а також на впровадженні чи невпровадженні нових технологій. Більше того, ця революційна інновація може змінити багато існуючих бізнес-моделей, створити нові та може мати серйозний вплив на цілі галузі. Тому дослідження на перетині технологій, ринків та бізнес-моделей безумовно є цінними.

Військовий конфлікт в Україні призвів до значних руйнувань інфраструктури, втрат економічних ресурсів. Відновлення країни потребує ефективних та прозорих рішень для управління ресурсами, фінансами та адміністративними процесами. В цьому контексті блокчейн-технології можуть відіграти важливу роль завдяки своїм унікальним властивостям.

Однією з головних проблем, з якою стикається Україна, є корупція. Технологія блокчейн дозволяє створити систему, де кожна транзакція є прозорою та доступною для перевірки усіма учасниками мережі. Це може значно знизити ризики корупції, забезпечуючи прозоре та цільове використання ресурсів. Для міжнародних донорів та інвесторів це означатиме більшу довіру до процесів відновлення, що сприятиме залученню додаткових коштів. Після завершення військових дій Україні буде необхідно ефективно управляти великим обсягом гуманітарної допомоги та ресурсів для відбудови. Блокчейн може забезпечити точне відстеження руху ресурсів від донорів до кінцевих споживачів, що знизить ризики розкрадань та нецільового використання допомоги. Використання смарт-контрактів дозволить автоматизувати процеси розподілу та контролю за виконанням умов надання допомоги. адміністративних процесів

Блокчейн може значно спростити та автоматизувати адміністративні процеси, такі як реєстрація власності, видача дозволів, управління контрактами тощо. Це дозволить зменшити бюрократію, прискорити процеси та знизити витрати на їхнє виконання. В контексті відбудови це сприятиме швидшому та ефективнішому відновленню критичної інфраструктури та економічної активності. Прозорі та безпечні блокчейн-рішення можуть привабити міжнародних інвесторів, які шукають надійні та ефективні способи вкладення коштів. Впровадження блокчейн-технологій у фінансовий сектор України може забезпечити швидкі та безпечні транзакції, що сприятиме розвитку економіки та залученню додаткових інвестицій.

**Перспективи застосування моделей та стратегій високочастотної торгівлі.** Варто, уточнити різницю понять АТ та ВЧТ. Існує маса визначень поняття АТ, – від спрощеного узагальненого «комп'ютеризована торгівля контрольована алгоритмами» до специфічного «АТ передбачає пряму взаємодію з торгівельною платформою, розміщення заявок без втручання людини. Комп'ютери відстежують ринкові дані (та можливо інші джерела даних) з дуже високою частотою, та виходячи з вбудованих алгоритмів надсилають торгові інструкції часто в межах мілісекунд. Використовуються різноманітні алгоритми: деякі орієнтовані пошук арбітражних вигод, включаючи пошук невеликих різниць котирувань різних валют, деякі шукають оптимальну можливість виконати великі замовлення з мінімальними супутніми витратами; а деякі відшуковують довгострокові інвестиційні стратегії»[4]. Загальними характеристиками АТ та ВЧТ є наявність попередньо вбудованих алгоритмів, використання професійними трейдерами, відслідковування даних в режимі реального часу, автоматичне надсилання

заявок, автоматичне управління заявками та відсутність втручання людини. Специфічними характеристиками ВЧТ є дуже велика кількість заявок, швидке скасування заявок, торгівля власним капіталом, отримання прибутку від купівлі та продажу (сервіс посередництва), відсутність відкритої позиції на кінець торгового дня, дуже короткі періоди тримання інвестиційних активів, отримання дуже низької маржі за торгівлю, використання високошвидкісних телекомунікаційних мереж (можливо навіть колокаційних мереж відносно торгової біржі), фокус на високоліквідних інструментах.

Загалом стратегії ВЧТ значною мірою покладаються на найбільш сучасні інформаційно-телекомунікаційні технології. На ринку присутні різноманітні стратегії залежно від функціонального спрямування та інституційних учасників ринку. Найбільш відомими стратегіями є [4]:

1. Стратегія забезпечення ліквідності
2. Статистичний арбітраж
3. Виявлення ліквідності
4. Арбітраж затримки
5. Торгівля на основі короткострокових імпульсів

За стратегії забезпечення ліквідності дохід отримується з різниці між ціною покупки та продажу. Також торгівці, які надають ринку ліквідності, отримують знижки на транзакційні витрати (або відшкодування), оскільки роблять ринок більш якісним та привабливим.

Іншою широковикористовуваною стратегією ВЧТ є реалізація арбітражних можливостей. Зазвичай такі існують лише в надто короткий проміжок часу менше однією секунди. Комп'ютерна техніка здатна обробляти інформацію з такою швидкістю. За концепцією це все та ж ідея арбітражу, просто відбувається в значно коротший проміжок часу та на основі дуже невеликих розбіжностей. Розрізняють стратегії, які намагаються при своєму виконанні не впливати на ринок (market neutral arbitrage). Також вирізняють стратегії арбітражу направлені на крос торгівлю активами різних класів, крос торгівлю на ринках різних країн, крос торгівлю основного активу та деривативу на нього якщо з'являються цінові неефективності.

Категорія стратегій виявлення ліквідності намагається ідентифікувати стратегії та шаблони поведінки інших учасників ринку. Основна увага приділяється виявленню великих заявок, прихованих заявок, заявок поданими іншими алгоритмами, інформації з книги заявок.

Стратегія використання арбітражу затримки, це ситуація коли алгоритми ВЧТ можуть швидко отримати, проаналізувати та використати інформацію з ринку в той час коли інші учасники її навіть не встигли отримати. Часто звинувачується як джерело несправедливого ціноутворення, однак факт цього важко підтвердити емпірично, оскільки така перевага існує частки секунди. Стратегія арбітражу затримки більшою мірою характерна для ринку США з його системою NBBO.

Стратегії ВЧТ на основі короткострокових імпульсів на противагу іншим відомим ВЧТ стратегіям не орієнтовані ні на забезпечення ліквідності, ні на відстеження ринкових неефективностей, – вони намагаються отримати дохідність на основі ринкового тренду (звичного руху ринку, або ж на основі руху ринку на основі певних впливових новин чи подій).

Що ж до фактично використовуваних математичних моделей АТ та ВЧТ, то вони є інтелектуальною власністю та конкурентною перевагою учасників ринку, тому деталі їх реалізації маловідомі. Однак, можемо виділити певні групи моделей, які можуть бути в основі алгоритмів АТ та ВЧТ.

Моделі стохастичного оптимального контролю. Такі моделі визначають оптимальні торгові стратегії максимізуючи очікувану корисність або мінімізуючи ризик за стохастичної динаміки цін. Враховується вартість здійснення трансакції, вплив на ринок, різні міри схильності до ризику. До прикладу, оптимальна стратегія може бути розрахована на основі рівняння Гамільтона — Якобі — Беллмана [16]. Існує можливість динамічної оптимізації і у випадку негладкої цільової функції та неопуклої множини потенційних розв'язки з використанням узагальненого градієнта.[17].

Моделі навчання з підкріпленням. Використовуються такі алгоритми як алгоритм Q-навчання або алгоритм глибокого навчання з підкріпленням. Оптимальна стратегія торгівлі вивчається на основі історичних даних та ринкової динаміки. Механізм навчання, наприклад, може полягати в отриманні винагород залежно від обраної дії в конкретний момент часу. Загалом навчання з підкріпленням як і торгівля можуть бути сформульованими у вигляді концептуальної гри в якій є середовище для взаємодії (ринок), можуть прийматися наперед визначені дії (купівля/продаж, ціна угоди), та відповідний зворотній

зв'язок (прибуток/виграш чи збиток/програш) [18]. Вартим уваги є і дослідження високочастотних даних фондового ринку Польщі зокрема провідного індексу WIG20 [19]. Дослідники зазначають, що виявили робастний вплив ефекту дня тижня та години дня; та більш того, значний скачок при відкритті ринку але за виключенням середи, а також позитивний ефект по понеділках. Це є ознакою неефективного ринку.

Моделі, що аналізують динаміку книги заявок (Limit Order Book). При застосуванні цих моделей оцінюється вплив обсягу заявок, які надходять та відповідна динаміка ціноутворення. Наприклад, Cont R. та ін. пропонують стохастичну модель аналізу даних книги заявок в реальному часі [20]. Основними перевагами моделі, є простота обчислень, можливість ідентифікації ключових емпіричних властивостей динаміки книги заявок та її аналітична прослідковувальність, яка дозволяє розрахувати різні контрольні метрики без необхідності проведення симуляційного моделювання. Запропонована модель оцінювалась на високочастотних даних Токійської фондової біржі.

Не менш цікавим є дослідження Martin H. та Otterson S. Німецького ринку електроенергії на основі книги заявок [21]. Ними запропонована модель ринку EPEX (European Power Exchange) SPOT (ринок працює в Австрії, Бельгії, Данії, Фінляндії, Франції, Німеччині, Великобританії, Люксембурзі, Нідерландах, Норвегії, Польщі, Швеції та Швейцарії). Була проведена симуляція, яка порівнювала транзакції рекомендовані моделлю та фактичний рух ринку в той момент часу. Модель на основі книги заявок може використовуватися для врахування впливовості фактору ризику цінової волатильності та ризику неліквідності.

Моделі структури ринку. Такі моделі аналізують структуру ринку, тип заявок, торгові стратегії, учасників ринку та ринкову динаміку загалом. Можуть бути корисними і при аналізі зонального ринку електроенергії [22]. Інше дослідження пропонує модель хеджування ризику завантаженості та цінового ризику на структурованому ринку електроенергії штату Техас [23]. Вивчено та враховано фактор впливу завантаженості мережі, вартість газу та його вплив на собівартість, фактор сезонності та пікові навантаження, вартість форвардних контрактів та опціонів.

Агентоорієнтовані моделі симулюють взаємодію та поведінку різних агентів на ринку (торгівців, маркет-мейкерів, інвесторів) [24].

Моделі ВЧТ на основі сигналів. Клас цих моделей підключений до джерел новин та соціальних мереж для відслідковування появи сигналів, що могли б вказувати на ринкові зміни. Використовуються методи машинного навчання, зокрема класифікація тональності тексту (sentiment analysis) та методи аналізу природномовних текстів. В якості джерела сигналу може бути динаміка книги заявок, а в якості інструменту аналізу машинне навчання з підкріпленням [25].

### **Висновки**

Проведене дослідження сучасних фінансових технологій, зокрема блокчейн та високочастотної торгівлі (її автоматизованої алгоритмічної складової), вказує на перспективність їх впровадження в контексті економічної системи України. Технології блокчейн та смарт контрактів можуть принести прозорість у виконання договорів, розуміння того хто є кінцевим бенефіціаром того чи іншого інвестиційного активу, автоматизувати кліринг угод та сприяти їх сумлінному виконанню, дозволить зменшити бюрократію, прискорити процеси та знизити витрати на їхнє виконання. Сприятиме модернізації торговельних платформ та інвестиційних процесів в Україні й алгоритмічна торгівля (а в більш віддаленій перспективі й високочастотна торгівля). Інтелектуальна автоматизація стандартизованих процесів дозволить обробити більшу кількість інвестиційних заявок, а відтак відкрити ринок для більшого кола учасників, тим самим наростивши ліквідність ринку та знизивши граничні витрати на обслуговування одного користувача. Ширше коло інвестиційних інструментів дозволить уникати дисбалансів на ринку, які традиційно створюють надлишковий небажаний тиск на обмінний курс, або ж призводять до спекулятивного завищення цін на ринку нерухомості. Загалом трансформує фондовий ринок, з пасивного посередника проведення угод в активну платформу із залучення інвестицій (включаючи перерозподіл надлишкових фінансових ресурсів між галузями та учасниками ринку) в перспективні бізнес проекти реального сектору економіки, та платформу отримання доходу вітчизняними та зарубіжними інвесторами.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Szabo N. Formalizing and Securing Relationships on Public Networks // *First Monday*. – 1997. – 2(9). DOI: doi:10.5210/fm.v2i9.548
2. Fairfield. J. Smart Contracts, Bitcoin Bots, and Consumer Protection // *Washington and Lee Law Review Online*. – 2014. – V.71, 2. – С. 35–50.
3. Бутерін В. Платформа смарт-контрактів і децентралізованих додатків наступного покоління // *White Paper*. – 2014.
4. Gomber P. et al. High-Frequency Trading. – 2011. – Режим доступу: <https://ssrn.com/abstract=1858626> (дата звернення: 16.06.2024).
5. Дмитренко А. В Україні чотири біржі, а реально купити акції тільки однієї компанії. Як розбудити фондовий ринок країни / *Forbes Ukraine*. – 2021. – Режим доступу: <https://forbes.ua/money/v-ukraini-chotiri-birzhi-a-realno-kupiti-aktsii-tilki-odniei-kompanii-yak-rozbuditi-fondoviy-rinok-kraini-10032021-896> (дата звернення: 16.06.2024).
6. Interfax. НКЦПФР попередила ринок про ризик втрати ліцензій біржами ПФТС і УБ і запропонувала розглянути опцію створення нової біржі. – 2024. Режим доступу: <https://interfax.com.ua/news/economic/983047.html> (дата звернення: 16.06.2024).
7. Максимчук М. «Українську біржу» позбавили ліцензії // *Економічна правда*. – 2024. – – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/news/2024/06/6/714800/> (дата звернення: 16.06.2024).
8. Monobank: Перший банк без відділень. – 2021. – Режим доступу: <https://new.finance.ua/ua/30-rokiv-nezalezhnosti/monobank> (дата звернення: 16.06.2024).
9. Gomber P., Koch J.-A., Siering M. Digital Finance and FinTech: Current Research and Future Research Directions // *Working Paper (forthcoming in the Journal of Business economics)*. – 2017. – 39 p.
10. Crosby M. et al. Blockchain Technology: Beyond Bitcoin // *Applied Innovation Review*. – 2016. – issue 2 – P. 6–19.
11. Atzori M. Blockchain Technology and Decentralized Governance: Is the State Still Necessary? / M. Atzori // *Work paper*. – 2015. – Режим доступу: <https://ssrn.com/abstract=2709713> (дата звернення: 16.06.2024).
12. Європейський Центральний Банк Virtual currency schemes. – 2012. – Режим доступу: <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/other/virtualcurrencyschemes201210en.pdf> (дата звернення: 16.06.2024).
13. Luther W.J., White L.H. Can Bitcoin Become a Major Currency? / W.J. Luther, L.H. White // *GMU Working Paper in Economics*. – 2014. – No. 14–17. – Режим доступу: <https://ssrn.com/abstract=2446604> (дата звернення: 16.06.2024).
14. Glaser F. et al. Bitcoin – Asset or Currency? Revealing User’s Hidden Intentions. – 2014. – ECIS, Tel Aviv, 2014. – Режим доступу: <https://ssrn.com/abstract=2425247> (дата звернення: 16.06.2024).
15. Goldman Sachs Blockchain: Putting Theory into Practice // *Report*. – 2016. – Режим доступу: [https://www.academia.edu/38946070/Goldman\\_Sachs\\_Blockchain\\_putting\\_theory\\_to\\_practice](https://www.academia.edu/38946070/Goldman_Sachs_Blockchain_putting_theory_to_practice) (дата звернення: 16.06.2024).
16. Konishi A. Optimal Trading Strategies within the Hamilton-Jacobi-Bellman Equation: An Application to Statistical arbitrage. – KEK Theory center. – 2017. – 8 p.
17. Norikin V.I. Generalized Gradients in Dynamic Optimization, Optimal Control, and Machine Learning Problems / *Cybernetics and System Analysis*. – 2020. – V.56. – P. 243 – 258. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10559-020-00240-x>
18. Huang C.Y. Financial Trading as a Game: A Deep Reinforcement Learning Approach. – 2018. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1807.02787> (дата звернення: 16.06.2024).
19. Strawinski P., Slepaczuk R. Analysis of high frequency data on the Warsaw stock exchange in the context of efficient market hypothesis // *Journal of Applied Economic Sciences* – 2008. – 3(5). – P. 306 – 319.
20. Cont R., Stoikov S., Talreja R. A Stochastic Model for Order Book Dynamics // *Operations Research*. – 2010. – Vol. 58, No.3. – P. 549–563.
21. Martin H., Otterson S. German Intraday Electricity Market Analysis and Modeling Based on the Limit Order Book // *International Conference on the European Energy Market*. – 2018.
22. Hesamzadeh M.R., Holmberg P., Sarfati M. Simulation and Evaluation of Zonal Electricity Market Designs // *Cambridge Working in Economics*. – University of Cambridge, 2018. – Режим доступу: <https://www.jstor.org/stable/pdf/resrep30341.pdf> (дата звернення: 16.06.2024).
23. Coulon M., Powell W.B., Sircar R. A model for hedging load and price risk in the Texas electricity market // *Energy Economics*. – 2013. – Vol. 40. – P. 976–988.
24. Gallo G. Electricity market games: How agent-based modeling can help under high penetrations of variable generation // *The Electricity Journal*. – 2016. – Vol. 29, iss. 2. – P. 39 – 46.
25. Dixon M. Sequence Classification of the Limit Order Book using Recurrent Neural Networks. – 2017. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1707.05642> (дата звернення: 16.06.2024).

**Большаков Вадим Миколайович** — н.с., Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, м. Київ  
**Дунаєвський Максим Сергійович** — м.н.с., Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, м. Київ., e-mail: MaxDunaievskiy@gmail.com  
**Рибачок Дмитро Олександрович** — аспірант, Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, м. Київ

**Bolshakov Vadym M.** — Reasearcher, V.M. Glushkov Institite of Cybernetics of NAS of Ukraine, Kyiv  
**Dunaievskiy Maksym S.** — Junior Reasearcher, V.M. Glushkov Institite of Cybernetics of NAS of Ukraine, Kyiv  
**Rybachok Dmytro O.** — PhD student, V.M. Glushkov Institite of Cybernetics of NAS of Ukraine, Kyiv