

АНОТАЦІЯ

Дек А. О. Моделювання поведінки агентів ринку криптовалют. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 051 – Економіка (Галузь знань 05 – Соціальні та поведінкові науки). – Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України, Харків, 2019.

Дисертаційна робота присвячена моделюванню поведінки агентів ринку криптовалют. У роботі проаналізовано концепції інформатизації економіки і суспільства, запропоновано використання терміну «криптоекономіка» для позначення галузі, що формується навколо криптовалют, розподілених реєстрів та стійких методів шифрування. Розглянуто основні елементи криптоекономіки, включаючи публічний реєстр, блокчейн, алгоритми консенсусу, розумні контракти, електронні гроші, криптовалюти та нові види залучення коштів.

Було визначено ряд питань, що наразі недостатньо досліджені. Одним з таких питань є визначення витрат електроенергії на майнінг криптовалют. Прийняття майнерами економічних рішень щодо вибору обладнання впливає на такі глобальні характеристики мережі, як середня швидкість і вартість транзакцій, хешрейт і пов'язані з цим витрати електроенергії та відповідний вуглецевий слід. Іншим недостатньо дослідженим питанням є вплив інформації з соціальних мереж та суб'єктивних суджень на прийняття рішень економічними агентами про купівлю чи продаж криптовалюти, про доцільність майнінгу за заданих умов, про доцільність інвестування в проекти.

У роботі були поставлені та вирішені такі завдання: проаналізовано концепції інформаційної економіки; виявлено зв'язок цих концепцій з криптоекономікою; досліджено інформаційні джерела, що можуть бути використані для моделювання поведінки агентів ринку криптовалют; розроблено модель енергоспоживання мережею майнерів біткоіна; оцінено екологічний вплив майнінгу на довкілля; встановлено рівень рефлексії трейдерів

та експертів галузі криптовалют за допомогою «гри на відгадування»; виявлено типи поведінки трейдерів криптовалют на основі показників прибутковості їх біржової торгівлі та рівня рефлексії; удосконалено комплекс моделей прогнозування часового ряду ціни біткоіна за рахунок використання фактуальної та концептуальної інформації з соціальних мереж і новин.

Визначено такі ринкові сегменти криптоекономіки: біржові та брокерські послуги, забезпечення платежів, депозитарій (зберігання криптовалют як послуга), сервіси із забезпечення консенсусу мережі (виробництво та експлуатація майнінгового обладнання), інфраструктура забезпечення (розробка та обслуговування сирцевого коду криптовалют та пов'язаних з ними продуктів), альтернативне залучення коштів, банкінг та страхування.

Теоретичну основу дослідження складає інформаційна економіка, поведінкова економіка, поведінкові фінанси, експериментальна економіка. Теоретичний фундамент доповнюється новими джерелами інформації: соціальними мережами, відкритими даними про транзакції та стан мережі, а також криптовалютними біржами. Для обробки великих обсягів інформації були використані інструменти інтелектуальної обробки даних, машинного навчання, статистичний аналіз.

Розроблено модель оцінки рівня споживання електроенергії глобальною мережею майнерів біткоіна, що базується на аналізі ефективності обладнання, яке використовується в залежності від параметрів ринку: ціни на електроенергію, хешрейту мережі, складності майнінгу, пропозиції на ринку обладнання. Станом на вересень 2019 року оцінка споживання електроенергії майнінгом біткоіна складала 78,93 ТВт·год на рік при значенні параметру моделі «ціна електроенергії» 0,05 дол. США. Запропонована модель була застосована під час розробки інформаційного веб-сервісу Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index.

Оцінено екологічний вплив від майнінгу біткоіна, що виражається у викидах діоксиду вуглецю, спричинених виробництвом електроенергії, яка споживається під час майнінгу. Згідно з запропонованим методом оцінки

географічного розподілу майнерів за трафіком веб-сторінок майнінгових пулів, викиди діоксиду вуглецю складають 44,12 мільйонів тонн на рік, що дорівнює 0,13% загальних викидів діоксиду вуглецю у світі. Середньосвітовий показник забруднення повітря при виробництві електроенергії, що використовується для майнінгу, склав 0,56 кг CO₂/кВт·год.

Для того, щоб дослідити поведінкові аспекти функціонування криптовоекономіки, було оцінено раціональність криптовалютних експертів, які беруть участь у діяльності фінансових ринків. Одним з найефективніших інструментів, розроблених для досліджень в умовах обмеженої раціональності, є гра на відгадування. Гру було проведено серед експертів галузі криптовалют. Майданчиком для проведення опитування стала професійна соціальна мережа LinkedIn. Загалом було отримано 643 відповіді, результати аналізу яких свідчать про те, що більшість учасників є гравцями 1-го рівня рефлексії. Ці результати значно відрізняються від результатів, отриманих Р. Талером в опитуванні серед читачів Financial Times у 1996 році, які в середньому виявились агентами 2-го рівня рефлексії.

Оскільки реакція трейдера на ті чи інші новини може бути описана за допомогою моделі когнітивної ієрархії (моделі рівня k), був проведений експеримент, мета якого – встановити взаємозв'язок між прибутковістю трейдерів і рівнем їх рефлексії. Щоб показати цей зв'язок, було використано українську біржу криптовалют BTC Trade UA, яка одночасно дозволяє комунікувати з користувачами задля можливості ставити питання та збирати статистику угод за кожним з трейдерів.

Для аналізу було зібрано інформацію про транзакції купівлі-продажу криптовалют в обсязі близько 715 000 записів. Базуючись на інформації про укладені угоди, було підраховано статистику за кожним з трейдерів. Користувачі біржі, які уклали більше 15 угод протягом досліджуваного періоду, були запрошені взяти участь у грі на відгадування. За результатами опитування, трейдери теж виявились гравцями з 1-м рівнем рефлексії. Базуючись на відповідях трейдерів у грі на відгадування та їх торговій статистиці, було

виділено вісім кластерів: «Жартівники», « $\frac{2}{3} \cdot 100$ трейдери», «Фокальні трейдери», «Трейдери 1-го рівня», «Трейдери 2-го рівня», «Трейдери 3-го рівня», «Трейдери Неша» та «Професіонали». Аналіз результатів кластеризації показав, що трейдери з рефлексією вищого порядку, як правило, більш прибуткові, ніж їх колеги.

Отримані результати підтверджують гіпотезу про обмежену раціональність трейдерів. Тому для моделювання часового ряду ціни біткоіна були використані положення концепції поведінкової економіки, найбільш важливими з яких для цього дослідження стали такі: ефект інформаційного каскаду (чутливість економічних суб'єктів до сторонніх думок), консерватизм (уповільнена зміна суб'єктами своїх переконань під впливом нової інформації), надреакція (надмірна реакція на інформацію), ефект прив'язки (схильність економічних агентів надто сильно покладатися на першу запропоновану інформацію під час ухвалення рішень), упередження базового відсотку (ігнорування базових статистичних характеристик та надання переваги специфічній інформації), ефект цінності грошових знаків, дисконтована корисність (схильність до отримання винагороди або її видимості якнайскоріше), ефект володіння (схильність економічних агентів переоцінювати активи, якими вони володіють, незалежно від об'єктивної ринкової вартості).

Для прогнозування динаміки ціни біткоіна на основі аналізу інтернет-контенту використовувалася інформація двох типів: фактуальна (об'єктивна) і концептуальна (суб'єктивна). Джерелом фактуальної інформації було обрано тематичні статті спеціалізованого новинного порталу (Coindesk), джерелом концептуальної – записи користувачів у мікроблогах (Twitter), що були перетворені на емотивні часові ряди за допомогою методів обробки природної мови. Для моделювання часового ряду були використані рекурентні нейронні мережі LSTM-архітектури. Найкращий результат показала модель, побудована на основі словника очікувань, що підтверджує гіпотезу «неважливо, про що говорять новинні статті, головне, наскільки очікувана та чи інша подія», а також свідчить про наявність у гравців ринку ефекту надмірної реакції на

інформацію. Порівняльний аналіз різних архітектур нейронних мереж, побудованих на основі фактуальних та концептуальних змінних, продемонстрував високу адекватність моделей і дозволив обґрунтувати доцільність використання інтернет-контенту для прогнозування курсу криптовалют.

Ключові слова: моделювання поведінки, криптовалюти, біткоїн, майнінг, трейдинг, експериментальна економіка, поведінкові фінанси, споживання електроенергії біткоїном, вуглецевий слід майнінгу, нейронні мережі, обробка природної мови, гра на відгадування, кластеризація.