

АГЕНТНО-ОРІЄНТОВАНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФОНДОВОГО РИНКУ

© 2015 ПРИМОСТКА А. О.

УДК 519.866

Примостка А. О. Агентно-орієнтоване моделювання фондового ринку

У статті розглянуто основні положення концепції агентно-орієнтованого моделювання, надано трактування поняття «агент», проаналізовано агентно-орієнтовані моделі фінансових ринків. Основну увагу приділено агентно-орієнтованій моделі фондового ринку Люкса – Марчезі, яка за допомогою спеціально розробленого програмного модуля використана для побудови штучного ринку, що дозволяє імітувати роботу фондового ринку та прогнозувати його цінову динаміку. За результатами комп'ютерної симуляції отримано прогноз динаміки зміни ринкової ціни та дохідності акцій, розподіл трейдерів на чартистів і фундаменталістів, індекс настроїв, який характеризує співвідношення між песимістичними та оптимістичними чартистами. Запропонований підхід може бути використаний для прогнозування динаміки вітчизняного фондового ринку або його окремих складових за умов високої волатильності цін та різкої зміни настроїв трейдерів.

Ключові слова: агенти, агентно-орієнтоване моделювання, модель штучного ринку, чартисти, фундаменталісти, ринкова ціна акцій.

Рис.: 6. **Формул:** 15. **Бібл.:** 11.

Примостка Андрій Олександрович – аспірант, кафедра інформаційних систем в економіці, Київський національний економічний університет ім. В. Гетьмана (пр. Перемоги, 54/1, Київ, 03068, Україна)

E-mail: aprimostka@irpin.com

УДК 519.866

UDC 519.866

Примостка А. А. Агентно-ориентированное моделирование фондового рынка

В статье рассмотрены основные положения концепции агентно-ориентированного моделирования, приведена трактовка понятия «агент», проанализированы агентно-ориентированные модели финансовых рынков. Основное внимание было уделено агентно-ориентированной модели фондового рынка Люкса – Марчези, которая была взята за основу при разработке программного модуля расчета искусственного рынка, позволяющего имитировать работу фондового рынка и прогнозировать его ценовую динамику. В результате компьютерной симуляции был получен прогноз динамики изменения цены и доходности акций, распределение трейдеров на чартистов и фундаменталистов, индекс настроений, который характеризует соотношение между пессимистическими и оптимистическими чартистами. Предложенный подход может быть использован для прогнозирования динамики отечественного фондового рынка или его отдельных составляющих при условиях высокой волатильности цен и резкого изменения настроений трейдеров.

Ключевые слова: агенты, агентно-ориентированное моделирование, модель искусственного рынка, чартисты, фундаменталисты, рыночная цена акций.

Рис.: 6. **Формул:** 15. **Библ.:** 11.

Примостка Андрей Александрович – аспірант, кафедра інформаційних систем в економіці, Київський національний економічний університет ім. В. Гетьмана (пр. Перемоги, 54/1, Київ, 03068, Україна)

E-mail: aprimostka@irpin.com

Primostka A. O. Agent-Oriented Modeling of Stock Market

In article the main points of the conception of agent-oriented modeling are considered, an interpretation of the term «agent» is presented, agent-oriented models of financial markets are analyzed. The main attention is paid to the agent-oriented model of stock market by Lux and Marchesi, which was used as a basis for development of a programming unit for calculation of artificial market to simulate stock market's activity and predict its price dynamics. As result of computer simulation, a forecast of dynamics of prices change and profitability of shares, distribution of traders on the chartists and fundamentalists, economic sentiment index that characterizes the relationship between pessimistic and optimistic chartists, have been obtained. The proposed approach can be used to predict dynamics of the domestic stock market or its individual components under the conditions of high volatility of prices and sudden change of traders' sentiments.

Key words: agents, agent-oriented modeling, artificial market model, chartists, fundamentalists, market price of the shares.

Pic.: 6. **Formulae:** 15. **Bibl.:** 11.

Primostka Andrii O. – Postgraduate Student, Department of Information Systems in the Economy, Kyiv National Economic University named after V. Getman (pr. Peremogy, 54/1, Kyiv, 03068, Ukraine)

E-mail: aprimostka@irpin.com

З розвитком та ускладненням суспільних відносин виникає необхідність спрощення представлення складних систем та урахування в них можливих дій користувача. Ефективним способом вирішення цієї проблеми став агентно-орієнтований підхід до моделювання складних систем. Концепція агентно-орієнтованого моделювання є одним із напрямів розвитку парадигми об'єктно-орієнтованого програмування, що передбачає послідовний перехід від команд до функцій, від функцій до об'єктів, від об'єктів до агентів.

Ключова ідея концепції агентно-орієнтованого моделювання (АОМ) полягає в припущенні, що прості правила поведінки окремих агентів генерують складну поведінку системи в цілому. Імітуючи одночасні операції та взаємодію багатьох агентів, агентно-орієнтована модель дозволяє відтворити та передбачити появу складних явищ. Зараз АОМ використовується в багатьох

наукових галузях, таких як біологія, екологія, фізика, соціологія. Цілком закономірно, що розвиток агентно-орієнтованого моделювання та комп'ютерної техніки не міг не поширитися на економічну сферу. Як наслідок, в економічних науках сформувався окремий напрям досліджень, який отримав назву «агентно-орієнтована обчислювальна економіка» – АОЕ (*Agent-based computational economics*). Цей напрям є альтернативою стандартним підходам до моделювання, які базуються на припущенні про існування ринкової рівноваги (яка є швидше винятком), проте стають неадекватними, коли її не досягнуто. На противагу цьому, АОМ сконцентроване на вивченні міжособистісної та соціальної взаємодії агентів у динамічній перспективі. Переваги агентно-орієнтованого моделювання зумовили його поширення в дослідженнях економічних процесів та явищ, що й обумовлює актуальність запропонованої статті.

Дослідженню концепції агентно-орієнтованого моделювання економічних процесів у цілому, і фондового ринку зокрема, присвячено праці багатьох науковців, наприклад, таких як: Г. Марковіц, Т. Кім, Дж. Холланд, Дж. Х. Міллер, М. Леві, Г. Леві, С. Соломон, Е. Зіцанг, Т. Люкс, М. Марчезі, С. Чен, М. Грубер, А. Бахтзін, В. Вітлінський, А. Матвійчук, В. Гужва та ін. [1 – 11]. Разом з тим, вивчення та узагальнення наукових розробок засвідчує, що парадигма агентно-орієнтованого моделювання знаходиться на етапі становлення, а тому потребує постійних наукових пошуків.

Метою статті є вдосконалення підходів до агентно-орієнтованого моделювання цінової динаміки фондового ринку шляхом побудови штучного ринку за допомогою імітаційних методів та спеціально розроблених програмних продуктів.

Фінансові ринки належать до класу складних систем, для моделювання яких необхідно використовувати адекватний інструментарій досліджень. З удосконаленням програмного забезпечення та зростанням потужності обчислювальної техніки отримали розвиток комп'ютерні симуляції ринків з індивідуальними адаптивними агентами. Хоча історію появи терміна «агент» досить складно відстежити, вважається, що вперше його використали Джон Холланд і Джон Х. Міллер у роботі «Штучні адаптивні агенти в економічній теорії» у 1991 р. [2]. У контексті АОМ під агентами розуміють сутності, які працюють, взаємодіють, розвиваються, навчаються, створюють цінності та обмінюються ними. У більш складних моделях штучного ринку під агентами розуміють, окрім моделі поведінки агента на ринку, також і модель навчання. Узагальнення існуючих підходів дозволяє стверджувати, що під агентом слід розуміти не тільки модель або набір моделей будь-якої складності, але й підсистему, що може розглядатися як мікромодель більш глобальної системи. Наприклад, у процесі глобалізації національні ринки можуть виступати агентами транснаціонального ринку, але водночас і агентно-орієнтованими системами для національних трейдерів. Агенти мають властивості автономності, інтерактивності, гетерогенності, здатності до розвитку та навчання. Поведінка агентів та їх взаємодія залежить від їхнього минулого досвіду і у багатьох агентно-орієнтованих моделях агенти змінюють свою поведінку, опираючись на минулий досвід. Такий принцип поведінки агентів створює залежність від пройденого шляху, тобто властивість, яка характеризує гетерогенність агентів.

Метою АОМ є виявлення та пояснення агрегованих закономірностей (узагальнених властивостей) економічної системи, які виникають з повторюваної взаємодії між автономними гетерогенними агентами. В основу концепції агентно-орієнтованого моделювання покладено принципи децентралізованого прийняття рішень багатьма автономними агентами та зростання внаслідок цього непередбачуваності поведінки системи на макрорівні, яка формується під впливом дій на мікрорівні. Але вирішення цих досить складних питань втілюється у відносно простій моделі окремого агента,

сукупність яких у процесі взаємодії формують цільову модель фінансового ринку.

Однією з перших агентно-орієнтованих моделей фінансових ринків, яка стала класичною, була модель Кіма – Марковіца (*Kim and Markowitz*), розроблена у 1989 р. [3]. Модель була створена для пояснення кризи на фондових біржах США 1987 р., коли фондові індекси знизилися більше, ніж на 20%. Автори моделі за допомогою методу Монте-Карло досліджували зв'язок між часткою агентів, що використовували стратегії хеджування портфеля цінних паперів, та волатильністю ринку. За характером модель Кіма – Марковіца є вузькоспеціалізованою, тому в подальшому були розроблені агентно-орієнтовані моделі, в яких відтворювалася більш загальна поведінка трейдерів. Першою з таких моделей була модель Леві – Леві – Соломона (*Levy, Levy and Solomon*, 1994 р.), яка зазнала численних модифікацій: це моделі 1995, 1997, 2000 рр.; модель Соломона – Леві – Хуана (*Huang and Solomon*, 2000 р.) [4, 5, 6]. Однак подальші дослідження показали, що ці перші мікроекономічні агентно-орієнтовані моделі штучних ринків не відповідали реальним емпіричним спостереженням динаміки фондових ринків.

Моделлю, в якій втілено намагання економістів ввести гетерогенну природу до стохастичних моделей фінансових ринків, стала агентно-орієнтована модель, розроблена Люксом і Марчезі (*Lux – Marchesi*, 1999 р., 2000 р.) [7, 8]. Модель надавала потенційну можливість пояснення типових змін волатильності фондових ринків та прогнозування їх цінової динаміки. До класу альтернативних моделей, що використовують новітні технології комп'ютерного навчання, такі як моделі адаптації людини, належить агентно-орієнтована модель штучного ринку, створена в Інституті Санта-Фе [9]. На відміну від попередніх АОМ, у моделі Санта-Фе інтерактивні агенти, окрім природного впливу один на одного, ще й намагаються вивчити правила ринку. Загалом прогнози моделі є адекватними, але обмеження на гомогенність агентів ускладнила порівняння результатів моделювання з реальним ринком. Однак і ця модель мала низку недоліків, які після публікації її першої версії тривалий час виправлялися як авторами моделі, так й іншими науковцями. Ще одним прикладом агентно-орієнтованої моделі штучного ринку є модель Чена та Єна (*Chen and Yeh*, 2001 р., 2002 р.), які використали техніку генетичного програмування та показали відповідність між отриманими даними та емпіричними спостереженнями [10, 11]. За результатами вивчення переваг і недоліків агентно-орієнтованих моделей фондових ринків для побудови штучного ринку обрано модель Люкса – Марчезі як таку, що найбільше відповідає стану вітчизняного фондового ринку, оскільки в умовах його нерозвиненості застосування більш складних моделей неефективне. Для побудови та тренування штучного ринку автором статті розроблено програмний модуль, який дозволяє імітувати поведінку агентів та наочно продемонструвати цінову динаміку ринку.

Логічна структура моделі штучного фондового ринку базується на певних припущеннях, а саме: на ринку діє дві групи агентів-трейдерів – фундаменталісти і чартисти,

які можуть змінювати свою стратегію і переходити з групи в групу. Крім того, серед чартистів виокремлюються підгрупи оптимістичних і песимістичних учасників. Така складна динаміка призводить до хаотичності середніх значень ринкової ціни. Рішення щодо купівлі чи продажу акцій приймаються агентами за результатами порівняння їх ринкової ціни та фундаментальної (внутрішньої) вартості (щодо якої кожен агент має власну оцінку). За наявності незбалансованого попиту та пропозиції акцій виникає зворотній зв'язок між динамікою груп агентів та коригуванням ціни акцій.

Для формалізації моделі введено такі позначення: N – кількість агентів, що працюють на штучному ринку; n_c – кількість агентів-чартистів; n_f – кількість агентів-фундаменталістів; n_+ – кількість оптимістичних агентів-чартистів; n_- – кількість песимістичних агентів-чартистів; ($n_+ + n_- = n_c$), p – поточна ринкова ціна акцій; p_f – фундаментальна вартість акцій. При цьому виконуються співвідношення:

$$n_c + n_f = N. \quad (1)$$

Модель описується залежностями [7, 8]. Ймовірність зміни стратегії агентів-чартистів з оптимістичної на песимістичну і навпаки за малий проміжок часу Δt позначимо відповідно як $\pi_{+-} - \Delta t$ і $\pi_{-+} \Delta t$. Тоді:

$$\pi_{+-} = v_1 \frac{n_c}{N} \exp(U_1), \quad (2)$$

$$\pi_{-+} = v_1 \frac{n_c}{N} \exp(-U_1). \quad (3)$$

Стратегія чартистів формується під впливом двох чинників: 1) поведінка більшості трейдерів – учасників ринку $x = (n_+ - n_-)/n_c$; 2) поточний тренд (напрямок руху) ціни акцій (dp/dt) ($1/p$). Параметри v_1 , α_1 та α_2 є, відповідно, коефіцієнтами частоти перегляду стратегії агентом, важливості впливу поглядів інших агентів на вибір стратегії окремого агента та впливу динаміки цін на його поведінку. Тоді дохідність описується залежністю:

$$U_1 = \alpha_1 x + \frac{\alpha_2}{v_1} \frac{dp}{dt} \frac{1}{p}. \quad (4)$$

Оскільки чартисти можуть взаємодіяти з фундаменталістами, то ймовірності переходу з однієї групи в іншу множаться на поточну частку чартистів у загальній кількості трейдерів. Аналогічно формалізується зміна стратегії трейдера з чартиста на фундаменталіста і навпаки. Відтак, формально існує чотири варіанти зміни стратегії агентів, ймовірність настання яких описується залежностями:

$$\pi_{+f} = v_2 \frac{n_+}{N} \exp(U_{2,1}), \quad (5)$$

$$\pi_{f+} = v_2 \frac{n_f}{N} \exp(-U_{2,1}), \quad (6)$$

$$\pi_{-f} = v_2 \frac{n_-}{N} \exp(U_{2,2}), \quad (7)$$

$$\pi_{f-} = v_2 \frac{n_f}{N} \exp(-U_{2,2}). \quad (8)$$

Величини $U_{2,1}$ та $U_{2,2}$ для цих переходів залежать від різниці миттєвих доходів агентів-чартистів та агентів-фундаменталістів:

$$U_{2,1} = \alpha_3 \left\{ \frac{r + \frac{1}{v_2} \frac{dp}{dt}}{p} - R - s \left| \frac{p_f - p}{p} \right| \right\}, \quad (9)$$

$$U_{2,2} = \alpha_3 \left\{ R - \frac{r + \frac{1}{v_2} \frac{dp}{dt}}{p} - s \left| \frac{p_f - p}{p} \right| \right\}. \quad (10)$$

Перша складова рівняння (9) описує дохідність стратегії чартистів з груп n_+ та n_- , а друге – дохідність фундаменталістів, де v_2 – коефіцієнт частоти перегляду агентом своєї стратегії; α_3 – міра чутливості до похідної прибутків (різниці між ринковою ціною та фундаментальною вартістю); r – номінальні дивіденди за акцією; R – середній рівень дохідності в економіці; dp/dt – дохідність, яка залежить від зміни ціни акцій. Крім того, оскільки доходи чартисти отримують одразу, а фундаменталісти – тільки у майбутньому, в модель вводиться дисконтуючий параметр $s < 1$. Таким чином, загальний дохід обчислюється як різниця між відношенням загального доходу до ціни акції (дохід на одну акцію) та середньою величиною дохідності в економіці (R), яку отримують інвестори за вкладеннями в альтернативні напрями інвестування. З іншого боку, фундаменталісти розглядають відхилення між ціною та фундаментальною вартістю p_f як основне джерело можливостей для отримання доходу, який формується в момент повернення ціни до фундаментальної вартості акції. А отже, велика різниця між p та p_f спонукає агентів використовувати фундаментальну стратегію. До того ж, нехтування дивідендами у структурі доходів фундаменталістів виправдовується припущенням, що вони у довгостроковій перспективі вірно оцінили рівність реальних доходів та середню дохідність в економіці ($r/p_f = R$). Таким чином, єдиним джерелом доходів є арбітраж від різниці між ціною та фундаментальною вартістю акції ($p \neq p_f$).

Рівняння (10) представляє доходи песимістичних чартистів, які для запобігання втрат будуть виходити з ринку та продавати підозрілі акції. Їх обережна позиція представлена стратегією порівняння середнього рівня доходів в економіці R із сумою номінальних дивідендів та зміни ціни акцій, які вони продають. Це пояснює, чому перші дві складові у формулах для $U_{2,1}$ та $U_{2,2}$ змінені місцями. Зміни ринкових цін моделюються як ендегенна реакція ринку на незбалансованість попиту та пропонування на ринку. Якщо припустити, що оптимістичні чартисти створюють додатковий попит на ринку (купують), а песимістичні, навпаки, – додаткову пропозицію (продають), то зміна потреб чартистів обчислюється за формулою:

$$ED_c = (n_+ - n_-) t_c, \quad (11)$$

де t_c – середня величина транзакції.

Чутливість фундаменталістів до коливання між ринковою ціною та фундаментальною вартістю акцій описується формулою:

$$ED_f = n_f \gamma \frac{p_f - p}{p}, \quad (12)$$

де γ – параметр, який характеризує силу реакції.

Для узгодження із загальною структурою процес коригування цін також формалізується за допомогою Пуасоновських перехідних ймовірностей, а саме: перехідні ймовірності зміни ціни на невеликий процент $\Delta p = \pm 0.001p$ за час Δt визначаються функціями:

$$\pi_{\uparrow p} = \max[0, \beta(ED + \mu)], \quad (13)$$

$$\pi_{\downarrow p} = -\min[0, \beta(ED + \mu), 0], \quad (14)$$

де β – параметр для регулювання швидкості зміни ціни, $ED = ED_f + ED_c$ – загальне перевищення попиту над пропозицією. Тоді динаміка середнього значення ринкової ціни виражається диференціальним рівнянням залежності зміни ціни від перевищення попиту над пропозицією:

$$\frac{dt}{dp} = \beta \cdot ED = \beta(ED_f + ED_c). \quad (15)$$

Очевидно, що зміна ринкової ціни акції впливає на рішення агентів дотримуватись тієї чи іншої стратегії: зростання цін збільшує оптимістичні настрої та змушує песимістичних чартистів переглянути свої стратегії. Аналогічно різниця між ринковою ціною акції та її фундаментальною вартістю може зменшитися, що призведе до посилення фундаменталістських настроїв серед агентів. У цілому, результуюче підтвердження чи спростування поглядів агентів разом зі зміною доходності різних стратегій приведе до перерозподілу агентів між групами та змінить загальний попит і пропозицію на ринку за поточний період.

Також модель підтримує можливість екзогенного впливу на фундаментальну вартість. Для того, щоб ні один з емпіричних фактів не був наслідком впливу екзогенних чинників, вважається, що фундаментальна вартість p_f є Гаусівською нормальною змінною: $\varepsilon_t = \ln(p(f, t)) - \ln(p(f, t-1))$, де $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon)$.

Слід відмітити, що динаміка Пуасоновського типу асинхронної зміни стратегій агентів у симуляціях

може бути лише апроксимована. Зокрема потрібно обрати достатньо маленькі відрізки зміни часу для запобігання штучній синхронізації рішень агентів щодо зміни стратегії.

Для проведення комп'ютерної симуляції для побудови штучного ринку введено такі параметри – константи моделі: кількість агентів $N = 500$; мінімальна кількість агентів в кожній стратегії – 4 ($n_{\min} = 4$); фундаментальна вартість акції $p_f = 10$; номінальні дивіденди $r = 0,004$; середня величина доходу $R = 0,0004$. Граничні випадки (виродження груп агентів) примусово виключаються встановленням нижньої межі кількості агентів в групі.

Змінні параметри моделі: коефіцієнт частоти переоцінки поглядів оптимістів/песимістів $v_1 = 3$; $v_2 = 2$; коефіцієнтами частоти перегляду агентами стратегії чартист/фундаменталіст; швидкість реакції агента (параметр для регулювання швидкості зміни ціни) $\beta = 6$; середня величина транзакції чартиста $t_c = 10/N$; середній обсяг транзакції чартиста на одиницю різниці цін $(\gamma/p)t_f = 5/N$; міра важливості поглядів інших трейдерів-чартистів $\alpha_1 = 0,6$; міра динаміки цін $\alpha_2 = 0,2$; коефіцієнт чутливості до похідної доходів для переходу між чартистами та фундаменталістами $\alpha_3 = 0,5$; дисконтуючий параметр $s = 0,75$.

За результатами симуляції, проведеної на основі описаної моделі за допомогою спеціально розробленого програмного модуля, отримано прогноз динаміки зміни ринкової ціни (рис. 1) та графік логдохідності акції (рис. 2).

Зв'язок між динамікою відносних змін ціни та кількістю чартистів серед трейдерів наведено на рис. 3. Збільшення кількості чартистів веде до періодичних флуктуацій на ринку. Також можна побачити, що модель включає стабілізаційні параметри, що веде до зменшення кількості чартистів після деякого періоду нестабільності. Причина полягає в тому, що значні відхилення ринкової ціни від фундаментальної вартості акції ведуть до зростання потенційного доходу стратегії фундаменталістів, що спонукає деяку кількість агентів притримуватись її.

За результатами комп'ютерної симуляції отримано прогноз динаміки індексу настроїв чартистів як співвідношення між оптимістично та песимістично налаштованими агентами (рис. 4), прогнозні значення обсягів ринку (рис. 5) та загального достатку агентів (рис. 6).



Рис. 1. Динаміка зміни ринкової ціни акції

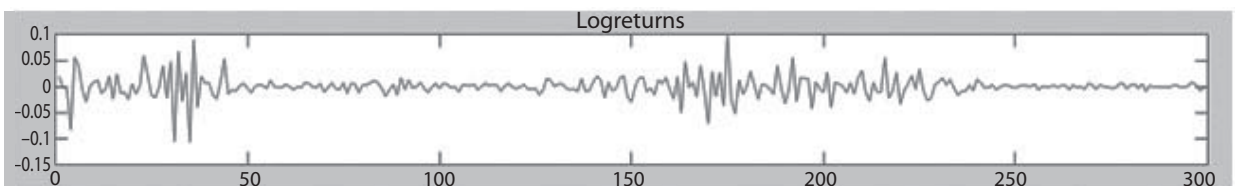


Рис. 2. Логдохідність акції

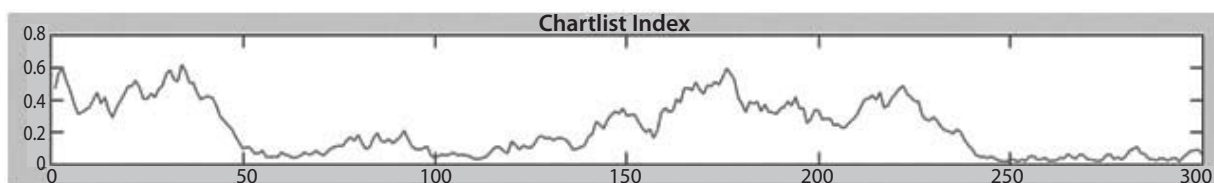


Рис. 3. Частка агентів-чартистів у загальній кількості трейдерів на ринку

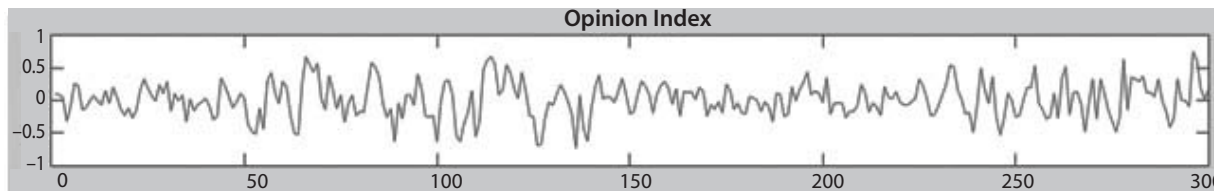


Рис. 4. Індекс настроїв (нормована різниця між оптимістичними та песимістичними чартистами)

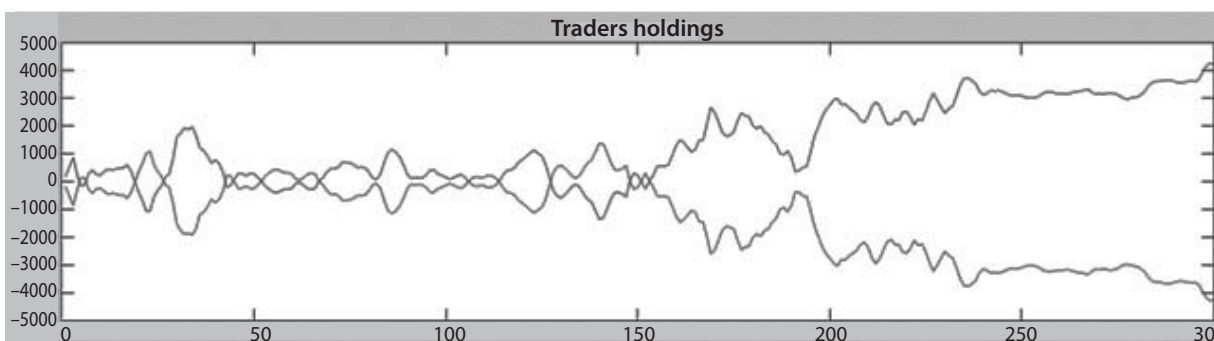


Рис. 5. Прогнозована динаміка обсягу ринку (кількість акцій у трейдерів)

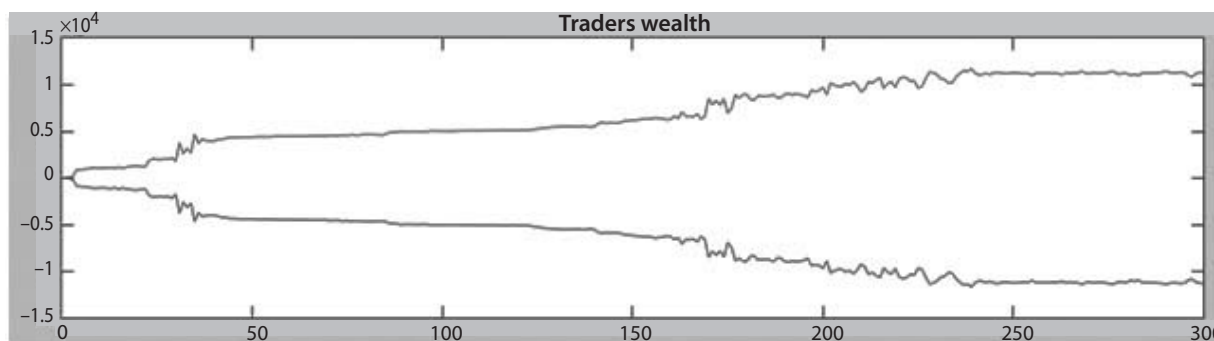


Рис. 6. Загальний обсяг активів усіх агентів

ВИСНОВКИ

Агентно-орієнтоване моделювання є інноваційним напрямом наукових досліджень і успішно застосовується в різних галузях науки, у т. ч. в економіці. Інструментарій АОМ дозволяє представити складні економічні системи через прості правила поведінки окремих агентів. У світовій науці розроблено низку агентно-орієнтованих моделей фінансових ринків різного рівня складності. Ці моделі використовуються для побудови штучних ринків за допомогою комп'ютерної симуляції. Реалізацію агентно-орієнтованої моделі фондового ринку здійснено за допомогою спеціально розробленого програмного модуля, що дозволило імітувати поведінку агентів та отримати прогноз основних індикаторів фондового ринку. Отримані результати показали, що моделювання фондового ринку методами агентно-орієнтованого підходу є ефективним і може бути використане для прогнозування динаміки українського фондового ринку або

його окремих складових за умов високої волатильності та різкої зміни настроїв трейдерів, що характерно для вітчизняних реалій. ■

ЛІТЕРАТУРА

1. **Samanidou E.** Agent-based models of financial markets / E. Samanidou, E. Zschischang, D. Stauffer and T. Lux // *Rep. Prog. Phys.* 70 409, 2007. – DOI:10.1088/0034-4885/70/3/R03
2. **Holland J. H.** Artificial Adaptive Agents in Economic Theory / J. H. Holland, J. H. Miller // *American Economic Review.* – 1991. – № 81 (2) – Pp. 365 – 371.
3. **Kim G. W.** Investment rules, margin and market volatility / G. W. Kim and Markowitz H. M. // *Journal of Portfolio Management.* – 1989. – № 16. – Pp. 45 – 52.
4. **Levy M.** A microscopic model of the stock market: cycles, booms, and crashes / M. Levy, H. Levy and S. Solomon // *Economics Letters.* – 1994. – № 45. – Pp. 103 – 111.
5. **Levy M.** Microscopic simulation of the stock market: the effect of microscopic diversity / M. Levy, H. Levy and S. Solomon // *Journal Physique.* – 1995. – 5. – Pp. 107 – 108.

6. Richmond P. Power Laws are disguised Boltzmann Laws / P. Richmond and S. Solomon // *International Journal of Modern Physics*. – 2001. – Vol. 12, No. 3. – Pp. 333 – 343.

7. Lux T. Scaling and criticality in a stochastic multi-agent model of a financial market / T. Lux and M. Marchesi // *Nature*. – 1999. – No. 397. – Pp. 498 – 500.

8. Lux T. Volatility clustering in financial markets: a micro-simulation of interacting agents / T. Lux and M. Marchesi // *International Journal of Theoretical and Applied Finance*. – 2000. – № 3. – Pp. 670 – 702.

9. Hoffmann A. O. I. Stock Price Dynamics in Artificial Multi-Agent Stock Markets / A. O. I. Hoffmann, S. A. Delre, J.H. von Eije and W. Jager // *Artificial Economics Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. – 2006. – Volume 564. – Pp. 191 – 201.

10. Chen S. H. Testing for non-linear structure in an artificial financial market / S. H. Chen, T. Lux and M. Marchesi // *Journal of Economic Behavior & Organization*. – 2001. – Vol. 46, issue 3. – Pp. 327 – 342.

11. Chen S. H. Varieties of agents in agent-based computational economics: A historical and an interdisciplinary perspective / S. H. Chen // *Journal of Economic Dynamics and Control*. – 2012. – Vol. 36, issue 1. – Pp. 1 – 25.

REFERENCES

Chen, S. H., Lux, T., and Marchesi, M. "Testing for non-linear structure in an artificial financial market". *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 46, no. 3 (2001): 327-342.

Chen, S. H. "Varieties of agents in agent-based computational economics: A historical and an interdisciplinary perspective". *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 36, no. 1 (2012): 1-25.

Hoffmann, A. O. et al. "Stock Price Dynamics in Artificial Multi-Agent Stock Markets". *Artificial Economics Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, vol. 564 (2006): 191-201.

Holland, J. H., and Miller, J. H. "Artificial Adaptive Agents in Economic Theory". *American Economic Review*, no. 81(2)-Pp (1991): 365-371.

Kim, G. W., and Markowitz, H. M. "Investment rules, margin and market volatility". *Journal of Portfolio Management*, no. 16 (1989): 45-52.

Lux, T., and Marchesi, M. "Scaling and criticality in a stochastic multi-agent model of a financial market". *Nature*, no. 397 (1999): 498-500.

Lux, T., and Marchesi, M. "Volatility clustering in financial markets: a micro-simulation of interacting agents". *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, no. 3 (2000): 670-702.

Levy, M., Levy, N., and Solomon, S. "Microscopic simulation of the stock market: the effect of microscopic diversity". *Journal Physique*, no. 5 (1995): 107-108.

Levy, M., Levy, N., and Solomon, S. "A microscopic model of the stock market: cycles, booms, and crashes". *Economics Letters*, no. 45 (1994): 103-111.

Richmond, P., and Solomon, S. "Power Laws are disguised Boltzmann Laws". *International Journal of Modern Physics*, vol. 12, no. 3 (2001): 333-343.

Samanidou, E. et al. "Agent-based models of financial markets". *Reports on Progress in Physics*, no. 70409 (2007).