

АГЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ФІНАНСОВИХ РИНКАХ AGENT MODELING OF DECISION-MAKING IN FINANCIAL MARKETS

УДК 519.876.2:005.53]:336.76

DOI: <https://doi.org/10.32782/infrastruct77-10>

Хорошун В.В.

к.е.н., доцент,
доцент кафедри інформаційної
економіки, підприємництва та фінансів,
Інженерний навчально-
науковий інститут
імені Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету

Бирський В.В.

к.е.н., доцент,
доцент кафедри інформаційної
економіки, підприємництва та фінансів,
Інженерний навчально-
науковий інститут
імені Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету

Мержинський Є.К.

к.е.н., доцент,
доцент кафедри інформаційної
економіки, підприємництва та фінансів,
Інженерний навчально-
науковий інститут
імені Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету

Khoroshun Viktoriia

Engineering Educational
and Scientific Institute
named by Yuriy Potebni
Zaporizhia National University

Byrskiy Vitalii

Engineering Educational
and Scientific Institute
named by Yuriy Potebni
Zaporizhia National University

Merzhynskiy Yevhenii

Engineering Educational
and Scientific Institute
named by Yuriy Potebni
Zaporizhia National University

У роботі розглядається актуальне питання дослідження поведінки агентів фінансових ринків та виявлення мотивів учасників нестабільних, вкрай ризикованих та практично некерованих ринків в сучасних умовах їх функціонування. В даній статті представлені принципи створення фінансових моделей, визначено принципи прийняття рішень на фінансових ринках та проаналізовано вплив стадної поведінки на прийняття рішень. В роботі побудована концепція агентного моделювання прийняття рішень на фінансових ринках, розглянуто математично-статистичні моделі, мультиагентні системи, моделі прийняття рішень на фінансових ринках. Проаналізовано доступні інструменти розробки і реалізації імітаційних агентних моделей та розроблено імітаційну агентну модель прийняття рішень на фінансовому ринку в середовищі моделювання AnyLogic Professional, з метою аналізу впливу поведінки агентів на динаміку цін на фондовому ринку.

Ключові слова: фінансовий ринок, моделювання, агент, імітаційна модель, прийняття рішень.

The work deals with the topical issue of researching the behavior of financial market agents and identifying the motives of participants in unstable, extremely risky and practically unmanaged markets in the modern conditions of their functioning. This article presents the principles of creating financial models, defines the principles of decision-making in financial markets, and analyzes the impact of herd behavior on decision-making. In the work, the concept of agent modeling of decision-making in financial markets is built, mathematical and statistical models, multi-agent systems, models of decision-making in financial markets are considered. The available tools for the development and implementation of simulation agent models were analyzed and a simulation agent model of decision-making in the financial market was developed in the AnyLogic Professional modeling environment, with the aim of analyzing the influence of agent behavior on the dynamics of prices in the stock market. Based on a reflexive approach to the analysis of the stock market, within the framework of this work, situations of decision-making by agents regarding the purchase or sale of securities on the virtual stock market were simulated using the Ising model – modeling the impact of different levels of the herding coefficient on the stock market. In the process of modeling, the set goals and objectives were achieved, namely: determination of the principles of functioning and structure of the stock market; the influence of information value on the efficiency of the stock market was investigated; the process of emergence of bubbles on the stock market is investigated. As a result of the computer experiments carried out as part of this work, two virtual stock markets were investigated – a virtual stock market with the number of 1000 agents and the presence of intuitive agents, and a dynamic virtual market with agents under the influence of authoritative agents. So, the scientific article considers methodological approaches to the analysis of decision-making by agents in financial markets and modeling of decision-making processes by economic agents based on the agent model of group behavior, which allows to identify the presence of herd behavior in the actions of agents and to form management measures to coordinate the decision-making process.

Key words: financial market, simulation, agent, simulation model, decision-making.

Постановка проблеми. В сучасних економічних умовах фінансові ринки є нестабільними, вкрай ризикованими, практично некерованими, що веде до того, що стандартні методи прогнозування та моделювання процесів на фінансових ринках стають неефективними. Виникає потреба в дослідженні поведінки агентів на фінансових ринках та виявленні мотивів учасників за допомогою біхевіористичних методів. Ці методи дозволяють долучитися до внутрішнього світу учасників ринку, розглядаючи їхні рішення як результат власних уявлень про систему. Кожен учасник фондового ринку в цих біхевіористичних системах виступає як індивід, що самостійно приймає рішення на основі власних уявлень, використовуючи власні стратегії, і має особисті бажання, плани, страхи та

схильності. Це дозволяє отримати більш глибоке розуміння динаміки ринку та виявити ті чинники, які можуть впливати на прийняття фінансових рішень.

У світовій практиці існують випадки ірраціональної поведінки окремих агентів і фінансового ринку в цілому, які неможливо пояснити за допомогою раціональних моделей. Постає актуальна задача дослідження поведінки агентів на фінансових ринках та виявлення мотивів учасників в сучасних нестабільних умовах функціонування фінансових ринків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аспекти колективної поведінки агентів досліджені в роботах Х. Лебенстайна, Л. Фестингера, І. Джаніса, М. Грановеттера, нобелівських

лауреатів Г. Саймона, Д. Акерлофа, Д. Стігліца, Т. Шеллінга, що вивчають інформаційний та психологічний вплив на прийняття рішень економічними агентами. Для того, щоб розуміти сутність утворення стадної поведінки та те, чим керуються маси в процесі прийняття рішень, необхідно звернутися до праць з рефлексивної теорії, адже саме цей підхід до інформації дозволяє зрозуміти і дає можливість змодельовати процеси прийняття рішення агентами та учасниками гри.

Суттєве значення у дослідженні фінансових ринків було досягнуто: Марковицем, який запропонував теорію портфеля з середнім відхиленням; Шарпом з його моделлю оцінки основних фондів; Мертоном, Блеком і Шоулзом з теорією оцінки опціонів і хеджування; Коксом, Інгерзоллем і Россом з теорією процентної ставки; і це лише найбільш значні зміни у розвитку теорії фінансових ринків.

Більшість дослідників цих явищ на ринках працює в рамках двох підходів. Перший полягає в аналізі емпірики і пошуку чисельних методів попереднього виявлення і передбачення розвитку бульбашок. Другий підхід заснований на виявленні чинників поведінки окремих учасників ринку, ринкового середовища в цілому, взаємодія яких може призвести до появи бульбашок і наступних крахів. Дане дослідження виконане в рамках другого підходу.

Постановка завдання. Низька інформаційна ефективність фондових ринків, асиметричний розподіл інформації і схильність учасників торгів до прийняття нераціональних інвестиційних рішень під впливом поведінкових факторів є основними факторами, що спонукають агентів до масової, стадної та наслідувальної поведінки, що може призводити як до позитивних змін динаміки та ринкової активності, так і виступати причиною дестабілізації міжнародних фондових ринків. Рішення кожного залежить від рішення інших (стратегічна взаємозалежність) і очікувань майбутнього. Послідовне моделювання фінансових ринків залишається відкритою проблемою.

Тому основною метою дослідження є – змодельовати ситуації прийняття рішень агентами щодо купівлі або продажу цінних паперів на віртуальному фондовому ринку за допомогою моделі «Ізінга» (моделювання впливу різних рівнів коефіцієнту стадності на фондовому ринку).

Для вирішення актуальної проблеми і досягнення мети дослідження у роботі було поставлено та вирішено наступні завдання:

- визначення принципів функціонування та структури фондового ринку;
- дослідження впливу інформаційної цінності на ефективність фондового ринку;
- аналіз процесу виникнення бульбашок на фондовому ринку;

- змодельовати виникнення бульбашок при прийнятті рішень агентами на фондовому ринку;

- показати вплив авторитетних агентів на ситуацію прийняття рішень агентами фондового ринку в умовах неповноти та асиметричності наявної інформації;

- змодельовати вплив зовнішніх факторів на приватну інформацію агента та прийняття ним рішення щодо купівлі або продажу цінних паперів на фондовому ринку.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Стадну поведінкою можна визначити як інвестиційну стратегію, яка полягає на наслідуванні поведінки більш досвідчених та авторитетних учасників ринку або приєднанні до пануючого на ринку тренду під впливом низки поведінкових факторів: недооцінка власних аналітичних здібностей та переоцінка аналітичних здібностей інших інвесторів, надмірні побоювання щодо нанесення шкоди власній репутації, переоцінка достовірності та ваги інформації, якою володіють інші учасники ринку. Дестабілізуючий вплив стадної поведінки виявляється у значному відхиленні цін від справедливого рівня, у бік зростання, як правило, формуванні ефекту натовпу, що призводить до появи спекулятивних бульбашок.

Одним з можливих способів аналізу і діагностики стадної поведінки агентів на фінансових ринках [3] виступає модифікація відомої фізичної моделі Ізінга:

$$S_i(t) = \text{sign} \left\{ V_i(t) + g_i G(t) + \sum_{j=1}^{N_i} K_{ij} S_j(t) + \varepsilon(t) \right\}, \quad (1)$$

згідно якої можливе рішення інвестора щодо операції з певним активом в момент часу t розглядається як: «купувати» $S_i(t)=1$, «продавати» $S_i(t)=-1$ або «вичікувати» $S_i(t)=0$. На ухвалення рішення i -м агентом впливають власні апріорні очікування щодо даного активу $V_i(t)$, зовнішні новини на ринку $G(t)$, а також шум $\varepsilon(t)$. В умовах обмеженої інформації важливим чинником підвищення обґрунтованості рішення виступають сигнали зовнішнього оточення інвестора, тобто дії інших агентів $S_j(t)$ щодо даного активу і рівень довіри до них K_{ij} , який є мірою імітації або стадності. Майбутня зміна ціни активу пропорційно сумі рішень агентів щодо даного активу, тобто:

$$P(t+1) = P(t) e^{-\sum S_i(t)/N}. \quad (2)$$

Іншими словами, найкраще інвестиційне рішення для певного трейдера полягає в тому, щоб прийняти його на основі власних очікувань, впливу зовнішніх новин, рішень більшості агентів-сусідів з певним ступенем невизначеності (шумом). За результатами моделювання встановлено, що існує певний критичний рівень стадності K_c , не досягаючи якого для агентів притаманна низька чутливість до незначних збурень, імітація

поширюється тільки між близькими сусідами. При збільшенні рівня стадності і наближенні його до K_c трейдери стають надзвичайно чутливі до малих збурень, агенти погоджуються один з одним, формуючи великі кластери продавців або покупців, що може викликати значні критичні коливання ринку, приводячи до утворення і руйнування фінансових «бульбашок».

Характерною особливістю біхевіористських моделей є те, що вони розглядають як результат – поведінку груп осіб. Усередині групи всі учасники приймають однакове рішення. Однак, різні групи можуть прийняти різні рішення. В результаті взаємодій окремих груп можуть отримуватися коливання курсів валют і котирувань акцій.

Дії окремих учасників ринку, хоча і намагаються бути раціональними і агенти намагаються оптимізувати свої дії, але цьому прагненню до раціональності найчастіше заважають когнітивні вподобання, емоційні особливості та соціальні впливи. Саме тому агенти ринку не завжди поводяться так, як стверджують теорії раціональної поведінки.

Саме через ці розбіжності і виникає необхідність вивчення поведінки агентів на ринку, тобто розвитку біхевіористської економіки, теорії стадної поведінки.

Існуючі теорії поведінки цін на фондовому ринку є неідеальними з точки зору практичного використання. І це ще одна причина, через яку фондовий ринок може бути кращою відправною крапкою для вивчення явищ рефлексії. Якщо існує місце, де теорія досконалої конкуренції повинна втілюватися в життя, то це фондовий ринок. Проте майже немає емпіричних свідоцтв рівноваги або хоч би тенденції в динаміці цін, яка б вела до стану рівноваги. В спостереженнях постійно відбуваються зміни, незалежно від того, протягом якого терміну вони проводилися [1, с. 153].

Властиві фінансовим ринкам рефлексивні зв'язки наводять до виникнення історичних процесів, що саморозвиваються, впливають не лише на ринкові ціни, але і на фундаментальні основи, які і покликані відображати ринкові ціни. Агенти ринку часто вчиняють так чи інакше не відповідно до своїх інтересів, а відповідно до власного сприйняття своїх інтересів – що неодноразово підтверджувалося експериментами в області біхевіористської економіки. Учасники ринку діють в умовах незавершеного розуміння, що може привести до непередбачуваних наслідків.

Основу агентного підходу до моделювання складають агентно-орієнтовані моделі – спеціальний клас обчислюваних моделей, що базуються на індивідуальній поведінці агентів та створюються для комп'ютерних симуляцій.

Загальне агентне моделювання може бути використано для поліпшення розуміння та перевірки правильності функціонування агентних

моделей, для визначення, наскільки ці моделі правдоподібні, для демонстрації концепцій агентного моделювання всім зацікавленим сторонам і для тестування ідей про поведінку агентів у нестандартних ситуаціях.

В цілому фахівці виділяють три стадії побудови агентної моделі:

1. Визначення меж моделі: яке явище/подія моделюється, які його рамки.

2. Визначення поведінки/взаємодії агентів: розробка моделі поведінки / прийняття рішень агентом і його взаємодії з іншими агентами.

3. Розробка та апробація моделі, проведення аналізу чутливості.

В даний час моделювання становить невід'ємну частину сучасної фундаментальної та прикладної науки. Існує безліч пакетів прикладних програм для математичних і наукових розрахунків, орієнтованих на широкі кола користувачів. До таких пакетів відносяться Agnes, VisSim, Arena, AnyLogic, NetLogo, StarLogo та інші [2, с. 185]. Три останні перераховані програми є найпопулярнішими для розробки і створення агентно-орієнтованих моделей.

У даній роботі в якості програмного забезпечення буде обраний AnyLogic, розроблений російською компанією Екс Джей Текнолоджіс. Цей інструмент володіє сучасним графічним інтерфейсом і дозволяє використовувати мову Java для розробки моделей. AnyLogic – єдиний інструмент імітаційного моделювання, який підтримує всі підходи до створення імітаційних моделей: дискретний, системно-динамічний і агентний, а також будь-яку комбінацію.

Моделювання здійснювалось на основі моделі Ізінга, яка забезпечує загальний фон для створення реалістичних моделей соціальної взаємодії, що означає можливість її використання, як моделі фінансової динаміки цін в результаті колективного вирішення сукупності агентів. Ця модель включає імітацію дії зовнішніх новин і приватної інформації. Вона має структуру динамічної моделі Ізінга, в якій агенти мають дві думки (покупка або продаж) з коефіцієнтами зв'язку, а також які мають накопичену інформацію про те, як ринок зреагував на попередні новини. Вивчається як агенти інтерпретують новини, які отримують та наскільки сильний вплив має вибір попередніх учасників ринку на їх власний вибір [3].

За допомогою цієї моделі видно, що на утворення бульбашок на ринку впливають не лише новини, а й ставлення учасників ринку до цих новин та до думки решти учасників ринку – коефіцієнт стадності. Згідно з даною моделлю учасники ринку приймають рішення спираючись на три різні канали інформованості: взаємний вплив або імітація, новини ззовні та власні судження. Агенти кожного разу оновлюють свою спроможність

втягати інформацію з поведінки інших учасників ринку, базуючись на тому, як попередні учасники реагували на зовнішні впливи, наприклад новини. При реалізації даної моделі враховувалися коефіцієнти стадності, коефіцієнти реагування агентів на інформацію ззовні, власні сигнали агентів ринку та зовнішні новини.

Алгоритм моделювання прийняття рішень на фінансовому ринку:

1. Генератор випадкових чисел формує наступні значення:

- новину, шум – одне значення для всіх агентів;
- власну думку, кількість акцій, кількість грошових коштів – для кожного агента різне значення.

2. У циклі присвоюються значення коефіцієнтів довіри новинам, власному судженню, іншим агентам, впливу авторитетної думки, в результаті чого, маємо три типи агентів. У цьому ж циклі рахується рішення кожного агента за формулою:

$$S_i(t) = v_i V_i(t) + g_i G(t) + K_i \left(\sum_{j=0}^N S_j(t) / n \right) + \varepsilon(t) + b_i B_i, \quad (3)$$

де $S_i(t) > 0,3$ – «купувати», $S_i(t) < -0,3$ – «продати», $-0,3 < S_i(t) < 0,3$ – «вичікувати»; v_i – коефіцієнт впевненості; $V_i(t)$ – власні апріорні очікування щодо даного активу; g_i – коефіцієнт довіри новинам; $G(t)$ – зовнішні новини на ринку; K_i – коефіцієнт стадності; $S_j(t)$ – дії інших агентів щодо даного активу; N – кількість агентів, які впливають на рішення i -го агента; $\varepsilon(t)$ – шум; b_i – коефіцієнт впливу авторитетних агентів; B_i – думка авторитетних агентів [3].

Відбувається перехід агентів з одного стану в інший, після переходу змінюється колір агента, якщо він хоче купувати – стає синього кольору, якщо продавати – червоного, якщо вичікувати – жовтого.

Підраховується кількість агентів, які хочуть купити акції і мають на це достатньо коштів, і кількість агентів, які мають акції і хочуть їх продати, менше значення присвоюється змінній, яка означає скільки відбулось угод за одиницю модельного часу.

Перевіряється умова: якщо більше агентів хочуть і можуть купити і не можуть це зробити через те, що не вистачає продавців, то ціна підвищується, якщо більше хочуть продати а не має покупців, то знижується, якщо однакова кількість продавців і покупців, то ціна не змінюється:

$$p(t) = p(t-1) \pm (r / 1000), \quad (4)$$

де $p(t)$ – поточна ціна акції;

$p(t-1)$ – ціна акції в попередній момент;

r – різниця між бажаними купити і продати акції.

У тих, хто купив віднімаються кошти і додаються акції, а у тих, хто продав додаються гроші і віднімаються акції.

На рисунку 1 наведено знімок екрана, що демонструє роботу моделі прийняття рішень на фінансовому ринку. Тип розміщення агентів:

упорядковане. Перші 333 агенти стадного типу, на рисунку помітно, що більша частина поводить себе однаково, але не всі, частина агентів не тільки копіює поведінку інших а й прислухається до власного голосу і новин, хоча коефіцієнти довіри до них значно менші. Далі розміщені шумові агенти, серед них тільки один продає, а всі інші вичікують більш сприятливих обставин тому, що новини вказують на те, що поки краще тримати акції. Остання третина агентів – інтуїтивного типу, на рисунку видно, що вони всі поведуться по-різному, тому що не довіряють новинам та іншим учасникам ринку і діють на власний розсуд. Можна змінювати кількість агентів різних типів і дивитися, як при цьому змінюється ціна активу.

У ході тестування розробленої моделі, провівши безліч прогонів, були встановлені деякі залежності поведінки моделі від заданих параметрів. Як і передбачалося, найсильніший вплив на ринок робить частка розподілу агентів за їх типами, коли інші параметри впливають на поведінку моделі значно менше. Тому всі параметри були розділені на «фіксовані», які в наступних симуляціях не будуть змінюватися, і «змінні», від зміни яких залежатиме поведінка всієї моделі.

Звичайно, в моделі можна змінювати будь-які параметри за своїм бажанням, головне, щоб значення їх не були неадекватними. Наприклад, якщо з наведених вище параметрів сильно понизити кількість агентів (в межі від 10–100), ринок довго не проіснує. Велике значення кількості агентів становить труднощі для обчислювальної машини. Витрачається вся стекова пам'ять комп'ютера і модель висне. Тому для адекватності моделі учасників були обрані в достатній кількості 1000. Дослідивши вищевикладені особливості, розроблена модель була налагоджена. В результаті чого був зафіксований набір параметрів, при якому модель поводить себе адекватно. Змінним параметром залишилася частка типів агентів на ринку. До такого результату і велася юстирування моделі. Тепер єдиним параметром, що впливає на динаміку формування ринкової ціни, є частка типів агентів на ринку. Дивлячись на ринок з точки зору поведінкових фінансів, саме від цього параметра залежить розвиток ринків.

На рисунку 2 демонструється поведінка ринку з 27% часткою стадних агентів, 51% часткою шумових агентів і з 22% часткою інтуїтивних інвесторів. Динаміка ціни на акції збігається з реальними даними на акції ПАТ «Центренерго» з початку березня по середину квітня 2021 року.

На рисунку 3 демонструється поведінка ринку з 35% часткою стадних агентів, 36% часткою шумових агентів і з 29% часткою інтуїтивних інвесторів. Динаміка ціни на акції збігається з реальними даними на акції ПАТ «Укрнафта» з початку березня по кінець травня 2021 року.

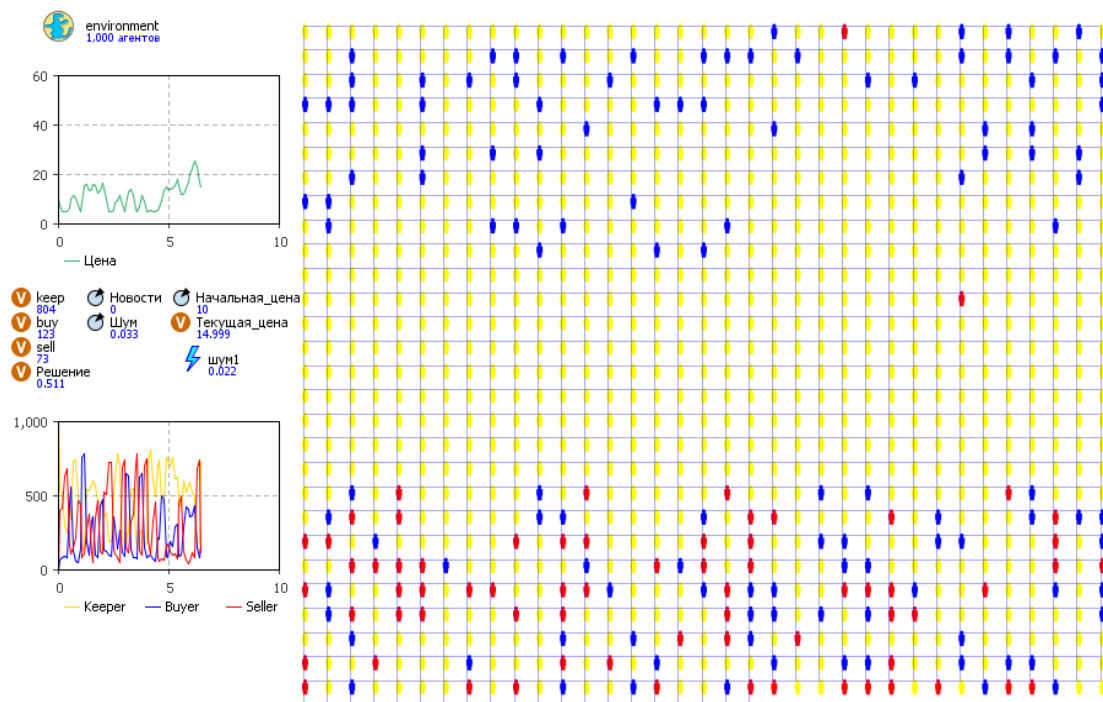


Рис. 1. Демонстрація роботи моделі прийняття рішень на фінансовому ринку, з упорядкованим типом розміщення агентів

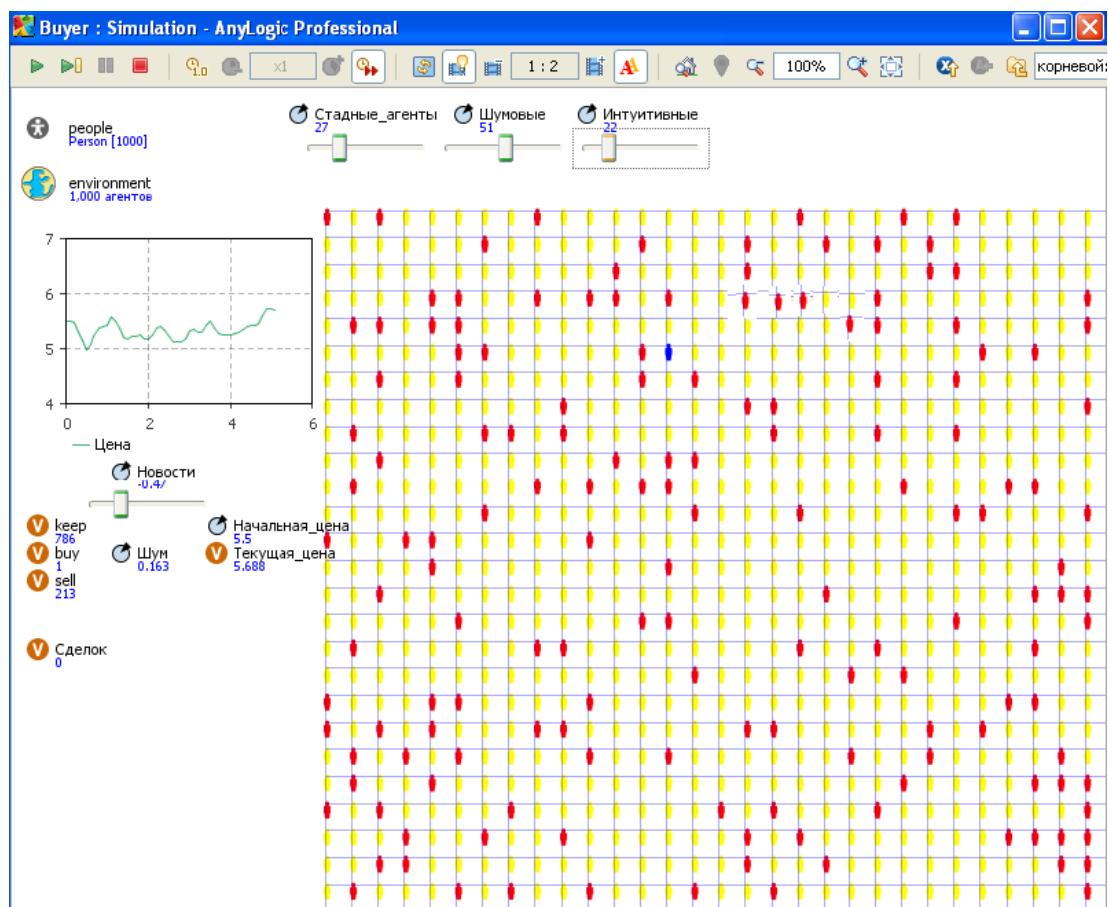


Рис. 2. Демонстрація експерименту зі зміною параметра Новини

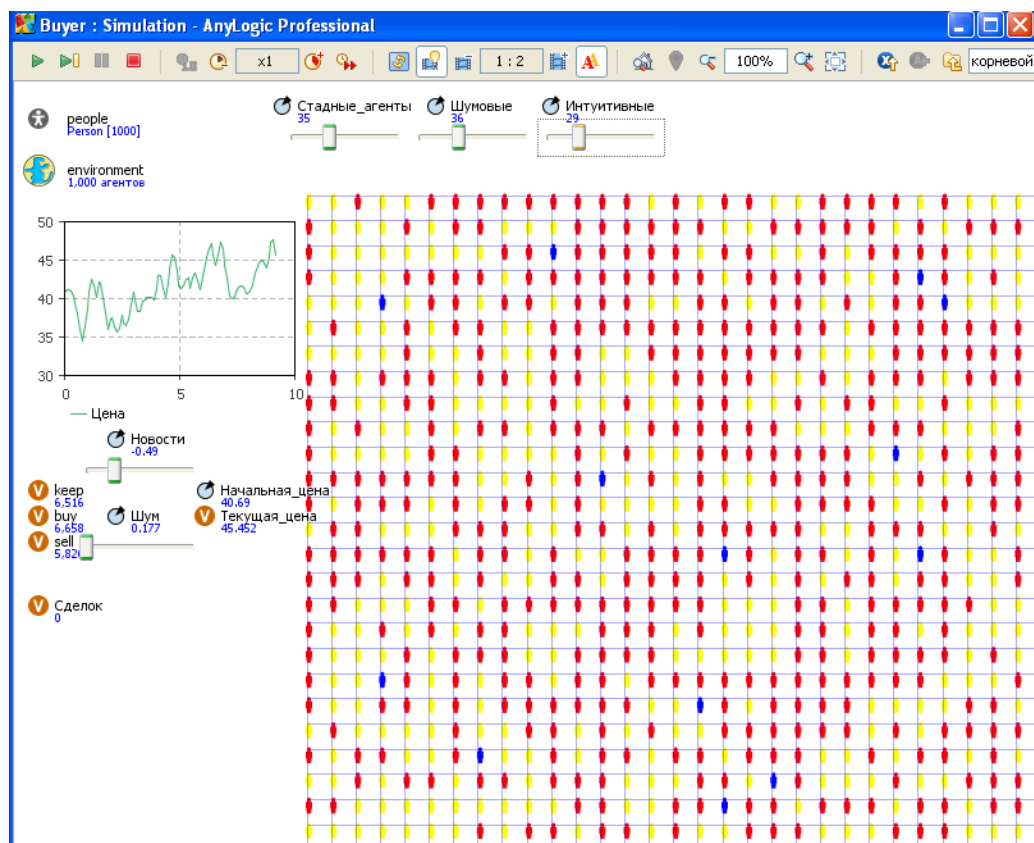


Рис. 3. Демонстрація експерименту зі зміною параметрів

Процес подальшого створення імітаційної моделі може продовжуватися. Вносити деталі реального ринку в віртуальний ринок можна до нескінченності. Після кожного такого додавання модель буде виходити на більш глибокий рівень деталізації. Однак важливо вносити багатозначні фактори, які сильно впливають на поведінку ринку.

Рішення проблеми аналізу механізмів, причин і типів поведінки агентів на фінансових ринках і розробка відповідних економіко-математичних моделей виступають перспективним напрямком подальших досліджень, що дозволить забезпечити підвищення якості та оперативності діагностики сучасних фінансових криз.

Висновки з проведеного дослідження.

Опираючись на рефлексивний підхід до аналізу фондового ринку, в рамках даної роботи були змодельовані ситуації прийняття рішення агентами щодо купівлі або продажу цінних паперів на віртуальному фондовому ринку за допомогою моделі «Ізінга» – моделювання впливу різних рівнів коефіцієнту стадності на фондовому ринку. В результаті проведених в рамках цієї роботи комп'ютерних експериментів було досліджено два віртуальні фондові ринки - це віртуальний фондовий ринок, з кількістю агентів 1000 і наявністю інтуїтивних агентів, та динамічний віртуальний ринок з агентами за наявності впливу авторитетних агентів.

Проаналізувавши два віртуальні ринки з кількістю учасників 1000 агентів, робимо такі висновки: як видно з графіків, віртуальний ринок здатний генерувати ті ж лінії і тренди, що і реальний ринок, віртуальний ринок згенерував такі ж лінії як і реальний ринок на акції Мотор Січ, Центренерго, Укрнафта з початку березня по кінець травня 2021 року.

Отже, у роботі розглянуто методологічні підходи до аналізу прийняття рішень агентів на фінансових ринках і моделювання процесів прийняття рішень економічними агентами на основі агентної моделі групової поведінки, що дозволяє виявити наявність стадної поведінки в діях агентів і сформулювати управлінські заходи з координації процесу прийняття рішень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Гужва В. Мультиагентні системи : навчальний посібник. Київ : КНЕУ, 2011. 504 с.
2. Ситник В., Краснюк М. Інтелектуальний аналіз даних (дейтамайнінг) : навчальний посібник. Київ : КНЕУ, 2007. 376 с.
3. Шайтанова Є.С. Агентне моделювання прийняття інвестиційних рішень з урахуванням поведінкових факторів. URL: http://pev.kpu.zp.ua/journals/2019/3_14_uk/80.pdf (дата звернення: 28.02.2024)

REFERENCES:

1. Guzhva V. (2011) *Muljtyagentni systemy* [Multi-agent systems]. Kyiv : KNEU (in Ukrainian)

2. Sytnyk V., Krasnjuk M. (2007) *Intelektualjnyj analiz danykh (dejtamajningh)* [Intellectual data analysis (deatemaking)]. Kyiv : KNEU (in Ukrainian)

3. Shaitanova Ye.S. *Ahentne modeliuвання pryinattia investytsiinykh rishen z urakhuvanniam povedinkovykh faktoriv* [Agent modeling of investment decision-making taking into account behavioral factors]. URL: http://pev.kpu.zp.ua/journals/2019/3_14_uk/80.pdf (accessed February 28, 2024)