

**Стець О.В.**

канд. фіз.-мат наук, доцент  
ORCID ID: 0000-0001-5514-3533

**Гуменюк Б.Є.**

ORCID ID: 0000-0001-9750-4042

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## АГЕНТНО-ОРІЄНТОВАНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІКИ

### MODELING OF TAX AGENT BASED MODELS ECONOMICS

*Проблема моделювання економіки досі залишається відкритим питанням, кожна концепція, яку в свою чергу пропонують вчені, для описання економічних процесів має свої недоліки. До вашої уваги представляється одна з найсучасніших концепцій – агентно-орієнтоване моделювання. У статті дається загальна характеристика агентно-орієнтованого підходу, який потенційно міг би використовуватися в економіці. Він виник, завдяки ідеям, закладеним в теорію клітинних автоматів і теоретико-ігровим підходам. Агентне моделювання дозволяє поєднати мікро- і макрорівень аналізу, що не зводячи при цьому явища і процеси макрорівня до сукупності дій і взаємодій на мікрорівні. Цей вид моделювання передбачає проведення своєрідного експерименту з моделлю. Задавши характеристики агентів і середовища їх «проживання», правила їх дій і взаємодій агентів один з одним і з середовищем, можна спостерігати, до яких наслідків на макрорівні це призведе. Агентно-орієнтоване моделювання можливо застосовувати в економічно-соціальних дослідженнях в тих випадках, коли необхідно надати теоретичне пояснення деяким явищам або процесам або ж спрогнозувати їх. Однією з задач дослідження була спроба відтворити механізми взаємодії між основними економічними агентами, фірмами і домогосподарствами на ринку товарів і праці. Дана модель стане базою для проведення аналізу придатності різноманітних алгоритмів навчання інтелектуальних агентів для коректного моделювання поведінки обраного суб'єкту економіки. Подальший порівняльний аналіз дозволить обирати оптимальну стратегію в подальшому. Основною ж задачею була розробка базової агентно-орієнтована модель функціонування економіки. Перераховано основні структурні компоненти моделі і представлені альтернативні способи їх формалізації. Алгоритми навчання для моделювання прийняття рішень фірмою, засновані на відомих навчання. З використанням отриманих результатів, було розроблено економіко-математичну модель, результати якої розв'язано для реальних даних. Проведено порівняння розглянутих методів навчання інтелектуальних агентів, а також наведено результати обчислювального експерименту.*

**Ключові слова:** агент, фірма, домогосподарства, математична модель, споживання, виробництво, навчання.

*The problem of modelling the economy will still remain an open question, each concept, which in turn is proposed by scientists; to describe economic processes has its drawbacks. One of the most modern concepts is presented to your attention – agent-oriented modelling. The article gives a general description of the agent-oriented approach that could potentially be used in economics. It arose due to the ideas embedded in the theory of cellular automata and game-theoretic approaches. Agent modelling allows you to combine micro- and macro-level analysis, without reducing the phenomena and processes of the macro-level to a set of actions and*

*interactions at the micro-level. This type of modelling involves a kind of experiment with the model. Having set the characteristics of agents and the environment of their "residence", the rules of their actions and interactions of agents with each other and with the environment, you can see what consequences this will lead to at the macro level. Agent-oriented modelling can be used in economic and social research in cases where it is necessary to provide a theoretical explanation of certain phenomena or processes or to predict them. One of the objectives of the study was to try to reproduce the mechanisms of interaction between major economic agents, firms and households in the market of goods and labour. This model will be the basis for analysing the suitability of various algorithms for training intelligent agents for the correct modelling of the behaviour of the selected economic entity. Further comparative analysis will allow you to choose the optimal strategy in the future. The main task was to develop a basic agent-oriented model of the economy. The main structural components of the model are listed and alternative ways of their formalization are presented. Learning algorithms for modelling firm decision making based on known learning. Using the obtained results, an economic-mathematical model was developed, the results of which were solved for real data. The comparison of the considered methods of training of intellectual agents is carried out, and also results of computational experiment are resulted.*

**Keywords:** agent, firm, households, mathematical model, consumption, production, training.

**Вступ.** Нездатність економічної теорії своєчасно виявляти причини появи глобальних криз визначила необхідність в розробці якісно нових підходів до моделювання економічних систем. Одним із сучасних математичних інструментів аналізу та прогнозування економіки є агентно-орієнтоване моделювання.

Основна ідея цього підходу полягає в представленні економіки, як складної адаптивної системи, поведінка якої формується в результаті множинних взаємодій автономних гетерогенних економічних агентів, що володіють різною поведінкою і здатністю до навчання. За допомогою математичних методів розробники агентно-орієнтованих моделей (АОМ) створюють комп'ютерну симуляцію реального світу, в якій вивчають наслідки різних сценаріїв дій, прогнозують розвиток економічних систем, аналізують причинно-наслідкові зв'язки між змінними.

**Постановка завдання.** Мета роботи — представити розроблену базову агентно-орієнтовану модель (АОМ) функціонування економіки, описати адаптовані версії відомих алгоритмів навчання інтелектуальних агентів типу «фірма» і проаналізувати результати обчислювального експерименту, в якому досліджувалася можливість застосування різних методів навчання в розробленій АОМ.

**Методологія.** Теоретико-методологічну основу дослідження складають праці провідних вітчизняних та зарубіжних науковців з питань агентно-орієнтованого моделювання. При дослідженні використовувались методи математичного моделювання, а також елементи економічного аналізу.

**Результати дослідження.** Агентно-орієнтований підхід до моделювання економічної системи дозволяє створювати моделі, що володіють великим числом ступенів свободи і гнучкістю. По суті, дослідники

отримують конструктор моделей, тобто можливість модифікувати конкретну реалізацію моделі, не змінюючи її структури, і порівнювати отримані таким чином результати. Запропонована нами базова АОМ функціонування економіки також є сімейством моделей з однотипною структурою, але допускає варіантні реалізації незалежних один від одного компонент.

Розроблена модель містить два типи активних агентів: фірми виробники і домогосподарства. Взаємодія між ними відбувається не прямо, а за допомогою спеціальних посередників - ринку товарів і ринку праці. На кожній ітерації модель послідовно виконує такі структурні блоки дій: взаємодія фірм і домогосподарств на ринку праці, виробництво продукції, ціноутворення, визначення величини споживання, взаємодія фірм і домогосподарств на ринку товарів, навчання фірм. Кожен структурний блок може бути реалізований різними способами в залежності від цілей дослідження і незалежно від реалізації інших блоків.

Далі представимо ключові аспекти реалізації зазначених блоків у запропонованій АОМ, а також коротко відзначимо альтернативні підходи, які будуть реалізовані надалі.

*Ринок праці* характеризує попит на працю з боку фірм. запит фірми на заповнення вакансії містить кількість працівників, яких потрібно найняти, і запроповану заробітну плату. Пошуком роботи на ринку праці займаються безробітні домогосподарства і незадоволені своєю зарплатою працівники фірм.

Взаємодія фірм і домогосподарств на ринку праці реалізовано за допомогою наступного алгоритму підбору:

- фірми виставляють вакансії на ринок праці, якщо кількість фактичних працівників фірми менше планового на даний період;
- незайняті домогосподарства і домогосподарства незадоволені своєю поточною заробітною платою, розглядають відкриті вакансії і подають заявки на їх заповнення;
- фірми розглядають отримані заявки від домогосподарств і розсилають запрошення обраним. Кількість таких запрошень не перевищує кількості відсутніх працівників фірми;
- домогосподарства розглядають отримані від фірм пропозиції і вибирають найвигідніший для них варіант. Про своє рішення вони повідомляють в формі згоди обраної фірми і в формі відмови - іншим, що надіслали запрошення;
- фірми оновлюють інформацію про своїх працівників на основі рішення домогосподарств.

Цикл підбору виконується рівно два рази і переривається, навіть якщо фірмам не вдалося повністю заповнити відкриті вакансії.

В якості альтернативного алгоритму підбору можна використовувати, наприклад, алгоритм випадкового вибору роботодавця аналогічний алгоритму, застосовується для вибору товарів, причому ймовірність вибору тієї чи іншої фірми пропорційна запропонованій зарплати [1].

*Виробництво продукції.* Виробнича діяльність фірми визначається її виробничою функцією, що зв'язує готівковий капітал і праця з обсягом виробленої продукції. У базовій АОМ ми розглядаємо період, в якому виробничі потужності фірми не піддаються істотним змінам, тому значущим для виробництва продукції є тільки праця, тобто обсяг виробленої продукції  $Y$  визначається формулою:

$$Y = \alpha * \hat{L},$$

де  $\alpha$  - продуктивність праці,  $\hat{L}$  - фактична кількість працівників. В якості альтернативних виробничих функцій можуть бути обрані, наприклад, класичні виробничі функції Кобба-Дугласа або CES (з постійною еластичністю заміщення).

*Ціноутворення.* Ціна продукції є одним з основних параметрів управління фірми, тобто шляхом зміни ціни фірма-виробник може безпосередньо впливати на реакцію навколишнього середовища. У розробленій моделі ціна  $p$  може змінюватися в результаті роботи одного з алгоритмів навчання або ж задаватися за допомогою формули [2]

$$p = \frac{w}{\alpha(1 + \frac{1}{\varepsilon})}, \quad (1)$$

де  $w$  - встановлена заробітна плата,  $\varepsilon$  - еластичність попиту на продукцію фірми.

*Визначення величини споживання.* Цикл життєдіяльності домогосподарств моделі передбачає споживання продукції, яку виробляють фірми. Потреба домогосподарства в продукції можна виміряти в умовно грошових або натуральних одиницях. В існуючій реалізації базової АОМ домогосподарства визначають бюджет споживання  $B$  в грошових одиницях, користуючись простим правилом [3]:

$$B = \begin{cases} \text{Money} - \kappa(\text{Money} - \varphi * w), & \text{Money} > \varphi * w \\ \text{Money}, & \text{інакше} \end{cases}, \quad (2)$$

де  $\text{Money}$  - обсяг готівки,  $\kappa(0 < \kappa < 1)$  - схильність до заощадження,  $\varphi$  - поріг, при досягненні якого домогосподарство намагається спрямувати всі готівкові гроші на підтримку власної життєдіяльності.

Іншими словами, правило визначення величини споживання передбачає існування деякого критичного обсягу готівкових коштів на руках. Коли обсяг доступних коштів опускається нижче фіксованого порога, домогосподарство повністю витрачає гроші. Інакше, агент відкладає частину отриманих на даний час коштів в якості резерву.

В якості альтернативного способу вимірювання потреби домогосподарства в продукції можна використовувати відомі варіанти функції корисності.

*Ринок товарів.* Передбачається, що фірми виробляють тільки один споживчий товар, який є гомогенним, тобто товари різних фірм-виробників відрізняються виключно ціною. Вироблений товар відправляється на централізований ринок товарів, де його можуть придбати домогосподарства.

Пропозиція товару складається з ціни на одиницю товару і відповідного обсягу товару, виставленого на продаж.

В рамках базової моделі вибір товару домогосподарством вважається випадковим, причому ймовірність придбання того чи іншого товару обернено пропорційна його ціні. Тоді, якщо позначити  $v(p) = -\ln p$  цінність товару для домогосподарства, ймовірність вибору  $prob_j$  товару фірми  $j$  визначається формулою [4]

$$prob_j = \frac{\text{Exp}[\lambda v(p_j)]}{\sum_j \text{Exp}[\lambda v(p_j)]} \quad (3)$$

де  $\lambda$  - інтенсивність конкуренції на ринку товарів.

Вибравши таким чином товар, домогосподарство намагається повністю витратити бюджет споживання на його придбання. Якщо для цього на ринку товару недостатньо, тобто після покупки у домогосподарства залишаються гроші, відведені на споживання, то воно вибирає наступний товар і намагається витратити залишок бюджету на нього. Так відбувається до тих пір, поки бюджет не буде використаний повністю, або на ринку не закінчаться товари.

Відзначимо, що важливим для специфікації моделі є припущення про нескінченну подільність товару або його відсутність. В останньому випадку домогосподарство може виявитися в ситуації, коли воно не зможе використовувати ненульовий бюджет споживання на покупку товарів, оскільки встановлені фірмами ціни будуть занадто високими. Це може істотно вплинути на величину прибутку фірм  $i$ , відповідно, прийняті ними рішення.

Останній структурний етап запропонованого сімейства моделей присвячений прийняттю рішень. За результатами діяльності на ринку товарів і праці фірма отримує реакцію зовнішнього середовища на обрані значення параметрів управління і оновлює їх відповідно до заданого алгоритмом. Таким чином, фірма *навчається*, тобто намагається досягти своїх цілей, зіставляючи керовані нею вхідні параметри з отриманим виходом.

Основними параметрами управління, тобто змінними, значення яких фірма-агент може змінювати безпосередньо, можуть бути заробітна плата, ціна одиниці продукції, планова кількість працівників, план виробництва. Основними критеріями, які фірма-агент намагається оптимізувати, можуть бути прибуток, фактична кількість працівників, виручка, рентабельність і т. д. Зовнішнє середовище реагує на дії фірм за допомогою зміни обсягів продажів і фактичного числа працівників.

У розробленій АОМ пропонується кілька адаптованих алгоритмів навчання агентів-фірм. Всі вони належать до класу алгоритмів прийняття рішень, тобто активний агент не володіє знанням про існування інших активних агентів, він сприймає їх дії тільки побічно, як частина реакцію зовнішнього середовища.

*Несвідоме навчання.* Основна ідея несвідомого навчання [5] складається в роботі з вектором  $v(t) = (v(a, t))_{a \in A}$ , який кожній можливій дії  $a$  з кінцевої множини дій  $A$  ставить у відповідність ймовірність його вибору  $v(a, t)$ . На початку роботи алгоритму всі дії різновірогідні. Далі ймовірність обраного і реалізованого агентом дії оновлюється за певним правилом відповідно до заданого критерію оптимальності. Таким чином, передбачається, що агенти не володіють інформацією щодо своїх попередніх дій і їх результатів, але минуле побічно міститься в векторі ймовірностей  $v(t)$ .

Для адаптації цього методу до умов базової АОМ потрібно задати правила поновлення обраних параметрів управління в формі набору дій агенту.

Це можна зробити декількома способами:

- кожен параметр управління вибирається з кінцевої множини постійних значень. Наприклад, фірма-агент має можливість вибрати між значеннями зарплати  $w = \{4,5\}$  і ціни  $p = \{2,3\}$  відповідно;
- для кожного параметра управління  $w$  на ітерації  $t$  допускається застосування таких дій: збільшити на задану величину  $a$ , зменшити на задану величину  $a$ , залишити без змін. Приклад правила поновлення параметрів для цього випадку виглядає так:  $w_{t+1} = (I \pm a;)_w$
- для кожного параметра управління  $w$  на ітерації  $t$  змінюється величина його зміни  $\Delta$ : збільшується на задану величину  $a$ , зменшується на задану величину  $a$ , залишається без змін. Наприклад,  $w_{t+1} = \Delta_{t+1} w_t$ ,  $\Delta_{t+1} = \Delta_t \pm a$ ;
- кожен параметр управління  $w$  на ітерації  $t$  визначається як частка  $\Delta$  від прибутку  $\pi$ . Величина цієї частки може збільшуватися на задану величину  $a$ , зменшуватися на задану величину  $a$ , залишатися без змін.

Наприклад,  $w_{t+1} = \Delta_{t+1} \pi_t$ ,  $\Delta_{t+1} = \Delta_t \pm a$ .

*Q-навчання.* Ключова ідея алгоритму - це визначення значень функції якості комбінації стан-дія  $Q : S * A \rightarrow R$ , де  $S$  – множина станів середовища, а  $A$  - множина дій агента. Перед початком навчання функція  $Q$  повертає фіксоване значення. Далі, кожен раз, коли агент отримує винагороду за свої дії, для кожної комбінації стану  $s \in S$  і дії  $a \in A$  обчислюються нові значення функції  $Q$ . Ядро алгоритму - це просте оновлення значень функції якості за результатами ітерації [6]:

$$Q_t(s_t, a_t) \leftarrow Q_t(s_t, a_t) + \alpha_t [R_{t+1} + \gamma \max_{a_{t+1}} Q(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q(s_t, a_t)],$$

4)

де  $R_{t+1}$  - винагорода, отримана після виконання дії  $s_t$  в стані  $a_t$ ,  $\alpha_t(s_t, a_t)$  ( $0 < \alpha \leq 1$ ) - швидкість навчання,  $\gamma$  ( $0 \leq \gamma < 1$ ) – множник дисконтування.

Щоб адаптувати цей метод для застосування в розробленій АОМ, потрібно визначити основні його елементи. Множина дій фірми  $A$  задається так само, як і для несвідомого навчання. Винагорода  $R$  визначається як один з можливих критеріїв оптимальності, зазначених вище. Множина станів  $S$  характеризується за допомогою різних співвідношень між індикаторами:

реакцією зовнішнього середовища і плановими показниками агента-фірми. Наприклад, якщо ввести такі позначення:  $Y$  - обсяг виробництва,  $\hat{Y}$  - обсяг продажів,  $L$  - планова кількість працівників,  $\hat{L}$  - фактичне число працівників, то один із способів задати множина станів фірми виглядає так:

$$\begin{aligned}
 S^1 &: \hat{Y} < Y, \hat{L} < L, \hat{L} > 0, \hat{Y} > 0. \\
 S^2 &: \hat{Y} < Y, \hat{L} < L, \hat{L} > 0, \hat{Y} > 0. \\
 S^3 &: \hat{Y} < Y, \hat{L} = L, \hat{L} > 0, \hat{Y} > 0. \\
 S^4 &: \hat{Y} = Y, \hat{L} = L, \hat{L} > 0, \hat{Y} > 0. \\
 S^5 &: \hat{Y} = 0, \hat{L} > 0. \\
 S^6 &: \hat{L} = 0.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

*Інтуїтивне навчання.* Одним з інтуїтивних підходів до навчання є екстраполяція тенденції [3], тобто припущення про те, що майбутнє повторює тенденцію з минулого. В адаптованому методі фірма визначає план виробництва на підставі інформації про продажі в попередніх періодах:

$$Y_t = \xi * \hat{Y}_t + (1 - \xi) * \frac{1}{T} \sum_{k=t-T}^{t-1} \hat{Y}_k,
 \tag{6}$$

де  $Y_t$  - виробничий план,  $\hat{Y}_k$  - величина продажів фірми в період  $k$ ,  $T$  - інтервал згладжування,  $\xi$  - коефіцієнт згладжування.

Щоб уникнути надмірних коливань виробничого плану, часовий ряд продажів згладжується. Таким чином, фірма може проявляти якусь інертність в адаптації обсягів продажів до реальних потреб домогосподарств. Звідси, планова кількість працівників можна визначити за формулою:

$$L_t = \frac{\xi * \hat{Y}_t + (1 - \xi) * \frac{1}{T} * \sum_{k=t-T}^{t-1} \hat{Y}_k}{\alpha},
 \tag{7}$$

де  $L_t$  - планова кількість працівників.

Заробітна плата для цього випадку обчислюється за допомогою простого правила: якщо  $L_t > \hat{L}t$ , тобто фірма в цей час не змогла набрати заплановане число працівників, то вона підвищує запропоновану заробітну плату на фіксований відсоток. Ціна одиниці продукції фірми описується формулою (1).

*Олігополія.* Метод навчання на базі олігополістичної структури ринку розроблений для перевірки можливості застосування досягнень класичної економічної теорії в агентному моделюванні. Отже, олігополією називається така ринкова структура, коли на ринку продукції пропозиції невеликого числа фірм заповнюють весь ринок і деякі з цих фірм володіють значними частками ринку. Визначальною властивістю олігополії є те, що всі конкуруючі фірми мають можливість неявно впливати на ціни на продукцію і фактори виробництва, тобто прибуток кожної фірми залежить від політики інших конкуруючих фірм. Тому, щоб визначити оптимальну політику, спрямовану на максимізацію прибутку, кожна фірма повинна враховувати не тільки власне безпосередній вплив на ринки товарів, послуг (продукції) і

ресурсів (факторів), а й непряме - через взаємодію з конкурентами. Нехай попит на ринку товарів задається за допомогою лінійної функції виду:

$$p = a - b \sum_{j=1}^f Y_j, a > 0, b > 0. \quad (8)$$

Тоді рівновага Курно [7] для нашої моделі визначається так:

$$L_j = \frac{f}{f+1} * \frac{a-w}{ab}, j = \overline{1, f}, \quad (9)$$

$$p_j = \frac{a+f*w/a}{f+1}, \quad (1)$$

0)

де  $a$  і  $b$  - параметри функції попиту, що визначаються за допомогою рекурсивного методу найменших квадратів,  $f$  - кількість фірм-виробників в моделі.

*Раціональне навчання.* При раціональному підході до навчання фірма-агент на кожній ітерації вирішує завдання пошуку таких значень параметрів управління, при яких досягається оптимальне значення обраного критерію [8].

Припустимо, що фірма має певне уявлення про функції попиту на продукцію на ринку товарів  $p = a - b\hat{Y}$  і функції пропозиції на ринку праці  $\hat{L} = c + dw$ , де  $a, b, c, d$  - коефіцієнти, які визначаються на кожній ітерації за допомогою рекурсивного методу найменших квадратів. Тоді, якщо в якості критерію оптимальності обрано прибуток  $\pi = p\hat{Y} - w\hat{L}$ , а в якості параметрів управління - заробітна плата  $w$ , ціна  $p$  і планова кількість працівників  $L$ , то розв'язанням відповідної задачі оптимізації відносно  $\hat{Y}$  буде:

$$\hat{Y}max = \frac{\alpha(\alpha ad + c)}{2(1 + bd\alpha^2)}. \quad (1)$$

Параметри управління в свою чергу визначаються формулами:

$$p = a - b\hat{Y}max, \quad (1)$$

$$L = \frac{\hat{Y}max}{\alpha}, \quad (2)$$

$$w = \frac{\hat{Y}max - \alpha c}{d\alpha}. \quad (1)$$

(1)

4)

*Випадковий вибір.* Однією з контрольних точок перевірки коректності роботи моделі служить моделювання випадкової поведінки активних агентів. В адаптованому для базової АОМ методі параметри управління вважаються випадковими величинами, рівномірно розподіленими на заданих відрізках,



тобто фірма-агент має можливість, наприклад, вибрати між значеннями зарплати  $w \sim U [4,5]$  і ціни  $p \sim U [2, 3]$ , відповідно.

Обчислювальний експеримент в порівнянні методів навчання фірм-виробників у базовій АОМ проводився за допомогою спеціально розробленого програмного забезпечення. Початкові умови для всіх методів задавалися однаково:  $f = 2$ ,  $h = 100$ ,  $p_0 = 5$ ,  $w_0 = 10$ ,  $L_0 = 20$ ,  $\alpha = 5$ ,  $\varepsilon = -1.5$ ,  $\kappa = 0.8$ ,  $\varphi = 0.6$ ,  $Money_0^f = Money_0^h = 0$ , де  $f$  - кількість фірм,  $h$  - кількість домогосподарств,  $p_0$  - початкова ціна,  $w_0$  - початкова заробітна плата,  $L_0$  - початкова планова кількість працівників,  $\alpha$  - продуктивність праці,  $\varepsilon$  - еластичність попиту,  $\kappa$  - схильність до заощадження,  $\varphi$  - поріг ліквідності,  $Money_0^f$  і  $Money_0^h$  - початкові кошти у фірм і домогосподарств відповідно. У таблиці далі наведено значення основних статистичних показників (середня заробітна плата, середня ціна, сукупне виробництво, сукупне споживання, рівень безробіття) після ста ітерацій роботи моделі в умовних одиницях. Зауважимо, що значення цих показників обчислюються всередині базової АОМ.

Таблиця 1 – Вихідні результати

Метод / Показник	Середня зарплата	Середня ціна	Виробництво	Споживання	Безробіття
Несвідоме навчання (1-й спосіб)	3.391	2.034	335	335	0.33
Несвідоме навчання (2-й спосіб)	0.044	0.026	475	475	0.05
Q-навчання (1-й спосіб)	3.115	1.869	305	305	0.39
Q-навчання (2-й спосіб)	9247.98	3734.82	175	175	0.65
Олігополія	10	35.999	130	130	0,74
Інтуїтивне навчання	10	6	175	175	0.65
Випадковий Вибір	4.271	2.548	495	388	0.01

З таблиці видно, що агреговані результати роботи моделі можуть суттєво відрізнятися в залежності від обраного методу навчання. Крім того, деякі методи навчання ефективніше інших оптимізують поведінку фірм одночасно на ринку праці і ринку товарів. Зауважимо також, що за винятком випадкової моделі поведінки виробництво і споживання в системі через сто ітерацій знаходяться в рівновазі, але значення інших змінних, при яких воно досягається, різні. Пошук необхідних і достатніх умов для вибору АОМ, яка найбільш адекватно описує реальну ситуацію, а, значить, може використовуватися для прогнозування і аналізу сценаріїв, є предметом наших подальших досліджень.

**Висновки.** У даній роботі описано та розроблено базову АОМ функціонування економіки. На першому етапі створення цієї моделі ставилося за мету відтворити механізми взаємодії між основними економічними агентами, фірмами і домогосподарствами на ринку товарів і праці. На другому етапі проводився аналіз придатності різних алгоритмів навчання інтелектуальних агентів для коректного моделювання поведінки фірм і порівняння отриманих за допомогою них результатів. Створено основу для розробки і реалізації алгоритмів навчання агентів на базі методів комбінаторної оптимізації та еволюційного програмування. Також можливості базової АОМ будуть розширені шляхом введення нових типів агентів (банк, уряд, зовнішній ринок), нових механізмів взаємодії (сплата податків, кредитування, відкриття депозитів) і нових підсистем національної економіки (регіон, галузь).

#### **Література:**

1. Караєв О.К., Мельничук М.В. Агентно-орієнтовані технології дизайну економічної (фіскальної, монетарної) і соціальної політики: монографія. Москва: ВГНА Мінфіну Росії, 2011. - 274 с.
2. Омелянчик Д.А. Агентно-орієнтоване моделювання економіки: особливості, види, проблеми // Теорія оптимальних рішень. Москва: МГУ, 2013. 49 с.
3. Dawid H., Gemkow S., Harting P., Neugart M. On the effects of skill upgrading in the presence of spatial labor market frictions: An agent-based analysis of spatial policy design. 2009. P. 12.
4. Deissenberg C., van der Hoog S., Dawid H. EURACE: A massively parallel agent-based model of the European economy // Applied Mathematics and Computation. 2008. P. 541-552.
5. Tesfatsion L., Judd K.L. Handbook of computational economics, Vol. 2: Agent-Based Computational economics. Amsterdam: Elsevier, 2006. P. 904.
6. Пономаренко О.І. Сучасний економічний аналіз: Мікроекономіка: Навч. посіб. 2004. 262 с.