

Примостка А. О.  
кандидат економічних наук

Prymostka A. O.  
PhD in Economics

## КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ АГЕНТНО-ОРІЄНТОВАНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

### CONCEPTUAL FRAMEWORK OF AGENT-BASED MODELING

**Анотація.** У статті досліджено процес еволюції агентно-орієнтованого моделювання (АОМ). Сформовано концептуальні положення АОМ, які включають: мету та принципи АОМ, властивості агентів, структурні елементи моделі, етапи та алгоритм побудови АОМ, методичні підходи до валідації моделей. Структуровано процес побудови агентно-орієнтованих моделей. Побудовано модель життєвого циклу АОМ у проекції на спіральну модель життєвого циклу інформаційних систем. Виявлено переваги та недоліки АОМ, визначено напрями подальших досліджень.

**Ключові слова:** агентно-орієнтоване моделювання, агент, концептуальні положення АОМ, етапи побудови АОМ, спіральна модель життєвого циклу.

**Постановка проблеми.** У сучасних наукових дослідженнях ефективним інструментарієм вирішення проблем, які виникають у складних системах, де проведення експериментів із реальними об'єктами практично неможливе, стало імітаційне моделювання. Цей інструментарій, по суті, є аналогом експерименту в економіці, соціології, екології, під час вирішення завдань оптимізації і планування в бізнесі. Імітаційне моделювання як окремий клас економіко-математичних моделей охоплює досить широкий спектр методичних підходів та способів комп'ютерної симуляції, одним з яких є агентно-орієнтоване моделювання. Агентно-орієнтоване моделювання – це інноваційний напрям розвитку обчислювальних моделей, призначених для симуляції дій та взаємодії автономних агентів, що дає змогу виявити та пояснити агреговані закономірності поведінки системи в цілому. Глобальна поведінка системи виникає як результат діяльності багатьох агентів, кожен з яких слідує своїм власним правилам, живе в загальному середовищі, взаємодіє із середовищем та іншими агентами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню окремих положень агентно-орієнтованого моделювання економічних процесів присвячено праці багатьох науковців, таких як: Р. Аксельрод, Г. Марковіц, Т. Кім, Дж. Холланд, Дж.Х. Міллер, Е. Зішанг, Т. Люкс, М. Марчезі, С. Чен, М. Грубер, Е. Зішанг, А. Бахтизін, В. Гужва та ін. [1–9]. Багато праць присвячено розробленню архітектури та побудові агентно-орієнтованих моделей [10; 11]. Разом із тим вивчення та узагальнення наукових розробок засвідчує, що парадигма агентно-орієнтованого моделювання знаходиться на етапі становлення, а тому потребує постійних наукових пошуків.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Погляди вчених на процес еволюції АОМ дещо розходяться. Деякі вчені вважають агентно-орієнтоване моделювання новим напрямом, інші стверджують, що воно має глибоку історію і бере початок ще з теоретичної машини Д. фон Неймана. Виконуючи детальний покроковий алгоритм, машина Д. фон Неймана могла створити свою точну копію, а отже, мала здатність до самовідтворення. Розвиток цього напрямку та вдосконалення моделей привели до створення так званих клітинних автоматів. Згодом друг Д. фон Неймана – Станіслав Улам запропонував відтворювати машину на папері як набір клітинок, що і поклато

початок розвитку клітинних автоматів. Найбільш відомою реалізацією клітинного автомата стала запропонована Джоном Хортоном Конвеем гра «Життя», яка відрізняється від машини Д. фон Неймана достатньо простими правилами поведінки агентів [1, с. 25].

Однією з перших моделей, побудованих на базі концепції агентно-орієнтованого моделювання, була модель сегрегації Томаса Шеллінга, запропонована ним у праці «Динамічні моделі сегрегації» в 1971 р. Хоча Т. Шеллінг спочатку використовував не комп'ютери, а проводив імітацію за допомогою монет і графів, зображених на папері, його підхід утілює основні положення концепції агентно-орієнтованого моделювання як сукупності автономних агентів, що взаємодіють у загальному зовнішньому середовищі з глобальними параметрами, які можна спостерігати.

У 1980-х роках основні положення АОМ отримали розвиток у працях Роберта Аксельрода, який у межах агентно-орієнтованої концепції розробив модель турніру економічних агентських стратегій, в якій взаємодія агентів обмежувалася для визначення переможця. У подальшому Р. Аксельрод звернувся до розроблення багатьох інших моделей на базі концепції агентів у сфері політології [2; 3]. Однією з перших агентно-орієнтованих моделей, які імітували поведінку біологічних систем і містили соціальні характеристики, стала робота Крейга Рейнольдса, в якій він побудував моделі зграй. Це була спроба моделювати реальність живих біологічних агентів, відомою як модель «Штучне життя».

Період 1990-х років був досить продуктивним для розвитку АОМ. У цей час відбулося розширення сфери застосування АОМ у галузь соціальних наук. Найбільш відомим досягненням стало створення масштабної агентно-орієнтованої моделі, так званої сахарної моделі (Sugarcape), розробленої Джошуа М. Епштейном і Робертом Акстелом для моделювання і дослідження таких соціальних явищ, як сезонні міграції, забруднення навколишнього середовища, статеве розмноження, війна, передача хвороб і навіть розвиток культури [4]. Серед інших помітних розробок тих років – агентно-орієнтована модель для вивчення спільної еволюції соціальних мереж і культури, розроблена Кетлін Карлі з Університету Карнегі-Меллона [5]. У цей час вийшов друком перший підручник із соціального моделювання: «Моделювання для

соціолога» (1999 р.). Автор підручника Найджел Гілберт також заснував журнал АОМ у галузі соціальних наук під назвою «Журнал штучних товариств та соціального моделювання» (*Journal of Artificial Societies and Social Simulation, JASSS*). Наукові розробки щодо АОМ у будь-яких сферах діяльності публікувалися в журналі «Складні адаптивні системи моделювання» (*Complex Adaptive Systems Modeling, CASM*).

У 2000-х роках пошуки у сфері агентно-орієнтованого моделювання продовжилися. Так, у 2006 р. Рон Сан побудував модель когнітивної соціальної симуляції, використавши розроблені ним методи, які на базі моделей людського пізнання будують агентно-орієнтовану симуляцію [6; 7]. З удосконаленням програмного забезпечення та зростанням потужності обчислювальної техніки отримали розвиток комп'ютерні симуляції ринків з індивідуальними адаптивними агентами.

Оскільки агентно-орієнтоване моделювання – це новий напрям розвитку імітаційного моделювання, то концептуальні засади АОМ остаточно ще не сформовано. До фундаментальних концептуальних положень агентно-орієнтованого моделювання належать: визначення мети та принципів АОМ, узагальнення поняття агентів та їх властивостей, визначення структурних елементів моделі, етапи та алгоритм побудови АОМ, методичні підходи до валідації, виявлення переваг та недоліків АОМ (табл. 1).

В агентно-орієнтованому моделюванні основоположним є принцип децентралізованого прийняття рішень багатьма автономними агентами, сукупна поведінка

яких формує стан системи у цілому. Реалізація принципу децентралізації призводить до зростання непередбачуваності поведінки системи на макрорівні, яка є результатом впливу дій на мікрорівні. Процес виникнення нових властивостей системи належить до тих явищ, в яких ціле не може розглядатися як проста сума його частин. Іншими словами, індивідуальної поведінки агентів самої по собі недостатньо, щоб повністю передбачити результат поведінки системи в цілому. Отже, необхідно зрозуміти, як агенти взаємодіють між собою, щоб поєднати мікро- так макрорівні у процесі моделювання. Типовим прикладом є відома модель міської сегрегації, розроблена Т. Шеллінгом як продовження досліджень на базі першої моделі сегрегації, яку він побудував у 1971 р. У моделі міської сегрегації помірні індивідуальні побажання жити із сусідами тієї ж етнічної групи приводять до того, що агенти поступово розділяються на окремі громади, які повністю складаються з агентів одного типу.

З іншого боку, сукупний результат поведінки системи може викликати зміни в індивідуальній поведінці агентів, тобто між агентом та системою існує двосторонній (як прямий, так і зворотній) зв'язок. Цей зв'язок характеризується як динамічний, оскільки спочатку формулюються гіпотези про поведінку агентів та їх взаємодію з іншими агентами, а потім у процесі моделювання створюється історія агентів, що відображає наслідки від використання цих гіпотез. Отже, поведінка агентів та їх взаємодія залежать від їхнього минулого досвіду, і в багатьох агентно-орієнтованих моделях агенти змінюють свою поведінку,

Таблиця 1

Концептуальні положення агентно-орієнтованого моделювання

| № | Положення                         | Зміст                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Мета                              | Виявлення та пояснення агрегованих закономірностей (узагальнених властивостей) економічної системи, які виникають із повторюваної взаємодії між автономними гетерогенними агентами.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 2 | Домінуюче концептуальне положення | Досягнення рівноваги системи, стан якої формується як результат взаємодії багатьох автономних агентів, сукупна поведінка яких заснована на децентралізованому прийнятті рішень.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 3 | Принципи                          | Децентралізації, гетерогенності, історизму, динамізму, переважання індукції над дедукцією, неадитивності, інтеграції.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 4 | Властивості агентів               | Автономність, гетерогенність, адаптивність, цілеспрямованість, комунікативність, здатність до розвитку та навчання, інтелектуальність, інтерактивність, обмежена раціональність, розташування у просторі і часі.                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 5 | Структурні елементи моделі        | Властивості агентів, початковий стан системи, зовнішнє середовище, параметри (показники властивостей) агентів та/або системи у цілому, взаємодія агентів за допомогою засобів комп'ютерної симуляції без зовнішнього втручання до досягнення системою стабільного стану, результативні значення показників та їх економічна інтерпретація, валідація моделі.                                                                                                                                         |
| 6 | Методичні підходи до валідації    | Теоретична, емпірична, валідація виходів і входів, проведення паралельних експериментів зі штучними чи реальними об'єктами, валідація, яка базується на участі зацікавлених сторін (польові спостереження), відтворення моделей різними дослідниками та/або у різних програмних і апаратних середовищах.                                                                                                                                                                                             |
| 7 | Переваги АОМ                      | - Альтернатива стандартним підходам до моделювання, які засновані на припущенні про ринкову рівновагу і стають неадекватними, коли рівноваги немає;<br>- концентрація на вивченні міжособистісної та соціальної взаємодії агентів у динамічній перспективі;<br>- дає змогу отримати узагальнені властивості системи з індивідуальної поведінки «репрезентативного агента»;<br>- здатність агентів до навчання;<br>- складна поведінка системи втілюється через моделювання відносно простого агента. |
| 8 | Недоліки АОМ                      | - Значна кількість аспектів моделювання, що включає обмеження дій, параметрів та детальні правила поведінки агентів;<br>- складне визначення діапазону можливих опцій (дій агента) моделі (він може бути дуже широким), зумовлене виключенням стандартних припущень про раціональну поведінку агентів та рівновагу системи;<br>- з агентами, які можуть і не мати властивості повністю раціональних, моделювання мікро-економічної поведінки суттєво ускладнюється.                                  |

спираючись на минулий досвід. Такий принцип поведінки агентів створює залежність від пройденого шляху, тобто властивості, яка характеризує гетерогенність агентів. Дійсно, навіть якщо властивості двох агентів на початку симуляції були ідентичними, то в процесі роботи агенти обирають різні стратегії поведінки, вибудовуючи власну траєкторію розвитку. Таким чином, із часом агенти будуть відрізнятися один від одного все більше і більше [8]. Сучасні дослідження у сфері АОМ спрямовані на формування інструментарію моделювання децентралізованого процесу прийняття рішень агентами.

Домінуючим концептуальним положенням АОМ є досягнення рівноваги (або псевдорівноваги) системи, стан якої моделюється на основі взаємодії багатьох агентів. Традиційні аналітичні методи моделювання дають змогу формально описати рівновагу системи, тоді як АОМ – досліджувати можливість досягнення такого стану. Таким чином, уважається, що АОМ доповнюють традиційні аналітичні методи моделювання. Агентно-орієнтовані моделі можуть пояснити причину виникнення таких явищ, як терористичні організації, війни, обвалення ринку акцій та ін. В ідеалі АОМ можуть допомогти ідентифікувати критичні моменти часу, після настання яких надзвичайні наслідки матимуть незворотній характер [9, с. 464].

Маючи певні властивості та використовуючи прості правила поведінки, агенти динамічно взаємодіють між собою та із зовнішнім середовищем, яке може бути достатньо складним. Отже, агентно-орієнтоване моделювання характеризується такими властивостями: 1) об'єктною орієнтованістю; 2) здатністю агентів до навчання (або їх еволюцією); 3) складністю обчислень.

Більшість агентно-орієнтованих моделей на базовому рівні має ідентичну структуру, хоча і з деякими варіаціями. Маючи популяцію агентів, які розташовані у заздалегідь сформованому середовищі, та їх соціальний контекст, основним компонентом моделі є процес прийняття рішень цими агентами. Агентами в такій моделі

є учасники ринку, як окремі, так і групи учасників, які мають однакові мету, поведінку та стратегію. Як правило, рішення агентів торкаються можливого обміну чи взаємодії з іншими агентами та можуть включати як вибір дії (наприклад, кількість товару для придбання або продажу), так і вибір партнера (наприклад, продавець для покупця чи покупець до продавця). В іншому разі, навпаки, партнери (покупці та продавці) вибираються випадково за допомогою комп'ютера. Залежно від проблеми, яка вивчається, модель може представляти не тільки обмін товарами чи послугами, але й спілкування, обмін інформацією, пошук порад та інші когнітивні чи соціальні процеси. Індивідуальний процес прийняття рішень агентами та їхньої наступної взаємодії повторюється декілька разів. На кожному кроці минулі рішення та дії формують нові рішення. У деяких моделях агенти поступово змінюють свою поведінку на основі результатів минулих рішень та змін у зовнішньому середовищі. Соціальний контекст у моделі може приймати різні форми. Наприклад, агенти можуть взаємодіяти з будь-якими іншими агентами або лише з обраною групою, визначеною як просторова група сусідів (група з обмеженням на зв'язки). Із часом така група може змінювати розмір та склад у результаті дій агентів. Набір варіантів рішень, з-поміж яких агент обирає індивідуальне, можна або задавати наперед, або формувати поступово в результаті отримання та накопичення інформації агентом. Правила вибору варіанту рішення варіюються від правил у формі стратегії чи раціональної поведінки до деякого задовільного критерію або навіть до випадкового вибору. Це дає змогу проявлятися відмінностям у поведінці агентів у межах однієї популяції залежно від їхніх індивідуальних властивостей.

Усі структурні елементи моделі, включаючи властивості агентів та початковий стан системи, задаються в рамках ініціалізації (на початку реалізації моделі). Також потрібно визначити показники, які характеризують властивості агентів та/або системи в цілому і є предметом

Таблиця 2

Етапи побудови агентно-орієнтованих моделей

| Етапи                                             | Зміст етапу                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Перший – постановка завдання                      | Визначається мета, яку необхідно досягти в процесі моделювання, та здійснюється концептуальна постановка завдання                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Другий – опис агентів                             | На основі логічних методів досліджень визначаються основні економічні агенти, а також здійснюється опис їх характеристик, властивостей та функцій                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Третій – формалізація взаємозв'язків між агентами | Виявляються та описуються взаємозв'язки між економічними агентами, а також визначається характер взаємодії агентів між собою та із зовнішнім середовищем. На цьому ж етапі відбувається формалізація поведінки агентів та характеру їх взаємозв'язків                                                                                                                                                     |
| Четвертий – вибір програмного забезпечення        | Відбувається формалізоване представлення агентно-орієнтованої моделі як концептуально єдиного комплексу та обирається адекватний технологічний спосіб її кількісної реалізації. Для цього можуть бути використані як стандартні програмні засоби, так і в разі необхідності створене спеціальне програмне забезпечення. Тобто відбувається пошук платформи для АОМ і розробка стратегії реалізації моделі |
| П'ятий – пошук даних                              | Відбувається пошук даних та перевірка як їх відповідності структурі, необхідній для роботи моделі, так і валідація коректності даних самих по собі                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Шостий – налаштування моделі                      | Відбувається кількісна реалізація моделі, її налаштування та адаптація до реальної ситуації                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Сьомий – вибір параметрів моделі                  | Обираються значення параметрів моделі та очікуваний рівень точності, що відповідають емпіричним спостереженням, або обрані виходячи з раціональних суджень                                                                                                                                                                                                                                                |
| Восьмий – комп'ютерна симуляція                   | Відбувається запуск моделі та аналіз вихідних даних щодо зв'язку між поведінкою агентів на мікрорівні та поведінкою всієї системи у цілому                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Дев'ятий – валідація                              | Валідація моделі: у разі значних відхилень відбувається коригування та модернізація як окремих агентів, так і моделі у цілому. Для досягнення більшої точності коригуються ті параметри моделі, які не відповідають економічним показникам. Також можуть вноситися зміни у формалізацію моделі, якщо результати показали невідповідність моделі емпіричним фактам (реальним показникам)                   |



комп'ютерної симуляції є прогнозні значення показників, які характеризують стан системи, що вивчається. Симуляцію можна повторювати для різних значень вхідних параметрів та початкових умов із тим, щоб вивчити, як точно налаштувати модель для досягнення цільових результатів. Цей підхід обмежує втручання в модель визначенням початкової точки та правилами взаємодії агентів (метод «знизу-вгору»), тому результат залежить лише від поведінки агентів без нав'язування умов рівноваги (рівноважних цін, раціональних очікувань тощо) ззовні. Розроблення агентно-орієнтованої моделі відбувається поетапно (табл. 2).

Структуризація процесу проектування агентно-орієнтованих моделей дає змогу уникнути побудови некоректних моделей. Послідовне та поетапне проектування моделей за наведеною схемою також дасть змогу спростити розроблення та уніфікувати процедури побудови агентно-орієнтованих моделей. Одночасно зі спрощенням процесу проектування цього класу моделей суворе дотримання меж та цілей на кожному з етапів дає змогу виконувати деякі процедури паралельно, що значно скорочує час на розроблення моделі та її впровадження.

Проведене узагальнення моделі життєвого циклу АОМ показало, що вона відповідає спіральній моделі життєвого циклу інформаційних систем. На основі цього розроблено логічно-структурну модель життєвого циклу АОМ (рис. 1).

Агентно-орієнтоване моделювання спрямоване на дослідження різноманітних явищ та процесів за допомогою обчислювальних процедур і моделей, які формують систему автономних інтерактивних агентів, здатних до розвитку та навчання. У концепції АОЕ в центрі уваги перебуває питання отримання, накопичення та використання інформації на індивідуальному рівні, а також поширення інформації на рівні системи у цілому. У агентів, що рухаються від їх персонального досвіду до більш широких узагальнень завдяки процесу навчання, а не завдяки отриманню висновків із заданих припущень, індукція переважає над дедукцією.

**Висновки.** Агентно-орієнтоване моделювання, як і будь-який метод пізнання, має як сильні, так і слабкі сторони. Концепція АОМ є альтернативою стандартним під-

ходам до моделювання з використанням припущення про ринкову рівновагу, які стають неадекватними, коли рівноваги немає. Перевага АОМ полягає тому, що воно сконцентровано на вивченні міжособистісної та соціальної взаємодії агентів у динамічній перспективі. Оскільки, спираючись на функцію корисності, досить складно отримати узагальнені властивості системи з індивідуальної поведінки «репрезентативного агента», альтернативним рішенням стає АОМ. Усвідомлення потенційних переваг, які надає агентно-орієнтоване моделювання, сприяло його розповсюдженню серед широкого кола науковців та практиків.

До сторін, які ускладнюють процес моделювання, слід віднести значну кількість аспектів моделювання, що включає обмеження дій, параметрів та детальні правила поведінки агентів. Досить складним є визначення діапазону можливих опцій (дій агента) моделі. Цей діапазон може бути дуже широким, що зумовлено виключенням із моделі стандартних припущень щодо раціональності агентів та рівноваги системи. Із позицій невальрасівського аналізу та з агентами, які можуть і не мати властивості повністю раціональних, моделювання мікроекономічної поведінки суттєво ускладнюється, і це основне практичне завдання, що потребує подальших досліджень.

За результатами вивчення сучасних досліджень із проблем агентно-орієнтованого моделювання виокремлено основні напрями подальших досліджень у цьому напрямі:

- дослідження впливу обраних стратегій на взаємодію агентів;
- прогнозування динаміки цін у цьому просторі;
- перевірка адекватності агентно-орієнтованих моделей;
- навчання та колективний розум;
- створення програмних засобів для побудови та апробації імітаційних моделей.

Особливістю агентно-орієнтованого моделювання, яка відрізняє його від інших методів економіко-математичного моделювання, є те, що вирішення цих досить складних питань утілюється у відносно простій моделі окремого агента. Сукупність агентів у процесі взаємодії формують цільову модель економічної системи, тому моделювання індивідуальної поведінки агентів та їх взаємодії дає змогу прогнозувати результат поведінки системи у цілому.

#### Список використаних джерел:

1. Бахтизин А.Р. Агент-ориентированные модели экономики / А.Р. Бахтизин. – М. : Экономика, 2008. – 279 с.
2. Axelrod R. The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration / Robert Axelrod. – Princeton: Princeton University Press. – 1997. – 248 p.
3. Axelrod R. Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences / R. Axelrod // Handbook of Research on Nature Inspired Computing for Economy and Management; editor Rennard J. P. – Hersey, PA: Idea Group, 2007. – P. 90–100.
4. Epstein Joshua M.; Axtell, Robert. Growing artificial societies: social science from the bottom up. / Joshua M. Epstein, Robert L. Axtell. – Washington, D. C.: Brookings Institution Press, 1996. – 224 p.
5. Computational Analysis of Social Organizational Systems. Construct [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.casos.cs.cmu.edu/projects/construct/index.php>.
6. Sun R. Simulating Organizational Decision-Making Using a Cognitively Realistic Agent Model / R. Sun, I. Naveh // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. – 2004. – vol. 7(3) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/7/3/5.html>.
7. Cognition and Multi-Agent Interaction: from Cognitive Modeling to Social Simulation / Chief editor R. Sun – Cambridge: Cambridge University Press, 2006. – 450 p.
8. Rouchier J. Data Gathering to Build and Validate Small Scale Social Models for Simulation / J. Rouchier // Handbook of Research on Nature Inspired Computing for Economics and Management, editor Rennard J. P. – Hersey, PA: Idea Group, 2007. – P. 198–210.
9. Гужва В.М. Мультиагентні системи : [навч. посіб.] / В.М. Гужва. – К. : КНЕУ, 2011. – 504 с.
10. Jager W. Modeling Consumer Behavior Doctoral Thesis / W. Jager; University of Groningen. – 2000 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://irs.ub.rug.nl/ppn/240099192>.
11. Axtell R.L. Agent-Based Models of Industrial Ecosystem / R.L. Axtell, C.J. Andrews, M.J. Small // Journal of Industrial Ecology. – 2001. – vol. 5(4). – P. 10–13.

**Аннотация.** В статье исследован процесс эволюции агентно-ориентированного моделирования (АОМ). Сформированы концептуальные положения АОМ, которые включают цель и принципы АОМ, свойства агентов, структурные элементы модели, этапы и алгоритм построения АОМ, методические подходы к валидации моделей. Структурирован процесс построения агентно-ориентированных моделей. Построена модель жизненного цикла АОМ в проекции на спиральную модель жизненного цикла информационных систем. Выявлены преимущества и недостатки АОМ, определены направления дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** агентно-ориентированное моделирование, агент, концептуальные положения АОМ, этапы построения АОМ, спиральная модель жизненного цикла.

**Summary.** The process of evolution of agent-based modeling (ABM) was investigated. ABM conceptual positions were formed. They include the purpose and principles of ABM, properties of the agents, structural elements of the model, stages and algorithm of ABM construction, methodological approaches to model validation. The process of construction of agent-oriented models was structured. The model of the lifecycle of ABM in the projection on the spiral lifecycle model of information systems was built. The advantages and disadvantages of ABM were revealed, the directions for the future researches were defined.

**Key words:** agent-based modeling, agent, conceptual ABM positions, stages of ABM construction, spiral lifecycle model.