

УДК 330.658.338

DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/168-25>**Мельников В. В.**здобувач кафедри інформаційних систем в економіці,
Київський національний економічний університет
імені Вадима Гетьмана**Melnikov Viktor**

National Economic University named after Vadym Hetman

АГЕНТНО-ОРИЄНТОВАНА МОДЕЛЬ ДИФУЗІЇ В ІННОВАЦІЙНИХ КЛАСТЕРАХ

Визначальну роль у світовому економічному просторі відіграють ті держави, які усвідомили, що вартість знання незрівнянно більша за вартість сировини. Забезпечити процес постійних нововведень можна за допомогою створення інноваційних кластерів. Подальше поширення новачків у соціально-економічному ринковому середовищі сприяє її вдосконаленню. Це можна описати за допомогою математичних моделей дифузії інновацій. З погляду агентно-орієнтованої моделі дифузії покупці продукції інноваційного кластера автономні агенти, які керуються певними правилами і відрізняються не стільки своїми основними фондами і впровадженими технологіями, скільки виробничою та інноваційною стратегіями. Залежно від поведінки агентів було вибрано такі їхні типи: агенти-новатори, агенти – ранні послідовники, агенти – рання більшість, агенти-скептики, агенти-консерватори. У результаті ми отримали модель, яка демонструє кількість покупців у момент модельного часу. Розроблену агентну модель дифузії в інноваційних кластерах можна використовувати в маркетингових дослідженнях та під час ціноутворення продукції, враховуючи поведінку споживачів за класифікацією Е. Роджерса.

Ключові слова: агенти, дифузія, інноваційні кластери, споживачі, маркетингові дослідження, ціна, реклама, науково-дослідні роботи.

AGENT-ORIENTED DIFFUSION MODEL IN INNOVATIVE CLUSTERS

The current stage of development of the world economy is characterized by a gradual increase in the level of its intellectualization and the transition to an economy based on knowledge rather than material resources. The ability of the national economy to absorb knowledge and use it effectively will increasingly determine the economic strength of a nation and the well-being of its citizens. The key components of a knowledge-oriented economy are innovations and organizations that contribute to their creation and dissemination. Achieving and maintaining an advantage over competitors is facilitated not only by innovation and education, but also by forming effective relationships between enterprises, which provides the conditions for the creation of network structures – clusters. Diffusion model is one of the methods of the distribution process innovation research. The subject of the diffusion model is the idea of the level of prevalence of innovation among a certain set of potential consumers in terms of mathematical dependence on the time that has elapsed since the introduction of innovation. Today, the most well-known and popular theories of innovation are the diffusion models of Frank Bass and Everett Rogers. From the point of view of the agent-oriented model of diffusion, the buyers of innovation cluster products are autonomous agents who are guided by certain rules and differ not so much in their fixed assets and implemented technologies as in production and innovation strategies. Depending on the behavior of agents, the following types are selected: innovator agent, «early minority» agent, «early majority» agent, skeptic agent, conservative agent. The general scheme of perception of innovation in agent-oriented diffusion model of innovation clusters has a hierarchical form. The higher the level of knowledge and competence of the agent, the greater his propensity to innovate. Innovators are the first agents to embrace or acquire innovation. As a result, we got a model that shows the number of customers at the time of model time. The developed agent model of diffusion in innovation clusters can be used in marketing research and product pricing, taking into account consumer behavior according to the classification of E. Rogers.

Keywords: agents, diffusion, innovation clusters, consumers, marketing research, price, advertising, research.

JEL classification: C45, O33

Постановка проблеми. Нині формується нова парадигма зростання економіки на базі використання знань та інновацій. Найбільш ефективно це можна реалізувати за допомогою організаційних об'єднань суб'єктів господарювання, орієнтованих на інноваційність, – інноваційних кластерів (ІК). Оскільки діяльність ІК орієнтована на створення інноваційної продукції та поширення її на ринках, що реалізується в системному проведенні маркетингових досліджень, рекламної політики та ціноутворенні з використанням інструментарію економіко-математичного моделювання, виникає потреба в розробленні моделі дифузії інновацій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У розвиток економіко-математичних моделей дифузії інно-

вацій значний внесок зробили Л. Фурт, Дж. Вудлок, Ф. Басс, Е. Роджерс, В.М. Полтерович, Г.М. Хенкін, Е. Менсфілд.

Модель Форта-Вудлака показує процес дифузії щодо кількості клієнтів, які купили продукт до моменту часу, за модифікованою експоненційною кривою та є моделлю зовнішнього впливу дифузії інновацій [1]. У моделі Басса суспільство складається з новаторів та імітаторів, і ймовірність купівлі нового продукту тим вища, чим більше людей уже придбало цей продукт [2]. У науковій праці Е. Роджерса досліджується різна здатність до сприйняття інновації у різних верств суспільства [3]. В.М. Полтерович і Г.М. Хенкін запропонували еволюційну модель взаємодії процесів створення та

запозичення технологій, яка пов'язала дифузійні «тимчасові» криві поширення технологій і стійку форму «просторових» кривих розподілу виробництва (потужностей) за рівнями ефективності [4]. Е. Менсфілд для розроблення моделі процесу дифузії досліджуваний показник використовував кількість фірм галузі, що взяли нововведення у момент часу [5]. У роботі [6] змінено математичну модель дифузії Басса, яка враховувала маркетингові змінні: функцію ціни, реклами, каналів продажу та інших маркетингових змінних. У процесі розвитку теорії дифузії інновацій було запропоновано доволі багато модифікацій моделі Басса. Однак моделі, які враховують властивості ціни та схильності агента-споживача до придбання інноваційної продукції кластера, існує небагато. Також в аналізі дифузії інновацій в ІК не враховувався ступінь сприйняття споживачем продукції за класифікацією Е. Роджерса.

Мета статті полягає у розробленні агентно-орієнтованої моделі дифузії в інноваційних кластерах.

Виклад основного матеріалу. Процеси управління ІК не завершуються так званим упровадженням інновацій, тобто першою появою на ринку нового продукту або доведенням до проектної потужності нової технології. Подальше поширення новації у соціально-економічному ринковому середовищі сприяє її вдосконаленню, а інноваційна продукція ІК набуває раніше невідомих споживчих якостей. Це можна описати за допомогою математичних моделей дифузії інновацій, тобто процесу подальшого вдосконалення та розвитку інновації у зовнішньому середовищі ІК, змін попиту на інноваційну продукцію чи послуги.

Предметом дифузійної моделі є уявлення щодо рівня поширеності інновації серед певного набору потенційних споживачів із погляду математичної залежності від часу, який минув від моменту введення інновацій.

Агентно-орієнтовані моделі (АОМ) – це відносно новий засіб отримання знання про об'єкт моделювання, що останнім часом дедалі частіше використовується у суспільних науках, зокрема в економіці.

АОМ економіки є галуззю міждисциплінарних досліджень, що охоплює поведінкову економіку, теорію мереж, імітаційне моделювання, теорію хаосу, а також ідеї, запозичені з фізики, когнітивної психології, біології та інших природничих і соціально-гуманітарних наук.

Під інтелектуальним агентом можна розуміти елемент системи, що моделює поведінку людини в процесах збору й обробки інформації залежно від поведінки інших активних елементів і зовнішнього середовища.

Е. Роджерс доходить висновку про те, що крива сприйняття інновацій суспільством здебільшого має вигляд нормального розподілу, розділеного на п'ять частин. Він дає кожному сегменту назву та приблизну оцінку [3]:

1. Новатори (близько 2,5% усіх потенційних споживачів) – раніше від інших прагнуть випробувати новий продукт, володіють достатніми фінансовими ресурсами, щоб компенсувати ризик невдачі, здатні розуміти й застосовувати складні технічні знання; вважається, що вони вирізняються схильністю до ризику.

2. Ранні послідовники (близько 13,5%) – формують основний кістяк «лідерів думок» у більшості соціальних систем. До них найчастіше звертаються потенційні реципієнти за порадою і консультацією. Як правило, ранні реципієнти слугують рольовою моделлю

для інших членів соціальної системи – потенційних реципієнтів.

3. Рання більшість (34%) – представники цієї категорії реципієнтів можуть бути невпевненими до моменту сприйняття інновації. Їх період сприйняття інновації відносно довший, аніж у реципієнтів першої та другої категорій. Вони охоче наслідують інших у процесі сприйняття інновації, проте рідко очолюють цей рух.

4. Пізніша більшість (34%) – це скептики, вони сприймають інновацію після «середньостатистичного» члена соціальної системи. Сприйняття ними інновації може пояснюватися економічною необхідністю або їхньою реакцією на посилення соціального тиску.

5. Ті, що запізнилися (16%) – представники традиційної консервативної орієнтації. Вони останні, хто сприймає інновацію, і найчастіше можуть відмовитися від її прийняття.

У роботі [6] змінено математичну модель дифузії Басса, яка враховувала маркетингові змінні: функцію ціни, реклами, каналів продажу та інших маркетингових змінних. Модифікована модель аналізує вплив реклами та ціни на швидкість поширення інновацій і має такий вигляд:

$$x(t) = 1 + \left[\frac{\Delta Pr(t)}{Pr(t-1)} \right] \beta_1 + \left[\frac{\Delta ADV(t)}{ADV(t-1)} \right] \beta_2, \quad (1)$$

де $x(t)$ – функція, яка відображає вплив маркетингових змінних на поточну інтенсивність поширення продукції;

$ADV(t-1)$ – витрати на рекламу в момент часу $t-1$;

$Pr(t-1)$ – ціна на інноваційну продукцію у момент часу $t-1$;

β_1 – параметр ціни, що характеризує коефіцієнт впливу ціни на швидкість поширення інноваційної продукції;

β_2 – параметр реклами, який характеризує коефіцієнт впливу реклами на швидкість поширення інноваційної продукції;

$\Delta Pr(t)$ – зміна ціни за одиницю часу t ;

$\Delta ADV(t)$ – зміна витрат на рекламу за одиницю часу t .

У роботі [7] була доповнена модель Басса, яка враховувала ринкові параметри:

$$f(t) / [1 - F(t)] = x(A, t) [p + qF(t)], \quad (2)$$

де p – параметр інновацій, що характеризує ймовірність зовнішнього впливу на споживачів (у ролі масмедіа), визначається потребою індивідів в інноваціях і рівнем маркетингових комунікацій;

q – параметр імітацій, показує ймовірність впливу міжособистісних каналів (тобто вплив інших людей у довірливому потенційного споживача);

$x(A, t)$ – функція від ціни, реклами, каналів продажу та інших маркетингових змінних у момент часу t ;

$f(t)$ – функція зміни встановленої базової частини у момент часу t ;

$F(t)$ – функція встановленої базової частини у момент часу t .

Якщо в моделі (2) замінити функцію ціни та маркетингових змінних на значення моделі (1), яка враховує вплив ціни та витрат на рекламу на швидкість поширення інноваційної продукції, необхідно зважати на те, що загальна кількість потенційних споживачів змінюється в часі. Тоді математична модель дифузії інновацій матиме такий вигляд:

$$I(t) = (M(t) - N(t)) \left(p + q \frac{N(t)}{M(t)} \right) \left(1 + \left[\frac{\Delta \text{Pr}(t)}{\text{Pr}(t-1)} \right] \beta_1 + \left[\frac{\Delta \text{ADV}(t)}{\text{ADV}(t-1)} \right] \beta_2 \right) \quad (3)$$

Зважаючи на те, що збільшення ціни має негативний вплив на поширення продукції, можна стверджувати, що параметр β_1 приймає від'ємне значення. Тоді

$$I(t) = (M(t) - N(t)) \left(p + q \frac{N(t)}{M(t)} \right) \times \max \left\{ 0, \left(1 + \left[\frac{\Delta \text{Pr}(t)}{\text{Pr}(t-1)} \right] \beta_1 + \left[\frac{\Delta \text{ADV}(t)}{\text{ADV}(t-1)} \right] \beta_2 \right) \right\} \quad (4)$$

На швидкість (інтенсивність) поширення інноваційної продукції також впливають науково-дослідні роботи і витрати на них. Вони також впливають на конкурентоспроможність поширювального товару або

$$I(t) = (M(t) - N(t)) \left(p + q \frac{N(t)}{M(t)} \right) \times \max \left\{ 0, \left(1 + \left[\frac{\text{Pr}(t) - \text{Pr}(t-1)}{\text{Pr}(t-1)} \right] \beta_1 + \left[\frac{\text{ADV}(t) - \text{ADV}(t-1)}{\text{ADV}(t-1)} \right] \beta_2 + \left[\frac{\text{RD}(t) - \text{RD}(t-1)}{\text{RD}(t-1)} \right] \beta_3 \right) \right\}, \quad (5)$$

де $\text{RD}(t-1)$ – витрати на науково-дослідні роботи у момент часу $t-1$;

$\text{RD}(t)$ – витрати на науково-дослідні роботи у момент часу t ;

β_3 – параметр науково-дослідних робіт, що характеризує коефіцієнт впливу витрат на науково-дослідні роботи, що впливають на швидкість поширення інноваційної продукції.

Неоднорідність поведінки агентів є поширеним явищем майже у будь-якій економічній системі. Ефективність діяльності агентів залежить від еволюції та швидкості технологічного прогресу, який характеризується тривалим періодом із повільним зростанням, подальшим раптовим «злетом», де швидкість технологічних змін різко підвищується, отже, зберігає коливання на цьому високому рівні. Злет також пов'язаний із різким зменшенням концентрації ринку. Ймовірність придбання інноваційної продукції може зумовлюватися такими чинником потенційного споживача, як рівень його власного доходу. Тобто чим вищий дохід потенційного споживача, тим більша ймовірність того, що він придбає продукцію. Також необхідно враховувати сезонність пропонованої продукції, якщо така є.

Із погляду АОМ покупці продукції ІК – автономні агенти, які керуються певними правилами і відрізняються не стільки своїми основними фондами і впровадженими технологіями, скільки виробничою та інноваційною стратегіями. Взаємодія між динамікою концентрації в ІК і динамікою розподілу продуктивності генерує ефекти зворотного зв'язку з нетривіальними наслідками щодо результатів у тривалій перспективі. Розгляд різних сценаріїв, що відрізняються множинною плеядою технологічних параметрів (складності наслідування) або характеристикою стратегій (агресивність інвестиційної політики), допомагає оцінити те, як чутливі результати залежать від виду аналізованої діяльності ІК.

АОМ дифузії в ІК за класифікацією Роджерса матиме таких агентів:

- 1) агентів-новаторів;
- 2) агентів – ранніх послідовників;
- 3) агентів – рання більшість;
- 4) агентів-скептиків;
- 5) агентів-консерваторів.

модель (3) потрібно модифікувати з урахуванням того, щоб інтенсивність поширення інноваційної продукції не була від'ємною:

послуги, їх удосконалення та модифікацію, а також на саму інноваційність. Таким чином, змішану модель дифузії інновацій Басса з урахуванням витрат на науково-дослідні роботи опишемо моделлю:

Оскільки під час виведення нової продукції на ринок ще не існує широкого уявлення про інноваційний товар чи послугу, ймовірність впливу особистісних зв'язків буде значно менша, ніж ймовірність впливу ціни та реклами.

Аналізуючи схильність до придбання інноваційної продукції, спостерігаємо різну поведінку агентів залежно від їхніх типів. Можна сказати, що кожен тип споживача, за класифікацією Е. Роджерса, характеризується різною схильністю до ризиків щодо придбання інноваційної продукції, зміною власного доходу та вподобаннями з урахуванням особистісних потреб, ступенем впливу маркетингових параметрів, а також самою зацікавленістю, яку можна збільшити за рахунок збільшення реклами та витрат на неї.

Загальна схема сприйняття інновації в АОМ дифузії ІК має ієрархічний вигляд. Чим вищий рівень знань і компетентності агента, тим більша його схильність до інновацій. Новатори є першими агентами, які сприймають або придбають інновацію.

У класичній моделі Басса враховуються лише два типи споживачів: новатори та імітатори. У цій моделі першими сприймають інновацію новатори, а за ними вже йдуть імітатори. Це стосується й змішаної моделі класичної моделі дифузії Басса, яка враховує маркетингові змінні, але якщо враховувати класифікацію споживачів за Е. Роджерсом, то процес сприйняття інноваційної продукції відбувається інакше, а саме послідовність та взаємодія різних типів агентів.

Агенти-новатори сприймають інновації відразу, тобто завжди будуть переходити від потенційних до реальних споживачів. Формула швидкості $I_{in}(t)$ для агента-новатора матиме такий вигляд:

$$I_{in}(t) = 1 \quad (6)$$

Агенти-консерватори надто важко сприймають інноваційну продукцію ІК, навіть попри власний дохід та потреби, ціну продукції і попит на неї, причому завжди сумніваючись у доцільності її придбання. Оскільки на сприйняття інноваційної продукції агентом-консерватором не впливають ціна продукції та її реклама, то значення $\left(1 + \left[\frac{\text{Pr}(t) - \text{Pr}(t-1)}{\text{Pr}(t-1)} \right] \beta_1 + \left[\frac{\text{ADV}(t) - \text{ADV}(t-1)}{\text{ADV}(t-1)} \right] \beta_2 \right)$ дорівнюватиме 1, вони віддають більшу перевагу про-

дукції, яка вже позитивно зарекомендувала себе на ринку. Тоді змішана модель дифузії Басса зводиться до простої моделі з урахуванням впливу витрат на науково-дослідні роботи, на інтенсивність поширення інновацій. Агент-консерватор також видаватиме

$$I_{кон}(t) = (M(t) - N(t)) \left(p + q \frac{N(t)}{M(t)} \right) \left(1 + \left[\frac{RD(t) - RD(t-1)}{RD(t-1)} \right] \beta_3 \right), \quad (7)$$

де $I_{кон}(t)$ – швидкість, або інтенсивність, поширення інноваційної продукції ІК для агентів-консерваторів.

Для агентів-скептиків, агентів «ранньої меншості» та «ранньої більшості» має значення ціна стосовно придбання інноваційної продукції, але в них різна ймовірність придбання інноваційної продукції ІК, оскільки на ці типи спо-

$$I_{ек}(t) = (M(t) - N(t)) \left(p + q \frac{N(t)}{M(t)} \right) \times \max \left\{ 0, 1 + \left[\frac{Pr(t) - Pr(t-1)}{Pr(t-1)} \right] \beta_1 + \left[\frac{RD(t) - RD(t-1)}{RD(t-1)} \right] \beta_3 \right\}, \quad (8)$$

де $I_{ек}(t)$ – швидкість, або інтенсивність, поширення інноваційної продукції ІК для агентів скептиків.

Агенти «ранньої меншості» завжди довіряють

$$I_{рн}(t) = (M(t) - N(t)) \left(p + q \frac{N(t)}{M(t)} \right) \times \max \left\{ 0, 1 + \left[\frac{Pr(t) - Pr(t-1)}{Pr(t-1)} \right] \beta_1 + \left[\frac{ADV(t) - ADV(t-1)}{ADV(t-1)} \right] + \left[\frac{RD(t) - RD(t-1)}{RD(t-1)} \right] \beta_3 \right\}, \quad (9)$$

де $I_{рн}(t)$ – швидкість, або інтенсивність, поширення інноваційної продукції ІК для агентів «ранньої меншості».

Для опису поведінки агентів «ранньої більшості» використовуємо модель (5).

Далі розроблену АОМ називатимемо модифікованою змішаною моделлю дифузії інновацій Басса.

Модифікована модель більше описує соціальні чинники, які впливають на покупку інноваційної продукції, а саме:

- реклама;
- комунікація між споживачем та потенційними покупцями;
- характер поведінки агента залежно від типу за класифікацією Е. Роджерса;
- рекомендації щодо покупки інновації тих агентів, які вже придбали її, тим, які знаходяться у стані потенційного споживача.

Згідно з АОМ, під ІК можна розуміти структуру економічної системи, що складається з множини агентів (суб'єктів – індивідуальних або колективних) і множини відносин (сукупності зв'язків між агентами). Особливу увагу в моделюванні дифузії в ІК слід приділяти взаємовпливу їхніх членів (агентів), динаміці їхніх думок, ідей тощо. Отже, виникає необхідність обліку факторів (ефектів), які існують у реальних ІК.

Оскільки агенти – покупці продукції ІК взаємодіють і приймають рішення з приводу придбання та споживання інноваційних товарів, тобто є агентами дифузії в ІК, вони, обмінюючись інформацією, впливають один на одного та створюють систему управління корпоративними знаннями (СУКЗ). Це можна використовувати в розробленні економічних стратегій, орієнтованих на збільшення обсягу продажів і рентабельності, максимізацію прибутку і частки ринку або вихід на нові ринки збуту, зменшення собівартості продукції, генерування нових знань та ідей; лідерство у своєму сегменті; забезпечення сталого розвитку економіки або навіть розв'язання сучасних глобальних проблем.

більшу перевагу продукції субституту, який уже досить тривалий період перебуває на ринку, навіть якщо його ціна буде вищою за ціну інноваційної продукції ІК. Отже, модель поведінки агентів-консерваторів можна описати так:

живачів по-різному впливають маркетингові параметри.

Агенти-скептики ігнорують рекламу, більше опираються на ціну інноваційної продукції, власний досвід або рекомендації споживачів, які вже придбали таку продукцію. Математична модель поведінки агентів-скептиків набуде вигляду:

рекламі, тобто ймовірність впливу реклами на прийняття їхнього рішення вища, ніж в агентів «ранньої більшості», та дорівнює одиниці $\beta_2 = 1$. Тому модель поведінки агента «ранньої меншості» має такий вигляд:

Агентний підхід дає можливість представити ІК як децентралізовану систему. Вона описується в рамках агентного підходу з погляду своєї динаміки, що відбиває індивідуальну поведінку факторів, відмінності в перевагах агентів-учасників та їхній вплив на прийняття рішень макро- та мікрорівнів. Зокрема, моделюються всі неагреговані елементи досліджуваної інноваційної системи.

Неоднорідність поведінки агентів є поширеним явищем майже у будь-якій економічній ситуації ІК. Ураховуючи складність розглянутої теми, бачимо, що отримана модель зазвичай має структуру динамічної агентно-орієнтованої імітаційної моделі.

За допомогою математичної моделі дифузії інновацій можна створити комп'ютерну симуляцію поширення продукції ІК, а також промодельовати процеси виведення нової продукції на ринок. Окрім того, запропонована методика уможливило максимальне зближення виду математично формалізованої моделі та її комп'ютерної реалізації. Розроблення агентних моделей не потребує використання спеціалізованих програмних пакетів. Реалізувати АОМ можна за допомогою засобів програмування широкого профілю. Однак спеціалізовані програмні пакети містять набір готових бібліотек для подання агентів і їхнього середовища; також у них існують приклади, або бібліотеки, готових рішень, якими можна скористатися для розроблення АОМ дифузії в ІК. Особливою перевагою застосування спеціалізованих програмних пакетів є готові рішення візуалізації розробленої моделі, що спрощує комп'ютерну апробацію АОМ.

Із погляду комп'ютерної реалізації АОМ дифузії в ІК належить до складних економічних систем – це комплексний метод дослідження, що охоплює побудову концептуальних, математичних і програмних моделей створення і функціонування ІК, здійснення широкого спектра цілеспрямованих імітаційних експериментів, пов'язаних зі стратегією регіонального розвитку, обробкою та інтерпретацією результатів цих експериментів.

Моделі агентів описуються ієрархією класів, які є спадкоємцями єдиного інтерфейсу або абстрактного класу.

Сьогодні створено чимало програмних продуктів для комп'ютерного моделювання, які застосовують агентно-орієнтований підхід у дослідженні складних систем. Існує багато програмних пакетів, які підтримують АОМ. Нині над проблемою побудови мультиагентних систем, зокрема агентів, працює дедалі більше лабораторій, робочих груп та університетів.

На нашу думку, програмний пакет для реалізації АОМ дифузії в ІК має задовольняти такі вимоги:

- 1) швидка доступність і зміна статистичних даних моделі;
- 2) легкість щодо зміни логіки дії та взаємодії агентів (діаграми станів та дій);
- 3) використання графічних інструментів показу змін моделі в динаміці (графіки, діаграми тощо);
- 4) просте додання та видалення агентів із моделі;
- 5) інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для розроблення моделі;
- 6) можливість дописувати модель за допомогою мов програмування;
- 7) підтримка моделювання декількох рівнів управління ІК.

Висновки. Розроблено математичні моделі дифузії інновацій на основі типізації споживачів за класифікацією Е. Роджерса, модифікувавши математичну модель дифузії Ф. Басса, що уможливило використання моделей для моделювання дифузії в ІК. Маркетинговий складний моделі дифузії інновацій продуктів ІК пояснює остаточне позиціонування товару або послуги щодо споживчого попиту на емпіричній основі. Поєднання агентно-орієнтованого аспекту попиту на основі такої моделі та динамічної агентної моделі поширення інновацій дає змогу реалістичніше охопити властивості «пошуку у мінливому ландшафті», що пов'язано, зокрема, з невизначеністю прийняття рішень дифузії інновацій в ІК. Оптимально можна використовувати

змішану модель дифузії Басса з урахуванням середнього власного доходу та ймовірності впливу маркетингових факторів на придбання інноваційної продукції ІК для моделювання виведення на ринок і поширення її з огляду на сегменти покупців за класифікацією Е. Роджерса.

У модифіковану модель дифузії Басса на відміну від типової додано параметри для більш об'єктивного відображення дифузії в ІК: ціна, реклама та науково-дослідні роботи, які суттєво змінюють модель і поведінку агентів. Кожен тип агента характеризує різна інтенсивність придбання ним інноваційної продукції ІК. Залежно від поведінки агентів було вибрано такі їхні типи: агенти-новатори, агенти – ранні послідовники, агенти – рання більшість, агенти-скептики, агенти-консерватори. У результаті ми отримали модель, яка демонструє кількість покупців у момент модельного часу. Змінюючи ціну, витрати на науково-дослідні роботи та рекламу, а також показники ймовірностей впливу факторів моделі, можна промодельовати реальну кількість споживачів продукції ІК і визначити оптимальну ціну.

Модифікована модель гнучкіша за типову, оскільки споживачі-агенти поділені на п'ять типів, а це дає змогу детальніше прорахувати індивідуальну поведінку, з огляду на різні соціальні та економічні фактори, які по-різному впливають на різні типи агентів. Модифікована модель також має більше параметрів, які уможливають моделювання різних сценаріїв виведення інноваційної продукції на ринок та її поширення, що є суттєвою перевагою у сучасних мінливих ринкових умовах. Розроблену агентну модель дифузії в ІК можна використовувати в маркетингових дослідженнях та під час ціноутворення продукції, ураховуючи поведінку споживачів за класифікацією Е. Роджерса. Використовуючи розроблену модель, можна ефективно оптимізувати процес комерціалізації розробок нової продукції або послуг, що є досить важливим завданням для економіки, яка орієнтована на знання та постійні новації, особливо під час пандемії для розроблення вакцини.

Список використаних джерел:

1. Fourt, L.A., Woodlock, J.W. Early prediction of market success for new grocery products. *Journal of Marketing*. 1960. Vol. 25. P. 31–38.
2. Bass F.A. New Product Growth for Model Consumer Durables. *Management Science*. 1969. Vol. 15(5). P. 215–227.
3. Rogers E.M. *Diffusion of innovations* (4th ed.). New York : The Free Press, 1995. 518 p.
4. Полтерович В.М., Хенкин Г.М. Эволюционная модель взаимодействия процессов создания и заимствования технологий. *Экономика и математические методы*. 1988. Т. XXIV. Вып. 6. С. 1071–1083.
5. Mansfield, E. Technical change and the rate of imitation. *Econometrica*. 1961. № 29(4). P. 741–766.
6. Bass, Frank M., Trichy V. Krishnan, and Dipak C. Jain. 1994. Why the Bass Model Fits Without Decision Variables. *Marketing Science* 13, Summer. 203–223.
7. Евдокимов С.А. Перспективы развития региональных экономических моделей оценки диффузии инновационных товаров-комплементов. *Регион в период модернизации: социальные институты* : II Междунар. науч.-практ. конф. Нижний Новгород, 2013. С. 109–117.

References:

1. Fourt L.A., Woodlock J.W. (1960) Early prediction of market success for new grocery products. *Journal of Marketing*, vol. 25, pp. 31–38.
2. Bass F. (1969) A new product growth model for consumer durables. *Management Science*, vol. 15, no. 5, pp. 215–227.
3. Rogers E.M. (1995) *Diffusions of Innovations*, 4th ed. New York: The Free Press.
4. V.M. Polterovich and G.M. Khenkin (1988) Evolyucionnaya model' vzaimodejstviya processov sozdaniya i zaимstvovaniya tekhnologii [An evolutionary model of interaction between the processes of creating and borrowing technologies]. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 14, no. 6, pp. 1071–1083.
5. Mansfield E. (1961) Technical change and the rate of imitation. *Econometrica*, vol. 29, no. 4, pp. 741–766.
6. Bass, Frank M., Trichy V. Krishnan, and Dipak C. Jain (1994) Why the Bass Model Fits Without Decision Variables. *Marketing Science* 13, Summer, 203–223.
7. Evdokimov S.A. (2013) Perspektivy razvitiya regional'nyh ekonomicheskikh modelej ocenki diffuzii innovacionnyh tovarov-komplementov [Prospects for the development of regional economic models for assessing the diffusion of innovative complement goods]. *Proceedings of the Region v period modernizacii: social'nye instituty: II mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferenczii* (Russia, Novgorod, 2013), pp. 109–117.