МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 519.865.3
JEL Classification: D40; D58

ОПТИМІЗАЦІЙНІ ЗАДАЧІ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ФОРМУВАННЯ РІВНОВАЖНОЇ ЦІНИ

©2025 ДІЛЕНКО В. О., НАУМЕНКО П. О.

УДК 519.865.3
JEL Classification: D40; D58

Діленко В. О., Науменко П. О.

Оптимізаційні задачі управління процесами формування рівноважної ціни

Статтю присвячено розвитку підходу до дослідження процесів встановлення рівноважної ціни в моделі ринкової рівноваги Еванса, згідно з яким основні учасники ринкової взаємодії, а саме споживач, виробник та аукціоніст, розглядаються як активні економічні агенти, які можуть переслідувати власні інтереси, формулювати та розв'язувати відповідні економічні задачі при встановленні ринкової ціни. При цьому вважається, що головною дійовою особою в процесі формування рівноважної ціни у моделі є аукціоніст (логіст), який і забезпечує аналіз та вирішення вказаних задач за рахунок вибору необхідної функції аукціоніста та значень її параметрів. У роботі наведено та проаналізовано різні економіко-математичні критерії управління процесами формування рівноважної ціни (величина потенційного сумарного попиту за деякий період, мінімізації часу досягнення певної кінцевої ціни, максимум ефективності реалізації процесів управління ціною тощо) та визначено можливості їх використання у відповідних оптимізаційних моделях. Сформульовано ряд оптимізаційних постановок задач управління динамікою ціни, які відповідають різним критеріям та економічному змісту. Як керуючі параметри розглядаються термін управління та величина, що відображає силу впливу аукціоніста на формування ринкової ціни. На умовних даних виконано розрахунки, які продемонстрували можливості використання побудованих моделей для дослідження впливу різних факторів на процеси оптимального керування встановленням ціни. Таким чином, проведені дослідження дозволяють розширити спектр напрямів і завдань дослідження процесів формування ринкової ціни та пропонують деякі елементи економіко-математичного інструментарію їх аналізу – сформульовані оптимізаційні моделі. Подальший розвиток цієї тематики може бути пов'язаний з удосконаленням різних аспектів (формальних і змістовних) математичних моделей цільового впливу на особливості динаміки ціни, їх системною побудовою та економіко-математичним аналізом.

Ключові слова: *рівноважна ціна, формування, модель Еванса, управління, оптимізаційні задачі, економіко-математичний аналіз.*

DOI: *https://doi.org/10.32983/2222-0712-2025-4-410-416*

Рис.: *7.* ***Формул:*** *37.* ***Бібл.:*** *11.*

Діленко Віктор Олексійович *– доктор економічних наук, доцент, професор кафедри прикладної математики та інформаційних технологій, Національний університет «Одеська політехніка» (просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна)*

E-mail: *v.dilenko@gmail.com*

ORCID: *https://orcid.org/0000-0002-3777-5358*

Науменко Павло Олександрович *– магістрант, Національний університет «Одеська політехніка» (просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна)*

E-mail: *energystar.gigabayt@gmail.com*

UDC 519.865.3
JEL Classification: D40; D58

Dilenko V. O., Naumenko P. O. Optimization Problems in Managing the Processes of Equilibrium Price Formation

The article is dedicated to developing an approach for studying the processes of establishing the equilibrium price in Evans' market equilibrium model, according to which the main participants in market interactions – that is, the consumer, the producer, and the auctioneer – are considered active economic agents who can pursue their own interests, formulate, and solve corresponding economic problems when setting the market price. It is assumed that the primary actor in the process of forming the equilibrium price in the model is the auctioneer (logistician), who ensures the analysis and solution of these problems by selecting the appropriate auctioneer function and the values of its parameters. The article presents and analyzes various economic-mathematical criteria for managing the processes of forming an equilibrium price (the amount of potential total demand over a certain period, minimizing the time to reach a given final price, maximizing the efficiency of price management processes, etc.) and determines the possibilities of their use in corresponding optimization models. A number of optimization problem formulations for managing price dynamics are proposed, corresponding to different criteria and economic purposes. The control parameters considered are the management period and a value reflecting the auctioneer's influence on market price formation. Calculations based on hypothetical data were carried out, demonstrating the potential for using the developed models to study the impact of various factors on the processes of optimal price management. Thus, the research conducted allows for expanding the range of directions and tasks in studying the processes of market price formation and offers some elements of the economic-mathematical instruments for their analysis – namely, formulated optimization models. Further development of this subject may be related to the improvement of various aspects (both formal and substantive) of mathematical models aimed at influencing the peculiarities of price dynamics, their systematic construction, and economic-mathematical analysis.

Keywords: *equilibrium price, formation, Evans model, management, optimization problems, economic-mathematical analysis.*

Fig.: *7.* ***Formulae:*** *37.* ***Bibl.:*** *11.*

Dilenko Viktor O. *– Doctor of Sciences (Economics), Associate Professor, Professor of the Department of Applied Mathematics and Information Technologies, Odesa Polytechnic National University (1 Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine)*

E-mail: *v.dilenko@gmail.com*

ORCID: *https://orcid.org/0000-0002-3777-5358*

Naumenko Pavlo O. *– Master's Student, Odesa Polytechnic National University (1 Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine)*

E-mail: *energystar.gigabayt@gmail.com*

Вступ. Ціна продукту або послуги є одним із визначальних факторів ефективного функціонування підприємства, його прибутковості, конкурентоспроможності та багатьох інших важливих економічних показників. Тому в сучасній теорії логістиці актуальними для дослідження розглядаються задачі побудови стратегій ціноутворення і взагалі цілеспрямованого впливу на величину ціни на товари як з загальними [1; 2], так і деякими специфічними властивостями [3; 4]. Враховуючи сучасну тенденцію до використання математичних методів і моделей для розв'язання різноманітних логістичних задач [5–7], а також позитивний досвід економіко-математичного моделювання при аналізі процесів формування ціни [8], доцільно обрати як базові інструменти дослідження задач ціноутворення добре відомі математичні моделі ринкової рівноваги. До таких моделей відноситься модель формування рівноважної ціни Еванса, оригінальний підхід до інтерпретації і аналізу якої сформульовано в [9]. В цій роботі на багатьох чисельних прикладах продемонстровані можливості управління процесами формування рівноважної ціни за рахунок вибору виду окремих елементів даної моделі та їх параметрів. Як подальший розвиток цього підходу, що ґрунтується на використанні математичних методів і моделей, логічно передусім розглянути питання формалізації відповідних цілей і задач управління ціною у вигляді економіко-математичних критеріїв. Надалі ці критерії або їхні похідні доцільно застосовувати як цільові функції під час побудови системи оптимізаційних задач управління процесами формування ціни. Звідси випливає мета цієї роботи.

Мета статті – формулювання та аналіз оптимізаційних задач управління процесами формування рівноважної ціни на основі моделі Еванса.

Викладення основних результатів дослідження. Ринкова ціна p у моделі Еванса [[10, с. 244-245]] формується під впливом попиту $D(p)$ та пропозиції $S(p)$, які описуються лінійними функціями p

$$D(p) = a - bp,\ a > 0,\ b > 0, \qquad (1)$$

$$S(p) = \alpha + \beta p,\ \alpha > 0,\ \beta > 0. \qquad (2)$$

Коригування ціни на ринку в моделі визначається співвідношенням

$$\Delta p = \gamma(D(p) - S(p))\ \Delta t,\ \gamma > 0 \qquad (3)$$

або

$$\frac{dp}{dt} = \gamma(-(b+\beta)p + a - \alpha),\ \ p(0) = p_0, \qquad (4)$$

де p_0 - початкове значення ціни.

Рівноважна ціна p^* згідно з (4) обчислюється за формулою

$$p^* = \frac{a-\alpha}{b+\beta} > 0. \qquad (5)$$

Діючими елементами цієї моделі є споживач, виробник (продавець) і такий віртуальний економічний агент, як аукціоніст [9]. Економічними інструментами зазначених суб'єктів є, відповідно, функція попиту $D(p)$, функція пропозиції $S(p)$ та функція аукціоніста $f(D - S)$, яка введена до розгляду в статті [9]. Остання визначає правило, згідно з яким аукціоніст по дисбалансу попиту та пропозиції встановлює величину зміни ціни на ринку. Взаємодія учасників аналізованого економічного процесу (функцій $D(p)$, $S(p)$, $f(D - S)$ формує поточну ціну товару $p(t)$.

З використанням функції аукціоніста диференціальне рівняння (4) матиме вид:

$$\frac{dp}{dt} = f(D(p) - S(p)). \qquad (6)$$

У моделі Еванса

$$f(D-S) = \gamma(D(p) - S(p)),\ \gamma > 0. \qquad (7)$$

На відміну від класичної моделі рівноважної ціни Еванса, будемо, як пропонується в [9], вважати, що споживач, виробник та аукціоніст не є нейтральними елементами, а можуть мати власні цілі та задачі, які вони прагнуть реалізувати у процесі формування рівноважної ціни. Наприклад, визначним чином впливати на особливості формування ринкової ціни в умовах монополії може виробник за рахунок вибору функції пропозиції. Але головною дійовою особою в процесі формування рівноважної ціни у моделі Еванса є аукціоніст, призначення якого (на відміну від споживача та виробника) і полягає в тому, щоб забезпечувати встановлення рівноваги. Тому розв'язувати задачі управління формуванням ціни повинен саме аукціоніст за рахунок вибору функції $f(D - S)$ або значень її параметрів. Формулювати відповідні задачі може теж аукціоніст або отримувати їх змістовні постановки від деякого замовника (споживача, виробника). У статті [8] вказується, що у сучасній економіці функції аукціоніста можуть виконувати деякі логістичні механізми (логіст, логістична компанія), які відповідають за реалізацією товару на ринку, тобто модель Еванса, в рамах підходу що розглядається, може мати не тільки теоретичне значення, але й прикладне, використовуватись для дослідження відповідних реальних задач логістики.

Характерним прикладом постановки задачі управління ціною може бути задача організації формування ціни на деякий продукт таким чином, щоб максимізувати величину потенційного сумарного попиту за деякий період $[t_0, t_1]$.

Наведена постановка задачі відповідає насамперед економічним інтересам виробника, який намагається отримати максимальний дохід від реалізації своєї продукції. Критерій такої задачі формально може бути записаний так:

$$D_{sum} = \int_{t_0}^{t_1} D(p(t))dt \to \max. \tag{8}$$

При функціях попиту та пропозиції виду (1), (2) та $p(t)$ в моделі Еванса:

$$p(t) = p_0 e^{-\gamma(b+\beta)t} + \frac{a-\alpha}{b+\beta}(1-e^{-\gamma(b+\beta)t}) \tag{9}$$

після інтегрування (8) при функції попиту (1) та функції, яка описує динаміку ціни (9) отримаємо:

$$D_{sum} = A + B\frac{1}{\gamma}(e^{-\gamma(b+\beta)t_1} - e^{-\gamma(b+\beta)t_0}), \tag{10}$$

де

$$A = (t_1 - t_0)\frac{a\beta + b\alpha}{b+\beta}, \tag{11}$$

$$B = \frac{b(p_0 - p^*)}{b+\beta}. \tag{12}$$

Якщо розглядати функцію аукціоніста в формі (7), то першочерговим важелем, який може розглядати аукціоніст для управління процесом формування рівноважної ціни, є її параметр γ, значення якого може інтерпретуватися як оцінка сили впливу на вказаний процес. Тоді критерій (8) можна записати у вигляді:

$$D_{sum}(\gamma) = A + B\frac{1}{\gamma}(e^{-\gamma(b+\beta)t_1} - e^{-\gamma(b+\beta)t_0}) \to \max, \tag{13}$$

де оптимізація виконується по γ в діапазоні $[\gamma_1, \gamma_2]$, який визначає можливе варіювання параметра γ.

Проаналізуємо деякі властивості функції $D_{sum}(\gamma)$. Її графік для відповідних умовних даних має вигляд (рис. 1).

Графік на рис. 1 дозволяє припустити, що функція $D_{sum}(\gamma)$ має кінцеві границі коли величина змінної γ прямує до нескінченності +∞ та 0. Визначимо їх (при цьому для простоти будемо вважати, що початковий момент часу $t_0 = 0$).

Легко можна бачити, що права границя функції дорівнює:

$$\lim_{\gamma \to +\infty}\left[A + B\frac{1}{\gamma}(e^{-\gamma(b+\beta)t_1} - 1)\right] = A. \tag{14}$$

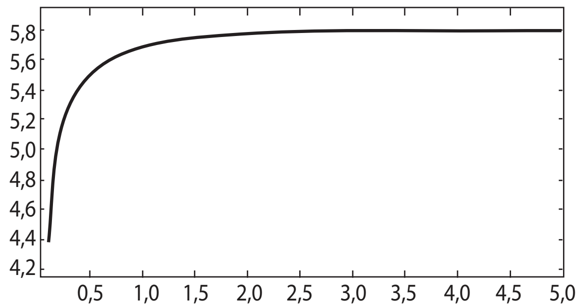

Рис. 1. Графік функції $D_{sum}(\gamma)$

Джерело: авторська розробка

Використовуючи визначну границю $\lim\limits_{\gamma \to +\infty} \frac{e^u - 1}{u} = 1$, отримаємо ліву границю $D_{sum}(\gamma)$:

$$\lim_{\gamma \to 0}\left[A + B\frac{1}{\gamma}(e^{-\gamma(b+\beta)t_1} - 1)\right] = A - B(b+\beta)t_1. \tag{15}$$

Очевидно, що права границя, яка дорівнює A, позитивна.

Аналізуючи (15), можна показати, що і ліва границя функції $D_{sum}(\gamma)$ додатна при виконанні нерівності $a > bp_0$. Тобто ліва границя функції сумарного попиту від γ завжди позитивна, якщо функція попиту додатна, що є природньою умовою для цієї функції згідно з її економічним змістом.

Таким чином, аукціоніст за рахунок варіювання значення параметра γ процесу формування рівноважної ціни (при фіксованих інших) може змінювати величину сумарного попиту $D_{sum}(\gamma)$ в межах $[A - B(b+\beta)t_1, A]$.

З рис. 1 та співвідношення (10) випливає, що функція сумарного попиту $D_{sum}(\gamma)$ є монотонно зростаючою відносно аргументу γ. Тому формулювання та аналіз оптимізаційній задачі максимізації сумарного попиту на основі виключно критерію в формі (13) не має суттєвого економіко-математичного змісту.

Аналогічна ситуація може бути і з деякими іншими критеріями. Наприклад, для критерію мінімізації часу досягнення певної кінцевої ціни $\hat{p}$:

$$\hat{t} \to \min, p(\hat{t}) = \hat{p} \tag{16}$$

Функція $\hat{t}(\gamma)$, яка отримана з співвідношення (9),

$$\hat{t}(\gamma) = \ln\left(\frac{p_0 - \frac{a-\alpha}{b+\beta}}{\hat{p} - \frac{a-\alpha}{b+\beta}}\right)\frac{1}{\gamma(b+\beta)}, p_0 > \hat{p} > p^* \tag{17}$$

є монотонно спадна (рис. 2).

Тому і для критерія (16) відповідна оптимізаційна задача теж не є достатньо цікавою для економіко-математичного аналізу. Однак функції $D_{sum}(\gamma)$ та $\hat{t}(\gamma)$ можуть використовуватися для інших задач дослідження процесів формування рівноважної ціни на основі відповід-

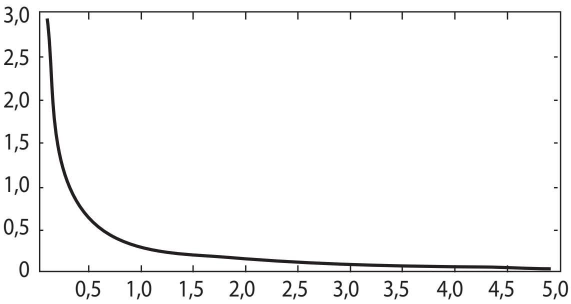

Рис. 2. Графік функції $\hat{t}(\gamma)$

Джерело: авторська розробка

них варіантних розрахунків. Наприклад, при оцінці впливу кінцевої ціни $\hat{p}$ на сумарну величину попиту $D_{sum}(\gamma)$. Для цього формулу розрахунку $\hat{t}(\gamma)$ (17), як функцію $\hat{t}(\hat{p})$ при фіксованому значенні фактору γ, треба підставити у співвідношення (13) замість t_1 і таким чином отримати ще один інструмент аналізу особливостей еволюції ціни – функцію величини потенційного сумарного попиту $D_{sum}(\hat{p})$ від значення потрібної ціни $\hat{p}$.

При управлінні процесами формування ціни одним із найбільш важливих показників є не тільки сумарна величина попиту, але й ефективність витрат на реалізацію цього процесу.

Тому далі має сенс розглянути як критерій максимум відповідного показника ефективності, який може мати такий загальний вид:

$$E(\gamma)=\frac{D_{sum}(\gamma)}{Z(\gamma)}\to \max. \qquad (18)$$

У цьому критерії вважається, що величина витрат $Z(\gamma)$, пов'язана з управлінням формуванням ціни, залежить від сили впливу аукціоніста на цей процес, оцінкою якої, як вказувалось раніше, може бути параметр γ.

Ще одним інструментом впливу на економічні результати формування ціни є час, протягом якого аукціоніст реалізує відповідний механізм корегування поточного значення цієї ціни.

Для моделі, що розглядається, цей час представляється як змінна t_1. Тоді величина сумарного попиту та витрати на функціонування аукціоніста протягом періоду $[0, t_1]$ при фіксованих значеннях параметра γ можуть визначатися функціями сумарного попиту $D_{sum}(t_1)$ та витрат $Z(t_1)$ від аргументу t_1. А це, своєю чергою, дозволяє сформулювати критерій ефективності, аналогічний (18), у такій формі

$$E(t_1)=\frac{D_{sum}(t_1)}{Z(t_1)}\to \max, \qquad (19)$$

де функція $D_{sum}(t_1)$ має вид зі співвідношення (13) при фіксованому значенні γ та змінною t_1.

Узагальнюючи критерії (18) та (19), природно аналізувати і одночасну дію параметрів процесу формування рівноважної ціни, які визначають як час t_1, так і силу γ впливу аукціоністу. Тоді можна розглядати критерій ефективності:

$$E(\gamma,t_1)=\frac{D_{sum}(\gamma,t_1)}{Z(\gamma,t_1)}\to \max, \qquad (20)$$

який побудовано на основі функцій сумарного попиту $D_{sum}(\gamma)$ (13), в якій γ і t_1 розглядаються як змінні, тобто функції $D_{sum}(\gamma, t_1)$, та витрат $Z(\gamma, t_1)$.

Функція витрат $Z(\gamma, t_1)$ в найпростішому випадку може розглядатися як сума функцій витрат $Z(\gamma)$ та $Z(t_1)$, тобто мати вид $Z(\gamma, t_1) = Z(\gamma) + Z(t_1)$.

Для початкового теоретичного економіко-математичного аналізу процесів формування рівноважної ціни як функції витрат $Z(\gamma)$, $Z(t_1)$. можна розглянути найпростіші зростаючі функції.

На рис. 3 та 4 наведені графіки функції ефективності $E(\gamma)$ для деяких видів функції витрат $Z(\gamma)$ при відповідних гіпотетичних значеннях їх параметрів.

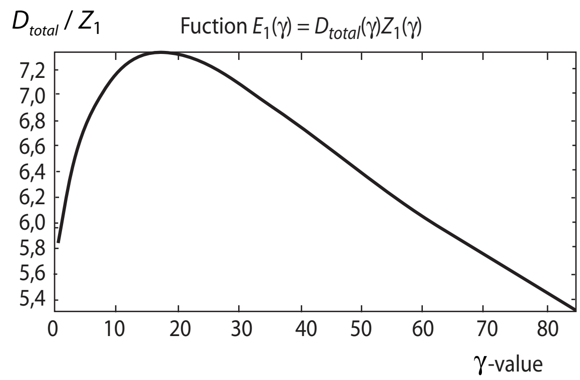

Рис. 3. Графік функції ефективності $E(\gamma)$ при функції витрат $Z(\gamma) = a_1\gamma + c_1$

Джерело: авторська розробка

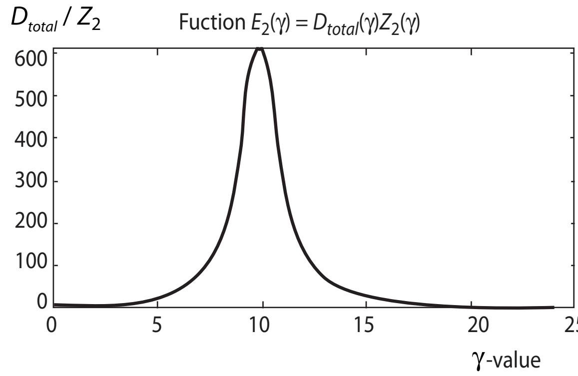

Рис. 4. Графік функції ефективності $E(\gamma)$ при функції витрат $Z(\gamma) = a_1\gamma^2 + b_1\gamma + c_1$

Джерело: авторська розробка

Функції ефективності $E(\gamma)$ на графіках наведених рисунків мають явно виражені екстремуми. Тому для цих та подібних критеріїв має сенс формулювати різні оптимізаційні економіко-математичні постановки задач управління процесами формування рівноважної ціни, використовуючи для цього критерії (18) – (20).

Якщо як цільову функцію розглядати критерій (18), то відповідна найпростіша оптимізаційна постановка може мати вигляд

$$E(\gamma)=\frac{D_{sum}(\gamma)}{Z(\gamma)}\rightarrow \max, \quad (21)$$

$$D_{sum}(\gamma)\geq \underline{D}_{sum}, \quad (22)$$

$$Z(\gamma)\leq \overline{Z}_{\gamma}, \quad (23)$$

$$\gamma>0. \quad (24)$$

В оптимізаційній економіко-математичній моделі (21) – (24) обмеження (22) відповідає вимогам відносно об'єму сумарного попиту, який повинен бути не менше фіксованої величини $\underline{D}_{sum}$, нерівність (23) є обмеженням на витрати, що пов'язані з організацією процесом управління формуванням ціни під впливом аукціоніста ($\overline{Z}_{\gamma}$ – максимально допустима величина цих витрат), обмеження (24) відповідає природній вимогі невід'ємності змінної γ.

Аналогічну (21) – (24) можна записати математичну постановку і з використанням критерію (19). Якщо ж будувати оптимізаційну модель на основі критерію (20) від двох змінних γ та t_1, то вона може мати дещо більш складний вид, наприклад

$$E(\gamma,t_1)=\frac{D_{sum}(\gamma,t_1)}{Z(\gamma)+Z(t_1)}\rightarrow \max, \quad (25)$$

$$D_{sum}(\gamma)\geq \underline{D}_{sum}, \quad (26)$$

$$Z(\gamma)\leq \overline{Z}_{\gamma}, \quad (27)$$

$$Z(t_1)\leq \overline{Z}_{t_1}, \quad (28)$$

$$Z(t_1)+Z(\gamma)\leq \overline{Z}, \quad (29)$$

$$0<t_1\leq \overline{t}_1, \quad (30)$$

$$\gamma>0. \quad (31)$$

В оптимізаційній постановці (25) – (31) обмеження (27) – (29) очевидно мають ресурсний характер – $\overline{Z}_{\gamma}$, $\overline{Z}_{t_1}$, $\overline{Z}$ відповідно граничні витрати (об'єми ресурсів) на управління ціною за рахунок впливу як окремих факторів самостійно, так і їх одночасної дії.

Кожне з цих обмежень може використовуватись окремо (без інших) або в будь-якій комбінації.

Наприклад, якщо в моделі є тільки (27), то це означає, що в задачі враховуються витрати на підтримку дії фактору сили γ, а ресурсних обмежень на час впливу аукціоніста немає.

Коли в постановці задачі потрібно відобразити умови, при яких виділено фіксові ресурси на загальні витрати $\overline{Z}$ у зв'язку з процесами управління ціною і окремо для періоду реалізації цих процесів $\overline{Z}_{t_1}$, а обмежень витрат для застосування фактору сили γ немає, то тоді необхідно записувати тільки обмеження (28), (29). Аналогічна картина з обмеженнями (27), (29).

Але, якщо вплив взаємодії факторів γ та t_1 є значущим при формуванні величини витрат, що розглядаються, то замість умови (29) повинно використовуватись нерівність:

$$Z(\gamma,t_1)\leq \overline{Z}, \quad (32)$$

в якій функція загальних витрат $Z(\gamma, t_1)$ має відповідну форму, відмінну від найпростішої $Z(\gamma, t_1) = Z(\gamma) + Z(t_1)$.

Нерівність (30) відповідає умовам, коли встановлені часові обмеження на реалізацію відповідних управлінських дій.

Наведені вище оптимізаційні моделі є статичними, тобто вони дозволяють знайти єдине значення параметра управління γ та t_1 для всього аналізованого періоду. Для покращення якості управління процесами формування рівноважної ціни необхідно сформулювати відповідну динамічну оптимізаційну модель, яка б давали можливість змінювати величину γ протягом періоду $[t_0, t_1]$ і за рахунок цього краще враховувати особливості еволюції ціни. Така модель може мати наступний загальний вид, який ми отримуємо з (21) – (24).

$$E(\gamma)=\frac{\sum_{i=1}^{n}D_{sum}(\gamma_i)}{\sum_{i=1}^{n}Z(\gamma_i)}\rightarrow \max, \quad (33)$$

$$\sum_{i=1}^{n}D_{sum}(\gamma_i)\geq D_{sum}, \quad (34)$$

$$\sum_{i=1}^{n}Z(\gamma_i)\leq \overline{Z}, \quad (35)$$

$$\gamma_i>0, i=1,2,...,n. \quad (36)$$

В моделі (33) – (36) вважається, що весь аналізований період формування рівноважної ціни $[t_0, t_1]$ розбивається на n однакових підперіодів (кроків) із індексом (номером) i.

Для кожного підперіода розраховується значення γ_i та величина відповідних функцій сумарного попиту $D_{sum}(\gamma_i)$ та витрат $Z(\gamma_i)$. Економіко-математичний зміст елементів моделі той же самий, що і у відповідних в (21) – (24).

При цьому, якщо довжина кроку $\Delta t=\frac{t_1-t_0}{n}$, то

$$D_{sum}(\gamma_i)=\int_{t_0+(i-1)\Delta t}^{t_0+i\Delta t}D(p(t))dt. \quad (37)$$

В (37) функція ціни $p(t)$ для підперіода i визначається для початкової ціни, яка є кінцевою ціною цієї функції для попереднього кроку i -1.

Сформульовані вище оптимізаційні постановки є задачами нелінійного програмування. Їх наближені рішення можуть бути знайдені відповідними чисельними методами з використанням відомих програмних засобів [11].

Варіантні розрахунки по цім моделям дозволять дослідити вплив різних факторів на особливості оптимальних рішень для різних економіко-математичних постановок задач управління процесами формування рівноважної ціни.

Для прикладу розглянемо задачу (18) з лінійною функцією витрат $Z(\gamma) = a_1\gamma + c_1$ та визначимо як впливає величина періоду управління t_1 на її оптимальні розв'язки. Відповідна інформація представлена на графіках рис. 5–7, які побудовані по визначеним оптимальним значенням шуканих змінних γ цієї задачі для деяких умовних даних.

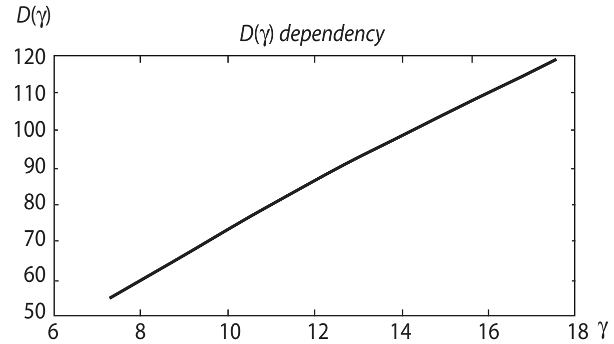

Рис. 5. Залежність сумарного попиту $D_{sum}(\gamma)$ від t_1 при оптимальному γ

Джерело: авторська розробка

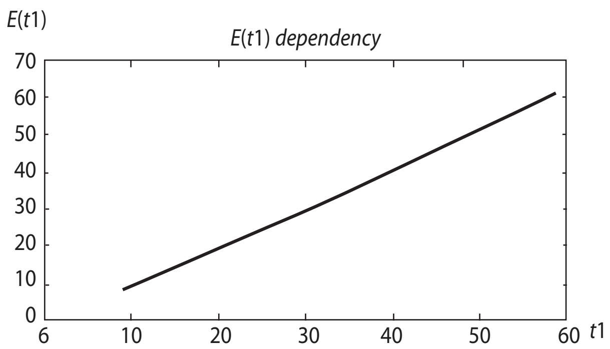

Рис. 6. Залежність оптимального значення критерію E(γ) від t_1

Джерело: авторська розробка

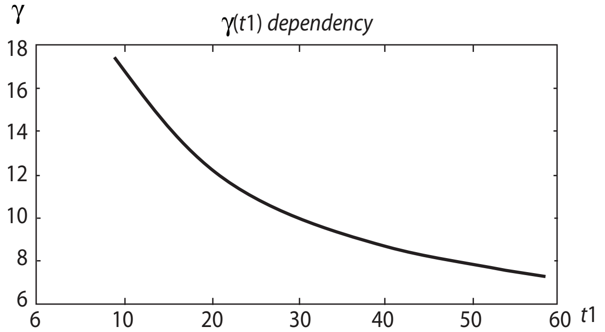

Рис. 7. Залежність оптимального значення γ від t_1

Джерело: авторська розробка

На основі аналізу приведених графіків можна зробити такі висновки. По-перше, очікувано (рис. 5) отримали зростаючу залежність величини сумарного потенційного попиту $D_{sum}(\gamma)$ від довжини періоду t_1.

При цьому оптимальне значення критерію ефективності $E(\gamma)$ могло мати різні напрями зміни під впливом t_1. Однак для нашого випадку, який наведено на графіку рис. 6, цей критерій теж зростає, що забезпечується не тільки позитивною динамікою об'єму сумарного попиту $D_{sum}(\gamma)$, але й скороченням витрат $Z(\gamma)$, що є наслідком, як показує графік рис. 7, зменшення оптимального значення показника сили впливу на процеси управління ціною γ.

Висновки. В рамках розвитку підходу до дослідження процесів встановлення рівноважної ціни в моделі ринковій рівноваги Еванса, згідно з яким основні учасники ринкової взаємодії (споживач, виробник та аукціоніст) розглядаються як активні економічні агенти, які можуть переслідувати власні інтереси при встановленні ринкової ціни, в роботі наведено та проаналізовано різні економіко-математичні критерії управління процесами формування рівноважної ціни, а також визначено можливості їх використання у відповідних оптимізаційних моделях.

Сформульовано ряд оптимізаційних постановок задач управління динамікою ціни, які відповідають різним критеріям та економічному змісту. Виконані умовні розрахунки, які продемонстрували можливості використання побудованих моделей для дослідження різних факторів впливу на процеси керування встановленням ціни. Таким чином, проведенні дослідження дозволяють розширити спектр напрямів і завдань дослідження процесів формування ринкової ціни та пропонують деякі елементи економіко-математичного інструментарію їх аналізу. Подальший розвиток цієї тематики може бути пов'язаний з удосконаленням різних аспектів (формальних та змістовних) математичних моделей цільового впливу на особливості динаміки ціни, їх системною побудовою та економіко-математичним аналізом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мельник І. О., Власенко О. М., Черевчук Е. В. Ціноутворення в логістичній системі. *Ефективна економіка*. 2018. № 11. DOI: 10.32702/2307-2105-2018.11.87

2. Ерфан В. Й., Сингаєвський С., Мухомедьянов В. Ціна та ціноутворення в логістиці. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Економіка*. 2023. № 2 (62). С. 102–106. DOI: 10.24144/2409-6857.2023.2(62).102-106

3. Приймук О. Дистрибуція швидкопсувних товарів: стратегія ціноутворення. *Товари і ринки*. 2020. № 1. С. 25–36. DOI: https://doi.org/10.31617/tr.knute.2020(33)03

4. Липинська О. А. Теоретичні основи ціноутворення на логістичні послуги морського порту. *Економіка: реалії часу*. 2014. № 6 (16). С. 41–49. URL: https://economics.net.ua/files/archive/2014/No6/41-49.pdf

5. Скіцько В. І., Класифікація та аналіз задач е-логістики, методів і моделей їх вирішення. *Агросвіт.* 2015. № 4. С. 25–30. URL http://www.agrosvit.info/pdf/4_2016/6.pdf

6. Романич І. Б., Тимчишин С. О., Логойда-Копик М. Р. Математичні методи в логістиці: аналіз, класифікація, прикладові моделі. *Науковий вісник херсонського державного університету.* 2024. Вип. 53. С. 53–62. DOI: https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2024-53-8

7. Пухальська Я. П. Вибір економіко-математичних моделей для логістичної діяльності промислових підприємств. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія : «Економічні науки»*. 2020. № 3. С. 114–117.

DOI: 10.31891/2307-5740-2020-282-3-20

8. Нікішина О. В., Діленко В. О., Тараканов М. Л. Логістичний фактор трансформації теоретичних положень функціонування товарних ринків. *Проблеми економіки.* 2019. № 3. С. 164–170.

DOI: https://doi.org/10.32983/2222-0712-2019-3-164-170

9. Діленко В. О., Науменко П. О. Управління процесом формування рівноважної ціни в моделі Еванса. *Бізнес Інформ*. 2025. № 1. С. 146–152.

DOI: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2025-1-146-152

10. Вітлінський В. В. Моделювання економіки : навч. посіб. Київ : КНЕУ, 2003. 408 с.

11. Кузьмичов А. І. Оптимізаційні методи і моделі. Моделювання засобами MS Excel : навч. посіб. Київ : Вид-во Ліра-К, 2017. 215 с.

REFERENCES

Dilenko V. O. & Naumenko P. O. (2025). Upravlinnia protsesom formuvannia rivnovazhnoi tsiny v modeli Evansa [Managing the process of forming an equilibrium price in the Evans model]. *Biznes Inform*, *1*, 146–152. https://doi.org/10.32983/2222-4459-2025-1-146-152

Erfan V. Y., Synhaievskyi S. & Mukhomedianov V. (2023). Tsina ta tsinoutvorennia v lohistytsi [Price and pricing in logistics]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriia Ekonomika*, *62*(2), 102–106. https://doi.org/10.24144/2409-6857.2023.2(62).102-106

Kuzmychov A. I. (2017). *Optymizatsiini metody i modeli. Modeliuvannia zasobamy MS Excel : navch. posib* [Optimization methods and models. Modeling using MS Excel : study guide]. Kyiv: Vyd-vo Lira-K.

Lypynska O. A. (2014). Teoretychni osnovy tsinoutvorennia na lohistychni posluhy morskoho portu [Theoretical foundations of pricing for logistics services of a seaport]. *Ekonomika: realii chasu*, *6 (16)*, 41–49. https://economics.net.ua/files/archive/2014/No6/41-49.pdf

Melnyk I. O., Vlasenko O. M. & Cherevchuk E. V. (2018). Tsinoutvorennia v lohistychnii systemi [Pricing in the logistics system]. *Efektyvna ekonomika*, *11*. https://doi.org/10.32702/2307-2105-2018.11.87

Nikishyna O. V., Dilenko V. O. & Tarakanov M. L. (2019). Lohistychnyi faktor transformatsii teoretychnykh polozhen funktsionuvannia tovarnykh rynkiv [Logistics factor of transformation of theoretical provisions of commodity markets functioning]. *Problemy ekonomiky*, *3*, 164–170. https://doi.org/10.32983/2222-0712-2019-3-164-170

Pryimuk O. (2020). Dystrybutsiia shvydkopsuvnykh tovariv: stratehiia tsinoutvorennia [Distribution of perishable goods: pricing strategy]. *Tovary i rynky*, *1*, 25–36. https://doi.org/10.31617/tr.knute.2020(33)03

Pukhalska Ya. P. (2020). Vybir ekonomiko-matematychnykh modelei dlia lohistychnoi diialnosti promyslovykh pidpryiemstv [Selection of economic and mathematical models for logistics activities of industrial enterprises]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriia: «Ekonomichni nauky»*, *3*, 114–117. https://doi.org/10.31891/2307-5740-2020-282-3-20

Romanych I. B., Tymchyshyn S. O. & Lohoida-Kopyk M. R. (2024). Matematychni metody v lohistytsi: analiz, klasyfikatsiia, prykladovi modeli [Mathematical methods in logistics: analysis, classification, applied models]. *Naukovyi visnyk khersonskoho derzhavnoho universytetu*, *53*, 53–62. https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2024-53-8

Skitsko V. I. (2015). Klasyfikatsiia ta analiz zadach e-lohistyky, metodiv i modelei yikh vyrishennia [Classification and analysis of e-logistics problems, methods and models of their solution]. *Ahrosvit*, *4*, 25–30. http://www.agrosvit.info/pdf/4_2016/6.pdf

Vitlinskyi V. V. (2003). *Modeliuvannia ekonomiky : navch. posib* [Modeling the economy : study guide]. Kyiv: KNEU.

Стаття надійшла до редакції 01.11.2025 р.

Статтю прийнято до публікації 15.11.2025 р.

Оприлюднено 01.02.2026 р.