

УДК 330.332.5:330.46

DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-3583/24.22>**Черноусова Ж.Т.**

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри економічної кібернетики
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0769-9048>

Шкапенко О.С.

студентка
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1798-8425>

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІННОВАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Ефективність інвестиційної діяльності підприємства можна визначити за рівнем інвестиційного менеджменту, зокрема у визначенні стратегії капіталовкладень, враховуючи різні фактори. Раціональний розподіл обмежених ресурсів є ключовим в управлінській практиці. За результатами дослідження було розроблено проект з розширення організаційно-економічного забезпечення інноваційної активності підприємства шляхом впровадження нових ліній виробництва та проведено аналіз розподілу інвестицій між ними, враховуючи початковий капітал. Розроблено та побудовано економіко-математичну модель та проведені відповідні розрахунки за різних сценаріїв попиту на товар серед споживачів. Порівняно декілька стратегій вкладення грошей у виробництво. Також побудовано дерево рішень для різних стратегій продажів товару задля визначення найприбутковішого шляху діяльності компанії.

Ключові слова: стратегія розвитку, інноваційна діяльність, інвестиційна діяльність, рекламна стратегія, модель реалізації товару.

Постановка проблеми. В сучасних умовах України, успіх діяльності підприємств залежить від успішності їх інвестиційно-інноваційної діяльності. Інвестиційна діяльність підприємства являє собою досить тривалий процес і тому повинна здійснюватися з урахуванням певної інвестиційної стратегії.

Проблема визначення оптимального розподілу інвестиційних коштів між інноваційними проектами є актуальною тому, що ефективне моделювання інвестиційно-інноваційної діяльності є необхідним елементом розвитку сучасних підприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато вчених досліджують вплив різноманітних факторів на розгортання продажів продукції. Зокрема А. Ф. Терпугов та Н. П. Щирова розглядають вплив реклами на продажів однорідних товарів [1], а М. В. Сілаєва, А. М. Сілаєв досліджують вплив зміни ціни на попит [2], Крамар М. О. вивчає нові підходи до удосконалення моделі розвитку підприємства [3].

Постановка завдання. Мета статті полягає у визначенні ефективної стратегії керування ціною на товар, інвестиційних вкладень та відрахувань на рекламу задля визначення оптимального шляху запуску двох ліній товару на ринок: товар другої необхідності (глазуровані шоколадні цукерки з новою рецептурою) та товар розкоші (шоколад преміум класу з високоякісної сировини).

Виклад основного матеріалу. Як відомо, економічний розвиток товару, як і багато інших економічних процесів, має складний циклічний характер. Через це, проблема природи, типів та періодичності циклічних коливань має важливе значення для виявлення зовнішніх причин кризи конкретних продуктів. Головною

метою управління життєвим циклом конкретного товару є його підтримка, продовження періоду існування на ринку [4].

На прикладі ПрАТ «Київська кондитерська фабрика «Рошен» розглянемо керування інвестиційно-інноваційною діяльністю підприємства. Кондитерська Корпорація ROSHEN є однією з найбільших і входить до списку Топ-30 світових виробників кондитерських виробів.

У даному дослідженні крива життєвого циклу товару має вплив на керування такими параметрами як знижка (ціна товару), частка інвестицій в товар та рекламу. В залежності від мети та стадії розвитку товару, дані параметри можуть змінюватися підприємством.

Така модель має практичне застосування і дозволяє спрогнозувати продажі товару. Вона показує, що обсяги продажів, а відповідно і прибуток, буде змінюватися в часі за певним законом. Це дозволяє логічно вибудувати конкурентну стратегію, просування і ціноутворення товару.

При використанні моделі потрібно зважати на реальний стан ринку, конкуренцію, поведінку та інтерес споживача, державне регулювання та інші макроекономічні фактори [5].

Розглянемо наступні криві життєвого циклу товару:

1. Крива «Бум» (постійне зростання). Така крива передбачає постійну стадію зростання, де не відбувається стадій «зрілості» і «спаду». Постійне зростання характерне для відомих і популярних продуктів, що мають стійкі канали збуту і досить стабільні продажі впродовж тривалого періоду часу. В такий продукт постійно інвестують, його підтримують та удоскона-

люють. Крива «Бум» характерна для товарів, що є лідерами на ринку, наприклад продукція, зокрема смартфони, компанії Apple [5].

2. Крива «Зростання-спадання». Продажі швидко зростають на етапі впровадження продукту, а потім спадають до певного постійного рівня, доки пізні адаптери не купують продукт вперше, а перші користувачі не замінюють продукт, щоб підтримати постійний рівень.

Продаж товару за першим сценарієм розглянемо за допомогою логістичної функції Перла-Ріда (Гомперца) [6; 7]:

$$Q(t) = \frac{K}{1 + ce^{f(t)}}, \quad (1)$$

де e – основа натурального логарифму;

$$Q(t) = \frac{K}{1 + ce^{-at}}$$

$f(t)$ – деяка функція від t (зазвичай $f(t) = -at$), тоді

$$c = \frac{K - Q_0}{Q_0}, \quad (2)$$

де K – потенційна ємність ринку (асимптота); відносний потенціал росту в момент $t = 0$; a – середній темп зростання за перші роки.

Продаж товару за другим сценарієм розглянемо як функцію, що утворюється шляхом додавання двох експоненційних функцій, де коефіцієнти еластичності визначаються за статистичними даними.

На основі даних за 2017–2019 роки отримаємо наступні функції продажів для двох ліній товару: товар другої необхідності та товар розкоші:

При розгортанні продажів за сценарієм «Бум»:

$$TR_1(t) = \frac{312000}{1 + 0,2e^{-1,1t}} - \text{для першого товару},$$

$$TR_2(t) = \frac{340000}{1 + 0,4e^{-1t}} - \text{для другого товару}.$$

При розгортанні продажів за сценарієм «Зростання-спадання»:

$$TR_1(t) = 312000 * e^{-0,2t} - 311000e^{-1,1t} - \text{для першого товару},$$

$$TR_2(t) = 340000 * e^{-0,4t} - 339000e^{-1t} - \text{для другого товару}.$$

Реклама, як відомо, – двигун торгівлі, і без реклами в найрізноманітніших формах не проводиться продаж практично ніяких товарів. Побудуємо просту математичну модель впливу реклами на продаж однорідних товарів. Зробимо опис моделі [1].

На складах і в мережі «Рошен» знаходиться величезна кількість однорідних товарів, за якими приходять

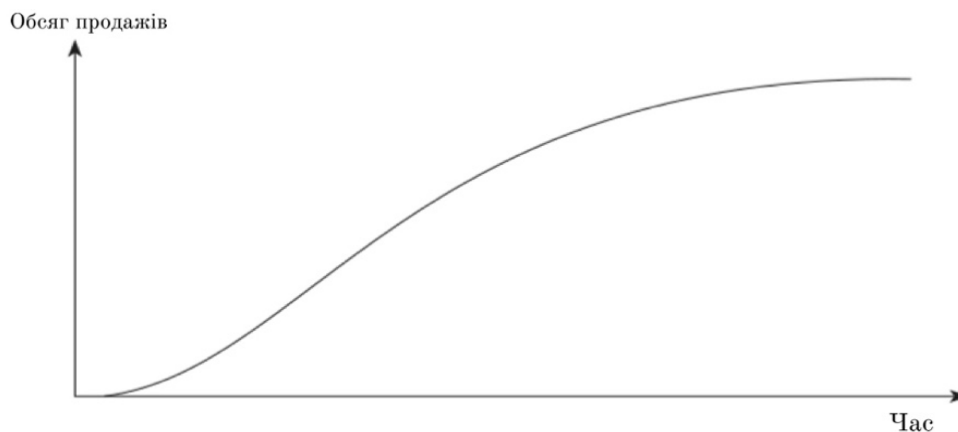


Рисунок 1 – Крива «Постійне зростання» («Бум»)

Джерело: [5]

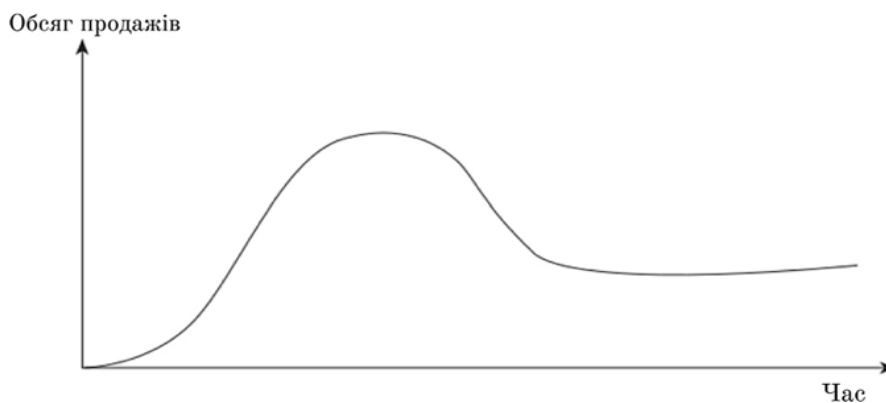


Рисунок 2 – Крива «Зростання-спадання»

Джерело: [5]

покупці. Будемо вважати, що кожен покупець, що приходить, здійснює покупку на величину ξ , яка є випадковою величиною з функцією розподілу $F(\xi)$.

Стан магазину будемо характеризувати його капіталом $S(t)$, що залежить явно від t . Будемо вважати, що за час $[t, t + \Delta t]$ магазин несе витрати, рівні $[c_0 + c_1 S(t)] \Delta t$. Величина c_0 описує постійні витрати, пов'язані з витратами на оренду, тепло, світло і т.д., а величина c_1 показує витрати, пов'язані з обслуговуванням капіталу, наприклад податки. Крім того, будемо вважати, що за час $[t, t + \Delta t]$ частина капіталу, що дорівнює $S(t) \Delta t$, виділяється на рекламу товарів, що продаються, а величина $nS(t) \Delta t$ виділяється на інвестування. Ефективність реклами будемо оцінювати величиною $R(t)$. Її вплив проявляється в наступному: будемо вважати потік покупок пуассоновским потоком з інтенсивністю $\lambda_0 + \lambda_1 R(t)$, де коефіцієнт λ_1 описує вплив реклами на потік покупок. Величина λ_0 визначає інтенсивність потоку покупок без будь-якої реклами.

Оскільки процес покупок випадковий, то і величина капіталу компанії $S(t)$ є випадковим процесом, а оскільки на рекламу виділяється частка капіталу $S(t)$, а $nS(t) \Delta t$ – на інвестиції, то і ступінь впливу реклами і інвестицій стає випадковим процесом. Тому знайдемо математичні сподівання величини капіталу компанії $M\{S(t)\}$ та ефективності реклами $M\{R(t)\}$.

Міркування мають наступний вигляд: при $\Delta t \rightarrow 0$ за покупкою може прийти тільки один покупець з ймовірністю $(\lambda_0 + \lambda_1 R(t)) \Delta t + o(\Delta t)$, отже зміна капіталу за час Δt складає величину

$$\Delta S(t) = \begin{cases} (1-c_1) - (+n)S(t)\Delta t - c_0\Delta t, \text{ з ймовірністю } (\lambda_0 + \lambda_1 R(t))\Delta t \\ - (+n)S(t)\Delta t - c_0\Delta t, \text{ з ймовірністю } 1 - (\lambda_0 + \lambda_1 R(t))\Delta t \end{cases} \quad (3)$$

Знайдемо математичне очікування капіталу та його зміни в часі, що дорівнює

$$S(t + \Delta t) = S(t) + \Delta S(t).$$

Усереднимо спочатку щодо можливого факту покупки. Тоді

$$M\{\Delta S(t) | S(t), R(t)\} = (1-c_1)a(\lambda_0 + \lambda_1 R(t))\Delta t - (+n)S(t)\Delta t - c_0\Delta t, \quad (4)$$

де $a = M\{\xi\}$ – середня величина покупки.

Усереднимо (4) ще по $S(t)$ і $R(t)$, отримаємо

$$M\{S(t + \Delta t)\} = M\{S(t)\} + (1-c_1) \left(a(\lambda_0 + \lambda_1 M\{R(t)\})\Delta t - (+n)M\{S(t)\}\Delta t - c_0\Delta t \right). \quad (5)$$

Розкладемо доданок $a(\lambda_0 + \lambda_1 M\{R(t)\})\Delta t$ наступним чином:

$$a(\lambda_0 + \lambda_1 M\{R(t)\})\Delta t = a\lambda_0\Delta t + a\lambda_1 M\{R(t)\}\Delta t = a\lambda_0\Delta t + a\lambda_0\Delta t \frac{\lambda_1}{\lambda_0} M\{R(t)\} = a\lambda_0\Delta t \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_0} M\{R(t)\} \right). \quad (6)$$

Підставивши (6) в (5) отримаємо наступну формулу:

$$M\{S(t + \Delta t)\} = M\{S(t)\} + (1-c_1) \left(a\lambda_0\Delta t \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_0} M\{R(t)\} \right) - (+n)M\{S(t)\}\Delta t - c_0\Delta t \right). \quad (7)$$

Виведемо тепер рівняння для впливу реклами $R(t)$. Як вже говорилося, через випадковість величини $S(t) \Delta t$, $R(t)$ також стає випадковим процесом. Будемо вважати, що на зміну $R(t)$ діють обидва процеси: а) процес збільшення $R(t)$, обумовлений вкладенням в рекламу капіталу $S(t) \Delta t$, і б) процес забування реклами, пропорційний $R(t)$. Тому

$$R(t + \Delta t) = R(t) - \omega R(t) \Delta t + \beta \Delta S(t) \Delta t, \quad (8)$$

де ω – коефіцієнт, що визначає швидкість забування реклами (t),

β – ступінь впливу грошей, вкладених в рекламу.

Усереднюючи, отримаємо

$$M\{R(t + \Delta t)\} = M\{R(t)\} - \omega R(t) \Delta t + \beta \Delta M\{S(t)\} \Delta t. \quad (9)$$

Для середніх значень капіталу $M\{S(t)\}$ і ступеня впливу реклами ми маємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} M\{S(t + \Delta t)\} = M\{S(t)\} + (1-c_1)(a(\lambda_0 + \lambda_1 M\{R(t)\})\Delta t) - (+n)M\{S(t)\}\Delta t - c_0\Delta t \\ M\{R(t + \Delta t)\} = M\{R(t)\} - \omega R(t) \Delta t + \beta \Delta M\{S(t)\} \Delta t. \end{cases}$$

Специфікація моделі з урахуванням фактору впливу ціни товару [2]:

$$TR = Q \cdot P, \quad (10)$$

де TR – сукупний дохід, що отримує фірма від продажу конкретного товару;

Q – кількість проданого товару;

P – ціна товару;

$$\frac{dTR}{dP} = Q + P \frac{dQ}{dP} = Q(1 - |E_p^d|). \quad (11)$$

Помноживши обидві частини (11) на dP , отримаємо:

$$dTR = Q \cdot P(1 - |E_p^d|) \frac{dP}{P} = Q \cdot dP + P \cdot dQ, \quad (12)$$

$$TR = Q \cdot P = a\lambda_0 \Delta t \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_0} R(t) \right). \quad (13)$$

Для товарів розкоші еластичність попиту за ціною $E_p^d > 1$, тому різниця $(1 - |E_p^d|) < 0$. Щоб отримати фірмі додатковий дохід в такому випадку, ціну необхідно знижувати.

Для товарів другої необхідності еластичність попиту за ціною $E_p^d < 1$, тому $(1 - |E_p^d|) > 0$. Щоб отримати фірмі додатковий дохід в такому випадку, ціну необхідно підвищувати.

$$\begin{aligned} a\lambda_0 \Delta t \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_0} R(t) \right) + dTR &= a\lambda_0 \Delta t \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_0} R(t) \right) + \\ + Q \cdot P(1 - |E_p^d|) \frac{dP}{P} &= a\lambda_0 \Delta t \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_0} R(t) \right) + \\ + a\lambda_0 \Delta t \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_0} R(t) \right) (1 - |E_p^d|) \frac{dP}{P} &= \\ = a\lambda_0 \Delta t \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_0} R(t) \right) \left(1 + (1 - |E_p^d|) \frac{dP}{P} \right). \end{aligned} \quad (14)$$

Введемо наступні позначення для спрощення математичного формулювання задачі:

$$M\{S(t)\} = S(t), M\{R(t)\} = R(t).$$

Підставивши (14) в (7) отримаємо:

$$S(t + \Delta t) = S(t) + (1-c_1) \left(a\lambda_0 \Delta t \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_0} R(t) \right) \right)$$

$$\left(1 + \left(1 - |E_p^d|\right) \frac{dP}{P}\right) - (+n)S(t)\Delta t - c_0\Delta t. \quad (15)$$

Позначимо $\frac{dP}{P} = r(t)$.

$$S(t + \Delta t) = S_1(t + \Delta t) + S_2(t + \Delta t) =$$

$$S_1(t) + S_2(t) + (1 - c_1)(a_1\lambda_{01}\Delta t \left(1 + \frac{\lambda_{11}}{\lambda_{01}}R_1(t)\right) \\ \left(1 + \left(1 - |E_{1p}^d|\right)r_1(t)\right) + a_2\lambda_{02}\Delta t \left(1 + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{02}}R_2(t)\right) \\ \left(1 + \left(1 - |E_{2p}^d|\right)r_2(t)\right)) - (\alpha_1 + \alpha_2 + n_1 + n_2) \\ (S_1(t) + S_2(t))\Delta t - 2c_0\Delta t. \quad (16)$$

Зауважимо, що

$$\frac{a\lambda_0\Delta t \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_0}R(t)\right) \left(1 + \left(1 - |E_p^d|\right)r(t)\right)}{P \cdot (1 + r(t))} = Q(t),$$

Загальний дохід без урахування витрат на рекламу $TR_0 = a\lambda_0\Delta t$.

Оскільки фірма не може випускати продукції більше, ніж дозволяють виробничі можливості, то введемо обмеження:

$$Q(t) < (n(1) \cdot S(1) + n(2) \cdot S(2) + \dots + \\ + n(t) \cdot S(t)) \cdot l = \sum_{\tau=1}^t n(\tau) \cdot S(\tau) \cdot l,$$

де l – коефіцієнт акселерації (коефіцієнт віддачі від вкладених коштів).

Для першого і другого товарів відповідно отримаємо:

$$\frac{TR_1(t) \left(1 + \frac{\lambda_{11}}{\lambda_{01}}R_1(t)\right) \left(1 + \left(1 - |E_{1p}^d|\right)r_1(t)\right)}{P_1(1 + r_1(t))} = \\ = Q_1(t) \leq \sum_{\tau=1}^t n_1(\tau) \cdot S(\tau) \cdot l_1,$$

$$\frac{TR_2(t) \left(1 + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{02}}R_2(t)\right) \left(1 + \left(1 - |E_{2p}^d|\right)r_2(t)\right)}{P_2(1 + r_2(t))} = \\ = Q_2(t) \leq \sum_{\tau=1}^t n_2(\tau) \cdot S(\tau) \cdot l_2.$$

$$\stackrel{\text{в } (15)}{=} S(t + \Delta t) = S_1(t + \Delta t) + S_2(t + \Delta t) = S(t)$$

$$+ (1 - c_1) \left(TR_1(t) \left(1 + \frac{\lambda_{11}}{\lambda_{01}}R_1(t)\right) \left(1 + \left(1 - |E_{1p}^d|\right)r_1(t)\right) \right) \\ + TR_2(t) \left(1 + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{02}}R_2(t)\right) \left(1 + \left(1 - |E_{2p}^d|\right)r_2(t)\right) \\ - (\alpha_1(t) + \alpha_2(t) + n_1(t) + n_2(t))(S(t)) \\ - \frac{TR_1(t) \left(1 + \frac{\lambda_{11}}{\lambda_{01}}R_1(t)\right) \left(1 + \left(1 - |E_{1p}^d|\right)r_1(t)\right) \cdot P_{01}}{P_1(1 + r_1(t))}$$

$$- \frac{TR_2(t) \left(1 + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{02}}R_2(t)\right) \left(1 + \left(1 - |E_{2p}^d|\right)r_2(t)\right) \cdot P_{02}}{P_2(1 + r_2(t))},$$

де P_{01} і P_{02} – собівартість одиниці продукції першого та другого товару відповідно.

Як зазначалось раніше,

$$\frac{TR(t) \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_0}R(t)\right) \left(1 + \left(1 - |E_p^d|\right)r(t)\right)}{P(1 + r(t))} = Q(t).$$

Підставимо цей вираз у $S(t + \Delta t)$ і в якості часового лагу візьмемо Δt , що дорівнює одному кварталу, тобто $\Delta t = 1$, отримаємо:

$$S(t + 1) = S_1(t + 1) + S_2(t + 1) = S(t) + \\ + (1 - c_1)(Q_1(t) \cdot P_1 \cdot (1 + r_1(t)) + Q_2(t) \cdot P_2(1 + r_2(t))) - (n_1(t) + n_2(t))S(t) - Q_1(t) \cdot P_{01} - Q_2(t) \cdot P_{02}. \quad (17)$$

Враховуючи індекс споживчих цін $I_u(t)$, матимемо наступне:

$$t = 1, 2, \dots, T;$$

$$S(t + 1) = S(t) + (1 - c_1) \left(Q_1(t) \cdot P_1 \cdot \prod I_u(t) \cdot (1 + r_1(t)) \right) \\ + Q_2(t) \cdot P_2(1 + r_2(t)) \cdot \prod I_u(t) \\ - (\alpha_1(t) + \alpha_2(t) + n_1(t) + n_2(t))S(t) - \\ Q_1(t) \cdot P_{01} \cdot \prod I_u(t) - Q_2(t) \cdot P_{02} \cdot \prod I_u(t) \\ S(t + 1) = S(t) + (1 - c_1) \left(Q_1(t) \cdot P_1 \cdot \prod I_u(t) \cdot (1 + r_1(t)) \right) \\ + Q_2(t) \cdot P_2(1 + r_2(t)) \cdot \prod I_u(t) - (n_1(t) + n_2(t) + \\ + n_1(t) + n_2(t))S(t) - Q_1(t) \cdot P_{01} \cdot \prod I_u(t) - Q_2(t) \cdot P_{02} \cdot \prod I_u(t). \quad (18)$$

$$R_1(t + 1) = R_1(t) - \omega R_1(t) + \beta_1(t) \frac{S(t)}{I_u(1) \cdot \dots \cdot I_u(t)}, \quad (19)$$

$$R_2(t + 1) = R_2(t) - \omega R_2(t) + \beta_2(t) \frac{S(t)}{I_u(1) \cdot \dots \cdot I_u(t)}. \quad (20)$$

$$Q_1(t) = \frac{TR_1(t) \cdot I_u(t) \left(1 + \frac{\lambda_{11}}{\lambda_{01}}R_1(t)\right) \left(1 + \left(1 - |E_{1p}^d|\right)r_1(t)\right)}{P_1 \cdot I_u(t)(1 + r_1(t))} = \\ = \frac{TR_1(t) \cdot \left(1 + \frac{\lambda_{11}}{\lambda_{01}}R_1(t)\right) \left(1 + \left(1 - |E_{1p}^d|\right)r_1(t)\right)}{P_1 \cdot (1 + r_1(t))},$$

якщо

$$\frac{TR_1(t) \left(1 + \frac{\lambda_{11}}{\lambda_{01}}R_1(t)\right) \left(1 + \left(1 - |E_{1p}^d|\right)r_1(t)\right)}{P_1(1 + r_1(t))} \leq \\ \leq \sum_{\tau=1}^t \frac{n_1(\tau) \cdot S(\tau) \cdot l_1}{I_u(1) \cdot \dots \cdot I_u(\tau)}. \quad (21)$$

$$Q_1(t) = \sum_{\tau=1}^t \frac{n_1(\tau) \cdot S(\tau) \cdot l_1}{I_u(1) \cdot \dots \cdot I_u(\tau)},$$

$$\frac{TR_1(t) \left(1 + \frac{\lambda_{11}}{\lambda_{01}} R_1(t)\right) \left(1 + (1 - |E_{1p}^d|) r_1(t)\right)}{P_1(1+r_1(t))} > \sum_{\tau=1}^t \frac{n_1(\tau) \cdot S(\tau) \cdot I_1}{I_{\Pi}(1) \cdot \dots \cdot I_{\Pi}(\tau)}. \quad (22)$$

Аналогічно для другого товару.

Враховуючи, що інвестування в чергу лінії продукції не може відбуватися частинами, тобто необхідно накопичити певну суму для інвестування, введемо наступні параметри:

$n_{1,2}(t)$ – коефіцієнт, що дорівнює 0 або 1 і вказує на те, чи відбулося інвестування у нову чергу лінії першого та/або другого проекту;

$J_{1,2}(t)$ – капітальні інвестиції у 1 та 2 проєкт відповідно.

Зважаючи на тип продукції, та середньо ринкові капітальні інвестиції для подібних товарів, матимемо:

$$J_1(t) = 1000000 \text{ грн},$$

$$J_2(t) = 4000000 \text{ грн}.$$

Враховуючи $I_y(t)$ – індекс споживчих цін в період часу, формула (18) набуде вигляду:

$$S(t+1) = S(t) - n_1(t)J_1(t) - n_2(t)J_2(t) - (\alpha_1(t) + \alpha_2(t))S(t) - Q_1(t) \cdot P_{01} \prod I_{\Pi}(t) - Q_2(t) \cdot P_{02} \cdot \prod I_{\Pi}(t) + \left((1 - c_1)(Q_1(t) \cdot P_1 \cdot \prod I_{\Pi}(t) \cdot (1 + r_1(t)) + Q_2(t) \cdot P_2 \prod I_{\Pi}(t) \cdot (1 + r_2(t))) \right). \quad (23)$$

Оскільки фінансовий капітал підприємства з якого відбувається інвестування та витрати на рекламу не може бути від’ємний, отримаємо обмеження:

$$S(t) > 0, t = 1 \dots T.$$

Оскільки вкладення в рекламу та капітальні інвестиції відбуваються на початку періоду t і беруться із фінансового капіталу, тому логічним буде наступне:

$$n_1(t)J_1(t) + n_2(t)J_2(t) + ({}_1(t) + {}_2(t))S(t) < S(t). \quad (24)$$

Ціллю підприємства є збільшення фінансового капіталу при запуску ліній і вилучення грошей на інвестування і рекламу. Оскільки під час виробництва відбувається перенесення вартості основних засобів на продукт, що виготовляється з їх допомогою [8], то введемо коефіцієнти амортизації для обох ліній μ_1, μ_2 .

Отримаємо наступну модель, враховуючи (19)-(24):

$$S(T+1) + \sum_{t=1}^T (n_1(t)J_1(t)(1 - (T+1-t)\mu_1) + n_2(t)J_2(t)(1 - (T+1-t)\mu_2)) \cdot \max, \\ n_1(t)J_1(t) + n_2(t)J_2(t) + ({}_1(t) + {}_2(t))S(t) < S(t), \\ S(t+1) = S(t) - n_1(t)J_1(t) - n_2(t)J_2(t) - ({}_1(t) + {}_2(t))S(t) - Q_1(t) \cdot P_{01} \cdot \prod I_{\Pi}(t) - Q_2(t) \cdot P_{02} \cdot \prod I_{\Pi}(t) + (1 - c_1)(Q_1(t) \cdot P_1 \cdot \prod I_{\Pi}(t) \cdot (1 + r_1(t)) + Q_2(t) \cdot P_2 \cdot \prod I_{\Pi}(t) \cdot (1 + r_2(t))),$$

$$S(t) > 0, t = 1 \dots T+1,$$

$$R_1(t+1) = R_1(t) - \omega R_1(t) + \beta \cdot {}_1(t) \frac{S(t)}{I_y(1) \cdot \dots \cdot I_y(t)},$$

$$R_2(t+1) = R_2(t) - \omega R_2(t) + \beta \cdot {}_2(t) \frac{S(t)}{I_y(1) \cdot \dots \cdot I_y(t)},$$

$$Q_1(t) = \frac{TR_1(t) \cdot \left(1 + \frac{\lambda_{11}}{\lambda_{01}} R_1(t)\right) \left(1 + (1 - |E_{1p}^d|) r_1(t)\right)}{P_1 \cdot (1 + r_1(t))},$$

якщо

$$\frac{TR_1(t) \left(1 + \frac{\lambda_{11}}{\lambda_{01}} R_1(t)\right) \left(1 + (1 - |E_{1p}^d|) r_1(t)\right)}{P_1(1+r_1(t))} \leq$$

$$\sum_{\tau=1}^t \frac{n_1(\tau) \cdot J_1(\tau) \cdot I_1}{I_y(1) \cdot \dots \cdot I_y(\tau)},$$

$$Q_1(t) = \sum_{\tau=1}^t \frac{n_1(\tau) \cdot J_1(\tau) \cdot I_1}{I_y(1) \cdot \dots \cdot I_y(\tau)},$$

якщо

$$\frac{TR_1(t) \left(1 + \frac{\lambda_{11}}{\lambda_{01}} R_1(t)\right) \left(1 + (1 - |E_{1p}^d|) r_1(t)\right)}{P_1(1+r_1(t))} >$$

$$\sum_{\tau=1}^t \frac{n_1(\tau) \cdot J_1(\tau) \cdot I_1}{I_y(1) \cdot \dots \cdot I_y(\tau)},$$

$$Q_2(t) = \frac{TR_2(t) \left(1 + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{02}} R_2(t)\right) \left(1 + (1 - |E_{1p}^d|) r_2(t)\right)}{P_2(1+r_2(t))},$$

якщо

$$\frac{TR_2(t) \left(1 + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{02}} R_2(t)\right) \left(1 + (1 - |E_{2p}^d|) r_2(t)\right)}{P_2(1+r_2(t))} \leq$$

$$\sum_{\tau=1}^t \frac{n_2(\tau) \cdot J_2 \cdot I_2}{I_y(1) \cdot \dots \cdot I_y(\tau)},$$

$$Q_2(t) = \sum_{\tau=1}^t \frac{n_2(\tau) \cdot S(\tau) \cdot I_2}{I_y(1) \cdot \dots \cdot I_y(\tau)},$$

якщо

$$\frac{TR_2(t) \left(1 + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{02}} R_2(t)\right) \left(1 + (1 - |E_{2p}^d|) r_2(t)\right)}{P_2(1+r_2(t))} >$$

$$\sum_{\tau=1}^t \frac{n_2(\tau) \cdot J_2 \cdot I_2}{I_y(1) \cdot \dots \cdot I_y(\tau)},$$

$$TR_1(t) = \begin{cases} \frac{312000}{1+0,2e^{-1,1t}} & \text{за сценарієм "Бум"} \\ 312000 * e^{-0,2t} - 311000e^{-1,1t} & \text{за сценарієм "Зростання - спадання"} \end{cases}$$

$$TR_2(t) = \begin{cases} \frac{340000}{1+0,4e^{-t}} & \text{за сценарієм "Бум"} \\ 340000 * e^{-0,4t} - 339000e^{-t} & \text{за сценарієм "Зростання-спадання"} \end{cases}$$

$$I_{\pi}(1) = 1, S(1) = S_0, R_1(1) = R_{01},$$

$$R_2(1) = R_{02}.$$

Розглянемо дві основні комбінації сценаріїв реалізації товарів (що пов'язані з індексом споживчих цін на майбутні періоди): за «Бум» для обох товарів; «Бум» для одного товару та «Зростання-спадання» для іншого.

Підприємство володіє капіталом у 2,5 млн грн, яке планує вкласти для розширення виробництва.

Для реалізації обох товарів за сценарієм «Бум» побудуємо дерево рішень:

Можна побачити, що при останньому розгалуженні на рис. 3 (де інвестується одразу у дві лінії після накопичення достатнього обсягу фінансового капіталу) на

восьмому періоді відбувається суперечність з умовою $S(t) > 0, t = 1...T+1$, тому такий варіант інвестування не розглядається, оскільки компанія буде працювати собі в збиток, що може привести до банкрутства.

Розглянемо дерево рішень для випадку, коли для першого товару (другої необхідності) продажі розгортаються за сценарієм «Зростання-спадання», а для другого (товар розкоші) – «Бум».

Аналогічно із попереднім сценарієм, для останнього четвертого шляху на рис. 4 не виконується умова $S(t) > 0, t = 1...T$, тому інвестування таким чином є недоцільним.

Застосовуючи цільову функцію

$$S(T+1) + \sum_{t=1}^T (n_1(t)J_1(t)(1-(T+1-t)\mu_1) + n_2(t)J_2(t)(1-(T+1-t)\mu_2)) \rightarrow \max,$$

оцінимо найефективніші стратегії вкладення.

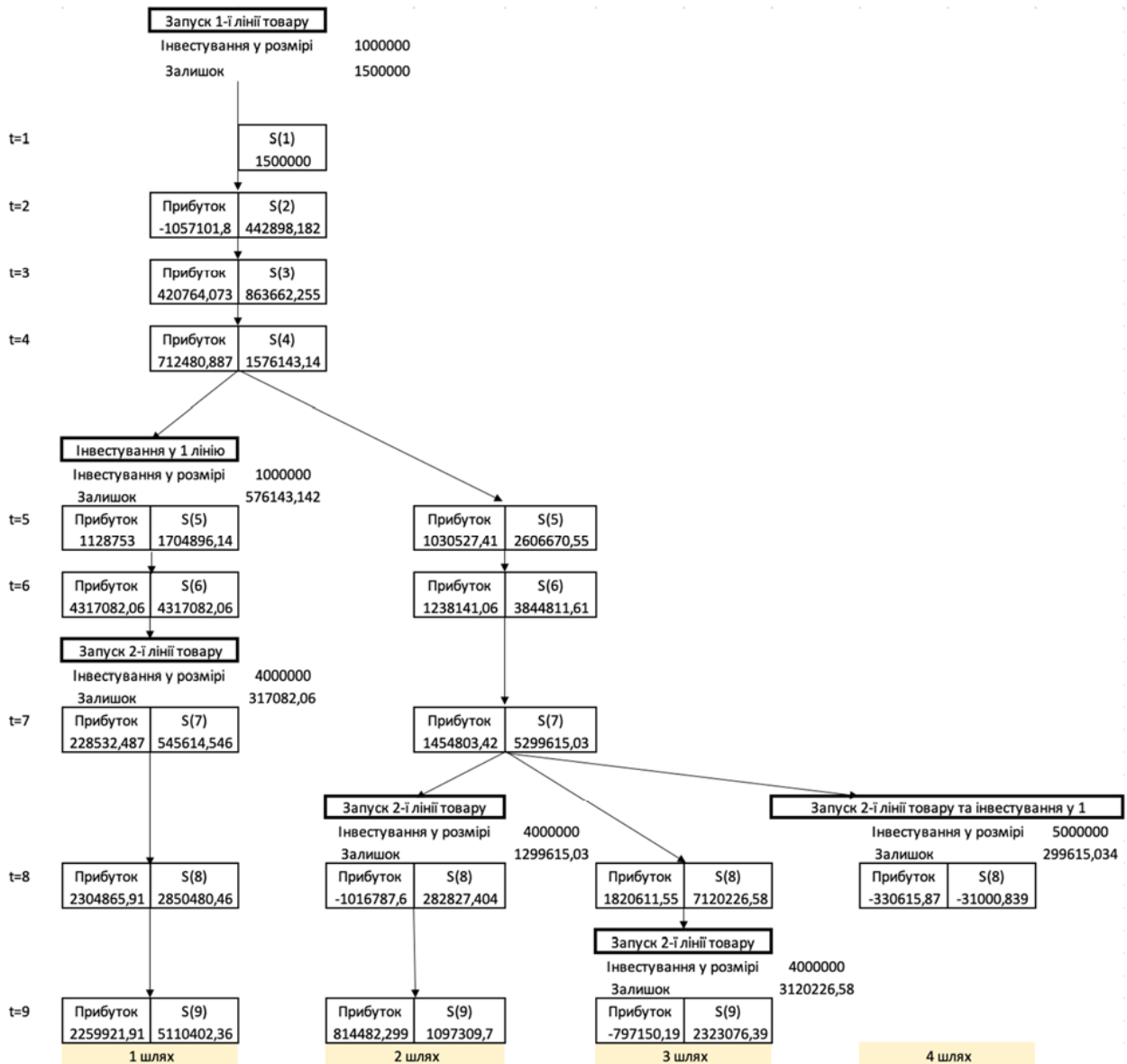


Рисунок 3 – Дерево рішень для реалізації обох товарів за сценарієм «Бум»

Джерело: сформовано автором

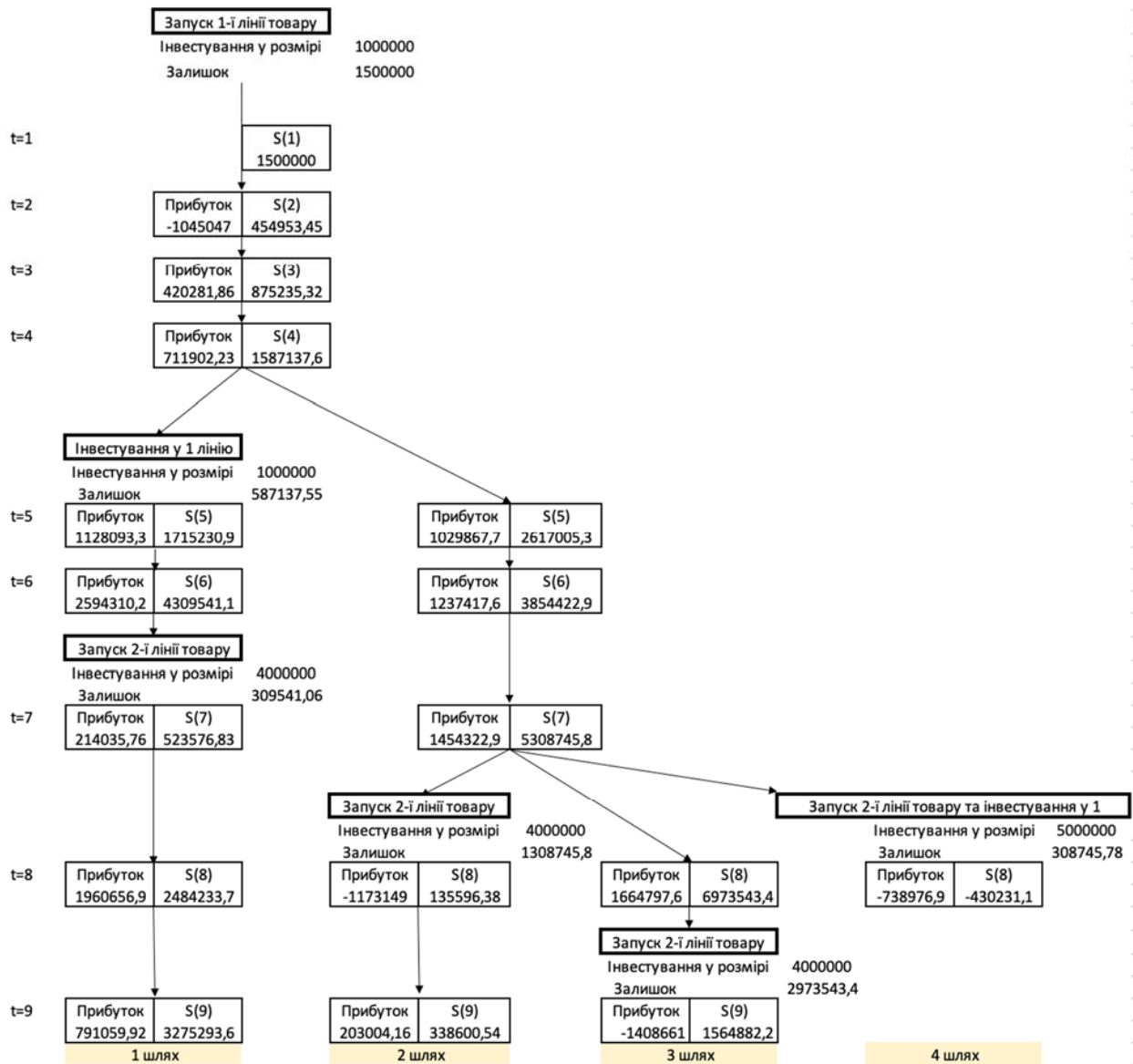


Рисунок 4 – Дерево рішень для реалізації одного товару за сценарієм «Зростання-спадання», а другого – «Бум»

Джерело: сформовано автором

Таблиця 1 – Результати реалізації моделі

Стратегії вкладень (№ шляху)	Сценарії продажів	«Бум» і «Бум»	«Зростання-спад» і «Бум»
		2	3
1			
1 шлях		10,9 млн. грн.	9 млн. грн.
2 шлях		5,9 млн. грн.	5 млн. грн.
3 шлях		7,2 млн. грн.	6,3 млн. грн.

Джерело: сформовано автором

Побудуємо динаміку фінансового капіталу за найкращим шляхом:

Висновки. В роботі було створено стохастичну економіко-математичну модель керування попитом, що здійснюється за рахунок рекламних вкладень і зміни

цін, яка враховує різні сценарії розвитку продажів товару і призначена для формування оптимального розподілу інвестиційних ресурсів між інноваційними проєктами для зниження рівня фінансового ризику, а також ефективного використання обмежених інвестиційних

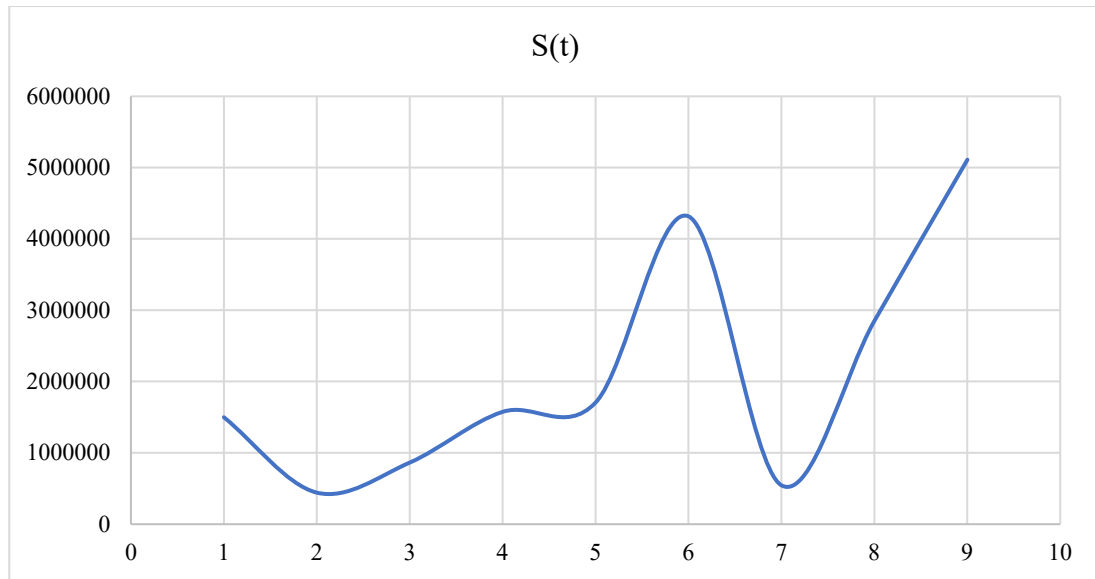


Рисунок 5 – Динаміка фінансового капіталу за першим шляхом для реалізації обох товарів за сценарієм «Бум».

Джерело: сформовано автором

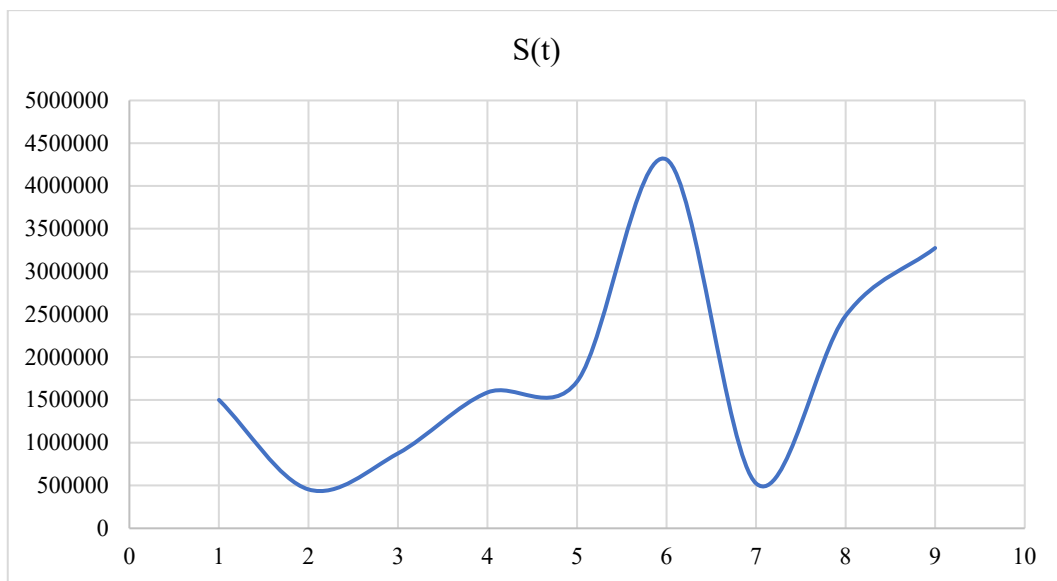


Рисунок 6 – Динаміка фінансового капіталу за першим шляхом для реалізації одного товару за сценарієм «Зростання-спадання», а другого – «Бум»

Джерело: сформовано автором

коштів підприємства з максимізацією фінансового капіталу, враховуючи витрати суб'єкту господарювання. Модель була протестована на запуску компанією двох ліній виготовлення товару: товару другою необхідності

та товару розкоші. Термін, з якою окупиться лінія залежить від початкових інвестицій та моделі розвитку продажів товару (попиту на нього). Чим більше попит на товар, тим швидше окупиться проект.

Список використаних джерел:

1. Терпугов А. Ф., Щирова Н. П. Математична модель впливу реклами на продаж однорідних товарів. *Статистична обробка даних і управління в складних системах*. 2001. № 3 С. 156–162.
2. Сілаєва М. В., Сілаєв А. М. Попит то пропозиція : навчальний посібник. Нижній Новгород, 2006. 12 с.
3. Крамар М. О. Економіко-математична модель розвитку підприємства. Львів, 2020. С. 27–31.
4. Маслова Т. Д., Вожук С. Т., Ковалик Л. Н. Маркетинг. Санкт-Петербург, 2008. 180 с.
5. Колеснева Е. П. Товарна торгівля підприємства галузі. Мінськ : ИВЦ Мінфіна, 2007. 35 с.

6. Використання логістичної кривої для оцінки вартості компанії на ринку, що розвивається. URL: http://ecsocman.hse.ru/data/401/879/1219/47_62_vypusk5.pdf (дата звернення: 20.04.2021).
7. Крива Гомперца і логістична крива. URL: https://studopedia.ru/1_130003_krivaya-gompertsai-logisticheskaya-krivaya.html (дата звернення: 26.05.2021).
8. Амортизація [Amortization]. Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: <https://uk.m.wikipedia.org/wiki/Амортизація> (дата звернення: 26.05.2021).

References:

1. Terpuhov A. F., Shchyrova N.P. (2001) Matematychna model vplyvu reklamy na prodazh odnorodnykh tovariv [Mathematical model of the influence of advertising on the sale of homogeneous goods]. *Statystychna obrobka danykh i upravlinnia v skladnykh systemakh*, vol. 3, pp. 56–162.
2. Silaeva M.V., Silaev A.M. (2006) Popyt to propozyttsiia: navchalnyi posibnyk [Supply and demand: a study guide]. Nyzhnyi Novhorod, 12 p.
3. Kramar M. O. (2020) Ekonomiko-matematychna model rozvytku pidpriemstva [Economic-mathematical model of enterprise development]. Lviv, pp. 27–31.
4. Maslova T.D., Vozhuk S.T., Kovalyk L.N. (2008) Marketynh [Marketing]. Sankt-Peterburh, 180 p.
5. Kolesneva E.P. (2007) Tovarna torhivlia pidpriemstva haluzi [Commodity trade of enterprises of the industry]. Minsk: YVTs Minfina, 35 p.
6. Vykorystannia lohystychnoi kryvoi dlia otsinky vartosti kompanii na rynku, shcho rozvyvaietsia [Using the logistic curve to estimate the value of a company in an emerging market]. Available at: http://ecsocman.hse.ru/data/401/879/1219/47_62_vypusk5.pdf (accessed 20 April 2021).
7. Kryva Gompertsai lohystychna kryva [Gompertz curve and logistic curve]. Available at: https://studopedia.ru/1_130003_krivaya-gompertsai-logisticheskaya-krivaya.html (accessed 26 May 2021).
8. Amortyzatsiia. Vikipediia: vilna entsyklopediia. Available at: <https://uk.m.wikipedia.org/wiki/Амортизація> (accessed 26 May 2021).

Chernousova Zhanna, Shkapenko Oleksandra
*National Technical University of Ukraine
 “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”*

ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELING OF THE INNOVATIVE ACTIVITY OF THE ENTERPRISE IN MODERN CONDITIONS

The article considers the modeling of innovation and investment activities of the food sector in the Ukrainian market in modern conditions, taking into account the cost of advertising and commodity prices. The efficiency of investment activities of the enterprise can be determined by the level of investment management, in particular in determining the investment strategy, taking into account various factors. Rational allocation of limited resources is key in management practice. The task of the study is to calculate the strategy of investment and innovation activities of the company by building an economic and mathematical model to determine the strategy of optimal distribution of investment funds between innovative projects to improve the efficiency of investment. The main task is to determine the optimal strategy for managing the price of goods, investments and deductions for advertising to determine the optimal strategy for launching new product lines on the market. The economic-mathematical model is developed and constructed and the corresponding calculations under various scenarios of demand for the goods among consumers are carried out. Several strategies for investing in production have been compared. A tree of solutions has also been built for various product sales strategies to determine the most profitable way for a company to operate. The calculations are based on the example of the private joint-stock company «Kyiv Confectionery Factory “Roshen”» – the leader of the confectionery industry in the market. The data used for the study was up until 2020. Based on the results of the research, a project was developed to expand the organizational and economic support of the innovative activity of the enterprise by introducing new production lines and analyzing the distribution of investments between them, taking into account the initial capital. An economic-mathematical model was developed and built, and corresponding calculations were made for various scenarios of demand for goods among consumers. Several strategies for investing money in production were compared. A decision tree was also built for various product sales strategies in order to determine the most profitable way of the company's activity.

Keywords: development strategy, innovation activity, investment activity, advertising strategy, product sales model.

JEL classification: D24, D33, D81