

**Ковальчук Ю.І.**

аспірант кафедри підприємництва та екологічної експертизи товарів  
*Національний університет «Львівська політехніка»*  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5381-5591>

**Kovalchuk Yuriy**

Postgraduate Student at the Department of Entrepreneurship and  
Ecological Expertise of Goods  
*National University "Lviv Polytechnic"*

## **ПОБУДОВА МОДЕЛІ РОЗВИТКУ МЕХАНІЗМІВ ТАКТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ В ДІЯЛЬНОСТІ Е-БІЗНЕСУ**

### **THE CONSTRUCTION OF A MODEL FOR THE DEVELOPMENT OF TACTICAL MANAGEMENT MECHANISMS IN E-BUSINESS ACTIVITIES**

У сучасному світі, де електронний бізнес (е-бізнес) набуває все більшого значення, питання оптимізації управлінських процесів стають надзвичайно актуальними. Ефективне тактичне управління в діяльності суб'єктів е-бізнесу потребує розробки інноваційних методів і підходів, які дозволяють досягти високого рівня продуктивності та конкурентоспроможності. Одним з найпотужніших інструментів для цього є математичне програмування, яке забезпечує структурований і аналітичний підхід до вирішення складних управлінських задач. У статті аргументовано, що математичне програмування є ефективним і потужним інструментом для вирішення складних управлінських задач. Обґрунтовано, що використання множників Лагранжа та матриці Гессе дозволяє працювати з нелінійними функціями цілі та обмеженнями, що забезпечує точне моделювання складних взаємозв'язків між різними компонентами бізнесу. Доведено, що математичне програмування дозволяє здійснювати автоматизацію процесів прийняття рішень, підвищуючи оперативність та точність управлінських дій, що є критично важливим в умовах динамічного і конкурентного середовища е-бізнесу. Крім того, застосування методів глобальної оптимізації, числових методів та обробки нелінійних обмежень удосконалює початкову модель, роблячи її більш ефективною та гнучкою для різних сценаріїв розвитку подій. Обґрунтовано, що побудова моделі розвитку механізмів тактичного управління в діяльності суб'єктів е-бізнесу на основі математичного програмування дозволяє досягти високого рівня оптимізації управлінських процесів, що є ключовим фактором успіху в сучасному бізнес-середовищі. Аргументовано, що інтеграція цього підходу з сучасними обчислювальними технологіями та автоматизацією робить його незамінним інструментом для суб'єктів е-бізнесу, які прагнуть залишатися конкурентоспроможними та адаптивними до змін.

**Ключові слова:** е-бізнес, управлінські процеси, математичне програмування, бізнес-середовище, автоматизація процесів.

In the modern world, where electronic business (e-business) is gaining increasing significance, the issue of optimizing management processes has become extremely relevant. Effective tactical management in the activities of e-business entities requires the development of innovative methods and approaches that allow for achieving a high level of productivity and competitiveness. One of the most powerful tools for this is mathematical programming, which provides a structured and analytical approach to solving complex management tasks. The article argues that mathematical programming is an effective and powerful tool for addressing complex management challenges. It is substantiated that the use of Lagrange multipliers and the Hessian matrix allows for working with nonlinear objective functions and constraints, ensuring accurate modeling of complex relationships between various components of the business. It is proven that mathematical programming enables the automation of decision-making processes, enhancing the timeliness and accuracy of management actions, which is critically important in the dynamic and competitive environment of e-business. Furthermore, the application of global optimization methods, numerical methods, and the handling of nonlinear constraints improves the initial model, making it more effective and flexible for various scenarios of event development. It is justified that the construction of a model for the development of tactical management mechanisms in the activities of e-business entities based on mathematical programming allows for achieving a high level of optimization in management processes, which is a key success factor in the modern business environment. It is argued that the integration of this approach with modern computing technologies and automation makes it an indispensable tool for e-business entities seeking to remain competitive and adaptable to change. Therefore, the construction of a model for the development of tactical management mechanisms in the

activities of e-business entities as a mathematical programming task has significant practical advantages. It allows for a high level of optimization of management processes, takes into account complex relationships and constraints, automates decision-making, and enhances business flexibility. This makes mathematical programming an indispensable tool for modern e-business entities seeking to succeed in a rapidly changing and competitive market.

**Keywords:** e-business, management processes, mathematical programming, business environment, process automation.

**Постановка проблеми.** У сучасному світі, де електронний бізнес (е-бізнес) набуває все більшого значення, питання оптимізації управлінських процесів стають надзвичайно актуальними. Ефективне тактичне управління в діяльності суб'єктів е-бізнесу потребує розробки інноваційних методів і підходів, які дозволяють досягти високого рівня продуктивності та конкурентоспроможності. Одним з найпотужніших інструментів для цього є математичне програмування, яке забезпечує структурований і аналітичний підхід до вирішення складних управлінських задач. Необхідність побудови моделі розвитку механізмів тактичного управління в діяльності суб'єктів е-бізнесу саме як задачі математичного програмування можна обґрунтувати декількома ключовими аспектами. По-перше, е-бізнес характеризується високою динамічністю і складністю середовища, в якому він функціонує. Це обумовлено швидкими змінами в технологіях, споживчих вподобаннях та конкурентному ландшафті. В таких умовах традиційні методи управління часто виявляються недостатньо ефективними. Математичне програмування дозволяє формалізувати управлінські задачі, звести їх до чітко визначених моделей і, використовуючи аналітичні та числові методи, знаходити оптимальні рішення. По-друге, е-бізнес потребує врахування великої кількості змінних і обмежень, які можуть мати як лінійний, так і нелінійний характер. Використання математичного програмування, зокрема методів Лагранжа та матриці Гессе, дозволяє ефективно працювати з нелінійними функціями цілі та обмеженнями. Це забезпечує можливість точного моделювання складних взаємозв'язків між різними компонентами бізнесу, такими як логістика, управління запасами, маркетинг, фінансове планування тощо. Третім важливим аспектом є можливість автоматизації та використання сучасних обчислювальних технологій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведений огляд наукової літератури показав, що дослідження в основному зосереджені на різних аспектах управління діяльністю суб'єктів електронного бізнесу. Виявлено, що більшість уваги дослідників спрямована на електронний бізнес у контексті розвитку міжнародної та регіональної торгівлі. Серед досліджуваних нами науковців можна виокремити Р. Ботенга [1], Бабенка, [2], Н. Борейко [3], Л. Гліненка, Ю. Дайновського [4], І. Лазневу, М. Долгополову [5], Т. Орехову, М. Дубеля [6], О. Синявську [7], Тай Юнг Кіма, Р. Деккера, Х. Хея, [8]. Однак наразі існує значний дефіцит наукових праць, присвячених побудові моделі розвитку тактичного управління в діяльності е-бізнесу та визначення елементів, які впливають на ефективність механізмів тактичного управління в діяльності суб'єктів е-бізнесу. Таким чином, актуальність обраної теми є надзвичайно важливою.

**Формулювання завдання дослідження.** Мета написання статті полягає у розробці та оптимізації

моделі тактичного управління для електронного бізнесу з використанням методів множників Лагранжа та матриці Гессе. Стаття також спрямована на визначення практичних рекомендацій для застосування моделі в управлінських рішеннях, що допоможе бізнесу адаптуватися до сучасних викликів та покращити тактичні операції.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У сучасному світі, де електронний бізнес (е-бізнес) набуває все більшого значення, питання оптимізації управлінських процесів стають надзвичайно актуальними. Ефективне тактичне управління в діяльності суб'єктів е-бізнесу потребує розробки інноваційних методів і підходів, які дозволяють досягти високого рівня продуктивності та конкурентоспроможності. Одним з найпотужніших інструментів для цього є математичне програмування, яке забезпечує структурований і аналітичний підхід до вирішення складних управлінських задач. Необхідність побудови моделі розвитку механізмів тактичного управління в діяльності суб'єктів е-бізнесу саме як задачі математичного програмування можна обґрунтувати декількома ключовими аспектами. По-перше, е-бізнес характеризується високою динамічністю і складністю середовища, в якому він функціонує. Це обумовлено швидкими змінами в технологіях, споживчих вподобаннях та конкурентному ландшафті. В таких умовах традиційні методи управління часто виявляються недостатньо ефективними. Математичне програмування дозволяє формалізувати управлінські задачі, звести їх до чітко визначених моделей і, використовуючи аналітичні та числові методи, знаходити оптимальні рішення. По-друге, е-бізнес потребує врахування великої кількості змінних і обмежень, які можуть мати як лінійний, так і нелінійний характер. Використання математичного програмування, зокрема методів Лагранжа та матриці Гессе, дозволяє ефективно працювати з нелінійними функціями цілі та обмеженнями. Це забезпечує можливість точного моделювання складних взаємозв'язків між різними компонентами бізнесу, такими як логістика, управління запасами, маркетинг, фінансове планування тощо. Третім важливим аспектом є можливість автоматизації та використання сучасних обчислювальних технологій. Математичне програмування дозволяє розробляти алгоритми, які можуть бути легко інтегровані в програмне забезпечення для підтримки прийняття рішень. Це забезпечує оперативність і точність управлінських дій, зменшує вплив людського фактора і підвищує загальну ефективність бізнес-процесів. Крім того, математичне програмування дозволяє здійснювати комплексний аналіз та моделювання різних сценаріїв розвитку подій. Це особливо важливо в умовах невизначеності та ризику, які часто супроводжують діяльність е-бізнесу. Завдяки можливості оцінки впливу різних факторів і моделювання альтернативних варіантів розвитку, суб'єкти е-бізнесу

можуть краще підготуватися до можливих змін і розробити більш гнучкі та адаптивні стратегії.

Отже, побудова моделі розвитку механізмів тактичного управління в діяльності суб'єктів е-бізнесу як задачі математичного програмування має суттєві практичні переваги. Вона дозволяє забезпечити високий рівень оптимізації управлінських процесів, врахувати складні взаємозв'язки і обмеження, автоматизувати прийняття рішень і підвищити гнучкість бізнесу. Це робить математичне програмування незамінним інструментом для сучасних суб'єктів е-бізнесу, які прагнуть досягти успіху в умовах швидко змінюваного і конкурентного ринку.

Існує кілька альтернативних варіантів для побудови моделі розвитку механізмів тактичного управління в діяльності е-бізнесу. Серед них лінійне програмування (LP), динамічне програмування, імітаційне моделювання, теорія ігор, мережеве планування та управління (CPM/PERT), Метод Монте-Карло, використанням множників Лагранжа і матриці Гессе.

Виконані дослідження дозволяють стверджувати, модель з використанням множників Лагранжа та матриці Гессе забезпечуватиме більш чіткі математичні рішення та аналіз, що може бути більш надійним і точним для певних типів задач. Вона може працювати з нелінійними функціями та обмеженнями, що робить її універсальною для різних сценаріїв в е-бізнесі. Хоча сам метод може вимагати певних математичних знань, його реалізація часто є прямолінійною порівняно з більш складними методами, такими як динамічне програмування або імітаційне моделювання. У табл. 1 наведено переваги використання множників Лагранжа і матриці Гессе у порівнянні з іншими підходами до моделювання.

Побудова моделі розвитку механізмів тактичного управління в діяльності суб'єктів е-бізнесу з використанням множників Лагранжа і матриці Гессе може бути досить складним завданням. Однак, я представимо можливий підхід до розв'язання цієї задачі:

1. Визначення цілей та обмежень. Визначимо мету тактичного управління (наприклад, максимізація прибутку, мінімізація витрат, оптимізація обслуговування клієнтів тощо) і встановимо обмеження (ресурси, бюджети, часові рамки, обсяги виробництва тощо).

2. Формування функції мети матиме такий вигляд:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

3. Встановлення обмежень. Обмеження можуть бути представлені у вигляді рівнянь або нерівностей:

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0 \text{ або } h_j(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0. \quad (2)$$

4. Використання множників Лагранжа. Сформулюйте функцію Лагранжа ( $L$ ) наступним чином:

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) =$$

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (3)$$

5. Пошук стаціонарних точок. Знайдемо часткові похідні функції Лагранжа за всіма змінними та множниками Лагранжа і прирівняємо їх до нуля:

$$\frac{\partial L}{\partial x_i} = 0, \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda_i} = 0. \quad (4)$$

6. Виконання аналізу на екстремуми. Використаємо матрицю Гессе для аналізу знайдених стаціонарних

точок. Матриця Гессе складається з других похідних функції Лагранжа:

$$H = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 L}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 L}{\partial x_1 \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 L}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 L}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 L}{\partial x_2^2} & \dots & \frac{\partial^2 L}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 L}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 L}{\partial x_n \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 L}{\partial x_n^2} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

7. Визначення умов оптимальності. Виконання аналізу знаків власних значень матриці Гессе, щоб визначити, чи є стаціонарні точки мінімумами, максимумами чи сідловими точками. Матриця Гессе складається з других похідних функції і забезпечує інформацію про кривизну функції в точці. Для аналізу, якщо всі власні значення матриці Гессе є додатними, це означає, що функція має позитивну кривизну в усіх напрямках, і стаціонарна точка є локальним мінімумом. Якщо всі власні значення є від'ємними, то функція має негативну кривизну в усіх напрямках, і стаціонарна точка є локальним максимумом. Якщо ж власні значення мають різні знаки, то це вказує на те, що в деяких напрямках функція має позитивну кривизну, а в інших – негативну. У такому випадку стаціонарна точка є сідловою точкою, що означає, що вона є мінімумом у деяких напрямках і максимумом у інших. Таким чином, аналіз знаків власних значень матриці Гессе дає можливість точно класифікувати природу стаціонарних точок і прийняти відповідні рішення в процесі оптимізації.

Попри низку переваг побудованої моделі на основі застосування множників Лагранжа і матриці Гессе має певні недоліки, які можуть впливати на її ефективність і застосовність у різних ситуаціях. Розглянемо ці недоліки та можливі шляхи удосконалення моделі (табл. 2).

Перейдемо до практичної реалізації початкової моделі:

1. Використання методів глобальної оптимізації. Генетичні алгоритми (GA). Генетичні алгоритми оптимізують цільову функцію  $f(x)$  шляхом симуляції процесу природного відбору:

– набір рішень:

$$P(t) = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}; \quad (6)$$

– вибір (вибір вихідних рішень з набору рішень на основі функції придатності  $f(x)$ ).

– кросовер (створення нових рішень шляхом комбінації вихідних рішень);

– мутація (випадкове змінення деяких частин рішень для підтримки різноманітності).

Побудова алгоритму:

– ініціалізація (створення початкового набору рішень);

– оцінка (обчислення значень функції  $f(x)$  для кожного нового рішення в наборі рішень);

– вибір (вибір найкращих рішень для створення нового набору рішень);

– кросовер і мутація (створення нових рішень);

– зупинка (перевірка умов зупинки (наприклад, кількість ітерацій)).

2. Інтеграція з іншими методами. Комбінація Лагранжа і динамічного програмування. Визначення функції цілі і встановлення обмежень:

Таблиця 1

**Переваги використання множників Лагранжа і матриці Гессе у порівнянні з іншими підходами до побудови моделі розвитку механізмів тактичного управління в діяльності е-бізнесу**

Альтернативні підходи	Характеристики	Переваги
1. Лінійне програмування (LP)	<p><i>Переваги побудованої моделі:</i> Гнучкість у формулюванні цільових функцій – модель з множниками Лагранжа та матрицею Гессе може працювати з нелінійними функціями цілі, що робить її придатною для складніших реальних ситуацій, тоді як LP обмежується лінійними функціями. <i>Обробка нелінійних обмежень:</i> Побудована модель може ефективно обробляти нелінійні обмеження, що є складним завданням для LP.</p>	<p><i>Гнучкість у формулюванні цільових функцій:</i> модель з множниками Лагранжа та матрицею Гессе може працювати з нелінійними функціями цілі, що робить її придатною для складніших реальних ситуацій, тоді як LP обмежується лінійними функціями. <i>Обробка нелінійних обмежень:</i> побудована модель може ефективно обробляти нелінійні обмеження, що є складним завданням для LP.</p>
2. Динамічне програмування	<p><i>Опис:</i> Динамічне програмування використовується для розв'язання задач оптимізації, де рішення приймаються поетапно, і кожне рішення впливає на наступні рішення. <i>Формулювання:</i> Функція цілі – оптимізація значення шляхом розбиття задачі на підзадачі. Обмеження – залежність станів та рішень в кожному етапі.</p>	<p><i>Стаціонарність задачі:</i> для задач, де немає необхідності в поетапному прийнятті рішень і стан задачі не змінюється з часом, використання Лагранжа є більш природним і простим підходом. <i>Комплексність:</i> динамічне програмування може бути складним для реалізації та розуміння, особливо для великих задач. Модель Лагранжа є більш прямолінійною в цьому плані.</p>
3. Імітаційне моделювання	<p><i>Опис:</i> Імітаційне моделювання використовується для оцінки поведінки складних систем шляхом моделювання їх динаміки. <i>Формулювання:</i> Функція цілі – оптимізація шляхом імітації різних сценаріїв. Обмеження – моделювання реальних процесів та випадкових подій.</p>	<p><i>Аналітична чіткість:</i> модель Лагранжа забезпечує аналітичне рішення, що дозволяє точно визначити оптимальні значення змінних, тоді як імітаційне моделювання базується на випадкових пробах і дає оцінки. <i>Ресурси:</i> побудована модель вимагає менше обчислювальних ресурсів у порівнянні з імітаційним моделюванням, яке може бути дуже ресурсозатратним.</p>
4. Теорія ігор	<p><i>Опис:</i> Теорія ігор використовується для моделювання стратегічної взаємодії між кількома гравцями, де результат для кожного гравця залежить від рішень інших гравців. <i>Формулювання:</i> Функція цілі – оптимізація виграшу кожного гравця з урахуванням стратегій інших гравців. Обмеження – стратегії та виграші визначаються взаємодією гравців.</p>	<p><i>Індивідуальна оптимізація:</i> модель Лагранжа підходить для задач індивідуальної оптимізації без необхідності враховувати взаємодію з іншими гравцями, що є основним аспектом теорії ігор. <i>Простота формулювання:</i> формулювання задачі та пошук рішень у моделі Лагранжа можуть бути простішими та менш вимогливими до даних порівняно з теорією ігор.</p>
5. Мережеве планування та управління (CPM/PERT)	<p><i>Опис:</i> Мережеве планування та управління використовуються для управління проектами, де необхідно оптимізувати строки виконання робіт та ресурси. <i>Формулювання:</i> Функція цілі – оптимізація шляхом визначення критичного шляху або ймовірностей виконання завдань в певні терміни. Обмеження – взаємозв'язки та послідовності завдань.</p>	<p><i>Оптимізація без часових залежностей:</i> модель Лагранжа краще підходить для задач, де немає необхідності враховувати послідовність виконання завдань і часові залежності, як у CPM/PERT. <i>Нелінійні взаємозв'язки:</i> вона може обробляти нелінійні взаємозв'язки між змінними, що важко реалізувати в CPM/PERT.</p>
6. Метод Монте-Карло	<p><i>Опис:</i> Метод Монте-Карло використовується для оцінки ризиків та невизначеностей шляхом імітації випадкових подій. <i>Формулювання:</i> Функція цілі – оцінка ймовірностей різних результатів за допомогою багаторазових випадкових проб. Обмеження – випадковість та розподіл ймовірностей.</p>	<p><i>Точність:</i> модель Лагранжа дає точне аналітичне рішення, тоді як метод Монте-Карло дає лише статистичні оцінки результатів. <i>Менші витрати часу:</i> аналітичні методи зазвичай потребують менше часу на вирішення порівняно з методами Монте-Карло, які можуть потребувати багаторазових проб для отримання точного результату.</p>

Джерело: побудовано автором

Недоліки побудованої моделі і шляхи їхнього усунення

Недоліки	Шляхи усунення
<ul style="list-style-type: none"> <li>Обмеження на функцію цілі та обмеження. Модель передбачає наявність гладких (диференційованих) функцій цілі та обмежень. Це може бути проблемою, якщо функції мають розриви або негладкі області;</li> <li>локальні екстремуми. Метод Лагранжа може знайти локальні екстремуми, а не глобальні, що може бути недостатньо для оптимальних рішень у складних задачах;</li> <li>вимоги до обчислювальних ресурсів. Обчислення множників Лагранжа та матриці Гессе може бути ресурсозатратним для задач з великою кількістю змінних і обмежень;</li> <li>труднощі з обробкою обмежень типу нерівностей. Обробка нерівностей може вимагати додаткових умов та модифікацій, що ускладнює модель;</li> <li>складність для не експертів. Метод може бути складним для розуміння і застосування людьми, які не мають глибоких знань в математичному аналізі та оптимізації</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Використання методів глобальної оптимізації. Для уникнення проблеми локальних екстремумів можна використовувати методи глобальної оптимізації, такі як генетичні алгоритми, методи рою частинок або метод імітації відпалу;</li> <li>інтеграція з іншими методами. Інтеграція методу Лагранжа з іншими методами, такими як лінійне або динамічне програмування, може дозволити обробляти більш широкий клас задач та покращити результати;</li> <li>адаптація для негладких функцій. Використання підходів, які дозволяють працювати з негладкими функціями, таких як методи субградієнтів або методи внутрішньої точки;</li> <li>використання числових методів. Числові методи, такі як метод Ньютона або методи оптимізації без похідних, можуть допомогти ефективніше розв'язувати задачі великої розмірності;</li> <li>автоматизація та програмне забезпечення. Розробка програмного забезпечення, яке автоматизує процес побудови та вирішення задач оптимізації з використанням методу Лагранжа, зробить його більш доступним для не експертів;</li> <li>обробка нерівностей. Використання штрафних функцій або методів бар'єрів для ефективного оброблення обмежень типу нерівностей</li> </ul>

Джерело: : побудовано автором

$$\left. \begin{aligned} f(x) &= \sum_{i=0}^T c_i x_i; \\ g_i(x_i) &\leq 0, \forall t. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Інтеграцію через використання Лагранжа на кожному кроці моделювання можна виконати за такою формулою:

$$L(x_t, \lambda_t) = f_t(x_t) + \sum_{i=1}^m \lambda_{t,i} g_{t,i}(x_t). \quad (8)$$

У даному випадку, розв'язком для кожного кроку буде:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial x_t} &= 0, \forall t; \\ x_{t+1} &= \operatorname{argmax} L(x_t, \lambda_t). \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

3. Адаптацію для негладких функцій виконаємо методом субградієнтів:

- функція цілі:  $f(x)$  (необов'язково диференційована);
- субградієнт:  $g \in \partial f(x)$ ;
- ітеративний алгоритм:  $x_{k+1} = x_k - a_k g_k$ , де  $a_k$  – крокова довжина.

4. Використання числових методів, зокрема методу Ньютона:

- функція цілі:  $f(x)$ ;
- Гессе:  $H(f(x)) = \frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j}$ ;
- ітеративний алгоритм:  $x_{k+1} = x_k - H(f(x_k))^{-1} \nabla f(x_k)$ .

5. Автоматизація та програмне забезпечення:

- ініціалізація: введення функцій  $f(x)$  та обмежень  $g_i(x)$ ;
- обчислення функції Лагранжа:

$$L(x, \lambda) = f(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(x);$$

- введення часткових похідних:  $\frac{\partial L}{\partial x_i} = 0, \frac{\partial L}{\partial \lambda_i} = 0$ ;
- автоматизований розв'язок: обчислення стаціонарних точок і аналіз матриці Гессе.

6. Обробка нерівностей. Штрафні функції (штрафні функції використовуються для обробки нерівностей у задачах оптимізації, коли необхідно враховувати обмеження. Вони дозволяють перетворити задачу з обмеженнями на задачу без обмежень шляхом додавання штрафу до функції цілі за кожне порушення обмежень. Якщо значення змінних виходить за межі допустимих значень, штрафна функція збільшує значення цільової функції, що робить такі рішення менш привабливими. Це стимулює пошук рішень, які задовольняють усі обмеження. Наприклад, для обмеження  $g(x) \leq 0$ , штрафна функція може виглядати як  $\Omega(x) = f(x) + r \cdot \max(0, g(x))^2$ , де  $r$  – параметр штрафу. Таким чином, якщо  $g(x)$  більше нуля, до функції цілі додається штраф, пропорційний квадрату порушення, що стимулює алгоритм зменшувати  $g(x)$  до допустимого рівня):

- функція цілі:  $f(x)$ ;
- обмеження:  $g_i(x) \leq 0$ ;
- штрафна функція 
$$\Omega(x, r) = f(x) + r \sum_{i=1}^m \max(0, g_i(x))^2,$$

де  $r$  – параметр штрафу;

- ітеративний алгоритм: початкове значення  $r$ ; мінімізація  $\Omega(x, r_k)$ ; збільшення  $r_k : r_{k+1} = \beta r_k$ , де  $\beta > 1$ .

Ці удосконалення дозволяють розширити можливості моделі з використанням множників Лагранжа і

матриці Гессе, покращуючи її ефективність і застосовність для різних типів задач в е-бізнесі.

Об'єднання усіх удосконалень у кінцевій моделі виглядає так:

$$\max_x f(x); g_i(x) \leq 0, i = 1, \dots, m;$$

$$h_j(x) = 0, j = 1, \dots, p;$$

$$L(x, \lambda, \nu) = f(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(x) + \sum_{j=1}^p \nu_j h_j(x).$$

Числовий алгоритм:  $x_{k+1} = x_k - H(f(x_k))^{-1} \nabla f(x_k)$ .

Глобальний пошук: генетичні алгоритми

Обробка нерівностей: штрафна функція:

$$\Omega(x, r) = f(x) + r \sum_{i=1}^m \max(0, g_i(x))^2, r_{k+1} = \beta r_k, \beta > 1.$$

**Висновки.** Автоматизація обчислень та аналізу (автоматизація обчислень та аналізу полягає у використанні спеціалізованого програмного забезпечення та алгоритмів для автоматичного виконання складних обчислень і аналізу даних. Це включає автоматизоване виконання оптимізаційних алгоритмів, таких як

генетичні алгоритми або методи Монте-Карло, без необхідності ручного втручання. Програмне забезпечення також може автоматично обчислювати похідні, формувати матрицю Гессе, аналізувати результати та генерувати звіти. Це значно підвищує швидкість і точність аналізу, зменшує ризик людських помилок та дозволяє менеджерам швидше приймати обґрунтовані рішення. Автоматизація обчислень є особливо важливою в складних і динамічних умовах е-бізнесу, де оперативність і точність є критично важливими).

Отже, математичне програмування є ефективним інструментом для оптимізації тактичного управління в е-бізнесі завдяки здатності працювати з нелінійними функціями та обмеженнями. Обґрунтовано, що використання множників Лагранжа і матриці Гессе дозволяє здійснювати точне моделювання та автоматизацію процесів прийняття рішень. Удосконалення цієї моделі методами глобальної оптимізації та числовими методами підвищує її ефективність і гнучкість, роблячи її критично важливою для тактичного успіху в динамічному бізнес-середовищі.

### Список використаних джерел:

1. Richard Boateng. Resources, Electronic-Commerce Capabilities and Electronic-Commerce Benefits: Conceptualizing the Links. *Information Technology for Development*. 2016. № 22 (2). С. 242–264.
2. Бабенко, В.А. та Синявська, О.О. Аналіз сучасного стану розвитку ринку електронної комерції в Україні. Звіт про науково-дослідну роботу сучасні інформаційні технології в соціально-економічних системах. Сумський державний університет. 2019. С. 48–60.
3. Борецько, Н.М. Специфіка електронної комерції у вітчизняному сегменті мережі Інтернет. *Бізнес-навігатор*. 2020. № 2 (58). С. 87–93. DOI: <https://doi.org/10.32847/business-navigator.58-16>
4. Hlinenko, L.K. & Daynovskyy, Y.A. State-of art and prospects of development of Ukrainian electronic commerce. *Marketing and Management of Innovations*. 2018. № 1. С. 83–102.
5. Лазнева, І.О. та Долгополова, М.В. Розвиток електронної торгівлі у структурі інформаційної економіки України. *Інфраструктура ринку*. 2019. № 31. С. 31–37.
6. Орехова, Т.В. та Дубель, М.В. Вплив процесу діджиталізації на розвиток електронної комерції в Україні. *Економіка і організація управління*. 2018. № 4 (32). С. 17–25.
7. Синявська, О.О. Електронна торгівля в Україні: тенденції та перспективи розвитку. *Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. Серія: Міжнародні відносини. Економіка. Країнознавство. Туризм*. 2019. № 9. С. 126–132.
8. Thai Young Kim, Rommert Dekker & Christiaan Heij. CrossBorder ElectronicCommerce: Distance Effects and Express Delivery in European Union Markets. *International Journal of Electronic Commerce*. 2017. № 21(2). С. 184–218.

### References:

1. Boateng, R. (2016) Resources, Electronic-Commerce Capabilities and Electronic-Commerce Benefits: Conceptualizing the Links. *Information Technology for Development*, vol. 22(2), pp. 242–264.
2. Babenko, V. A. & Sinyavska, O. O. (2019) Analysis of the current state of development of the e-commerce market in Ukraine. Report on research work of modern information technologies in socio-economic systems, Sumy State University, pp. 48–60.
3. Boreyko, N. M. (2020) Specifics of e-commerce in the domestic segment of the Internet. *Business Navigator*, vol. 2 (58), pp. 87–93. DOI: <https://doi.org/10.32847/business-navigator.58-16>
4. Hlinenko, L. K. & Daynovskyy, Y. A. (2018) State-of art and prospects of development of Ukrainian electronic commerce. *Marketing and Management of Innovations*, vol. 1, pp. 83–102.
5. Lazneva, I. O. & Dolgoplova, M. V. (2019) Development of e-commerce in the structure of information economy of Ukraine. *Market infrastructure*, vol. 31, pp. 31–37.
6. Orekhova, T. V. & Dubel, M. V. (2018) The impact of the digitalization process on the development of e-commerce in Ukraine. *Economics and Organization of Management*, vol. 4 (32), pp. 17–25.
7. Sinyavska, O. O. (2019) E-commerce in Ukraine: trends and prospects. *Bulletin of KhNU named after VN Karazina. Series: International Relations. Economy. Local lore. Tourism*, vol. 9, pp. 126–132.
8. Thai Young Kim, Rommert Dekker & Christiaan Heij (2017) Cross Border Electronic Commerce: Distance Effects and Express Delivery in European Union Markets. *International Journal of Electronic Commerce*, vol. 21 (2), pp. 184–218.