

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**М. В. Ольхова**

**ОПТИМІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЇ**

*(для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної і заочної форм навчання  
спеціальності 073 – Менеджмент освітньої програми «Логістика»,  
спеціальності 275 – Транспортні технології (за видами)  
освітньо-наукової програми «Розумний транспорт і логістика для міст»,  
освітньої програми «Організація перевезень і управління на транспорті»)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2021**

**Ольхова М. В.** Оптимізація логістичних процесів: конспект лекцій для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальності 073 – Менеджмент освітньої програми «Логістика», спеціальності 275 – Транспортні технології (за видами)), освітньо-наукової програми «Розумний транспорт і логістика для міст», освітньої програми «Організація перевезень і управління на транспорті» / М. В. Ольхова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 75 с.

Автор

канд. техн. наук М. В. Ольхова

Рецензент

**О. О. Лобашов**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортних систем і логістики (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

*Рекомендовано кафедрою транспортних систем і логістики,  
протокол № 1 від 26.08.2020.*

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| Вступ.....   | 4  |
| Тема 1 Основні підходи щодо вирішення завдань оптимізації .....  | 5  |
| 1.1 Загальна класифікація завдань оптимізації.....   | 5  |
| 1.2 Поняття оптимального розв’язання завдань оптимізації .....   | 6  |
| 1.3 Проблема існування та єдиності розв’язання завдань оптимізації.....  | 7  |
| 1.4 Поняття про методи й алгоритми вирішення завдань оптимізації .....   | 9  |
| 1.5 Процес визначення і вирішення завдань оптимізації .....  | 14 |
| 1.6 Математична модель завдань оптимізації.....  | 22 |
| Тема 2 Оптимізація процесів у логістичній системі .....  | 27 |
| 2.1 Оптимізаційна логістична задача .....  | 27 |
| 2.2 Критерії оптимізації логістичних процесів.....   | 30 |
| Тема 3 Оптимізація процесів на виробництві та складі.....  | 39 |
| 3.1 Вибір оптимальної технології виробництва.....  | 39 |
| 3.2. Визначення оптимальної виробничої партії .....  | 43 |
| 3.3 Оптимізація процесів на складі .....   | 49 |
| Тема 4 Оптимізація процесів на транспорті .....  | 55 |
| 4.1 Основні підходи до формування маршрутів доставки .....   | 55 |
| 4.2. Методи та критерії підвищення ефективності<br>у логістиці останньої милі .....                                | 56 |
| Тема 5 Аналіз показників ефективності логістичних процесів .....   | 64 |
| Тема 6 Економічна, соціальна та екологічна ефективності<br>під час оптимізації процесів у логістичній системі..... | 69 |
| Список використаних джерел.....  | 73 |

## ВСТУП

Якщо говорити про управління, то потрібно усвідомлювати дуже просте за своєю суттю завдання: необхідно сформулювати такий цілеспрямований вплив на об'єкт управління, щоб перевести його в певний «бажаний» стан. Зрозуміло, щоб до цієї простої схеми належать багато ситуацій, які пов'язані з повсякденним життям і виникають всередині технічних, економічних, програмних, екосистем. Зазвичай мова йде про деяке, тобто «оптимальне», управління, що й визначає необхідність створення теорії управління, яка базується на принципах оптимальності. Крім забезпечення оптимальності керівного впливу, алгоритмізація і комп'ютерна реалізація більшості етапів процесу управління зводяться до вирішення цілого ланцюга різних оптимізаційних завдань [1].

У логістичній системі основними ланцюгами є підсистема постачання, виробництва, споживання та транспортування.

На кожній ланці логістичної системи можна оптимізувати процеси, що забезпечать досягнення ефективного функціонування як окремих ланцюгів (учасників), так і системи загалом.

*Метою* дисципліни «Оптимізація логістичних процесів» є засвоєння теоретичних і практичних основ підвищення ефективності логістичної системи та окремих її учасників на підставі методів оптимізації логістичних процесів.

*Основними завданнями* вивчення дисципліни «Оптимізація логістичних процесів» є вивчення механізму оптимізації логістичних процесів, інструментів підвищення ефективності функціонування логістичної системи та окремих її учасників. Набуті під час вивчення дисципліни теоретичні і практичні відомості дозволять сформулювати необхідні навички і компетенції щодо оптимізації логістичних процесів та створити логічну основу для подальшої підготовки висококваліфікованих фахівців із логістики.

# ТЕМА 1 ОСНОВНІ ПІДХОДИ ЩОДО ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ОПТИМІЗАЦІЇ

## 1.1 Загальна класифікація завдань оптимізації

З теорією оптимізації тісно пов'язані математичне програмування, теорія дослідження операцій, теорія прийняття рішень, динамічне програмування.

Оптимізація (optimisation) – процес надання будь-чому найвигідніших характеристик, співвідношень (наприклад, оптимізація виробничих процесів і виробництва). Оптимальні розв'язання – розв'язання, які за тією чи іншою ознакою є переважаючими щодо інших [2]. Завдання оптимізації сформульовано, якщо задані [3]:

- критерій оптимальності (економічний – прибуток; технологічні вимоги – вихід продукту, вміст домішок у ньому тощо);
- параметри, що варіюються (наприклад, обсяг виробництва, попит, витрати), зміна яких дозволяє впливати на ефективність процесу;
- математична модель процесу;
- обмеження, пов'язані з економічними та конструктивними умовами, можливостями виробництва, вимогами споживачів тощо.

Вичерпну класифікацію завдань оптимізації, яка враховувала б усі можливі модифікації типових завдань і нюанси математичних властивостей їх базових компонентів, а також задовольняла б математиків і системних аналітиків, навряд чи можна створити. Водночас розглянутих властивостей основних компонентів виявляється цілком достатньо для загальної класифікації завдання оптимізації, що використовується для аналізу і вирішення більшості завдань, що використовуються на практиці [4].

Для зручності загальну класифікацію завдань оптимізації подано в табличному вигляді (табл. 1.1). Варто зауважити, що спроба розглянути змішані варіанти властивостей основних компонентів математичної моделі завдань оптимізації призводить не тільки до ускладнення загальної класифікації, а й ускладнення методів аналізу і вирішення відповідних завдань. Такі змішані завдання оптимізації є предметом спеціальних теоретичних досліджень і тому не включені в цю класифікацію.

Загальна класифікація завдань оптимізації, що базується на розгляді характерних властивостей основних компонентів математичної постановки, слугує концептуальною основою для адекватного вибору методу вирішення конкретних завдань того чи іншого класу. При вирішенні завдань оптимізації необхідно знайти оптимальне вирішення з усіх допустимих.

Таблиця 1.1 – Загальна класифікація завдань оптимізації [4]

| Клас завдань оптимізації                                | Характеристика змінних | Характеристика обмежень | Характеристика цільової функції |
|---|------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Лінійне програмування                                   | Безперервні            | Лінійні                 | Одна, лінійна                   |
| Нелінійне програмування                                 | Безперервні            | Нелінійні або лінійні   | Одна                            |
| Цілочисельне програмування                              | Цілочисельні           | Лінійні                 | Нелінійна                       |
| Цілочисельне нелінійне програмування                    | Цілочисельні           | Нелінійні або лінійні   | Одна, лінійна                   |
| Булеве програмування                                    | Булеві                 | Лінійні                 | Одна, нелінійна                 |
| Булеве нелінійне програмування                          | Булеві                 | Нелінійні або лінійні   | Одна, лінійна                   |
| Багатокритеріальне лінійне програмування                | Безперервні            | Лінійні                 | Одна, нелінійна                 |
| Багатокритеріальне нелінійне програмування              | Безперервні            | Нелінійні або лінійні   | Кілька, лінійні                 |
| Багатокритеріальне Цілочисельне програмування           | Цілочисельні           | Лінійні                 | Кілька, лінійні                 |
| Багатокритеріальне Цілочисельне нелінійне програмування | Цілочисельні           | Нелінійні або лінійні   | Кілька, нелінійні               |
| Багатокритеріальне булеве програмування                 | Булеві                 | Лінійні                 | Кілька, лінійні                 |
| Багатокритеріальне булеве нелінійне програмування       | Булеві                 | Нелінійні або лінійні   | Кілька, нелінійні               |

## 1.2 Поняття оптимального розв'язання завдань оптимізації

Загалом під оптимальним розв'язанням однокритеріальної задачі оптимізації в математичній постановці розуміють такий набір значень змінних:  $x^*, y^*, z^* \in \Delta_\beta$ , які забезпечують максимум або мінімум цільової функції  $f(x, y, z)$  серед усіх допустимих рішень безлічі  $\Delta_\beta$ . Інакше кажучи, характерною ознакою оптимального розв'язання завдань оптимізації є виконання такої умови:

$$f(x^*, y^*, z^*) \geq f(x, y, z), \quad \forall x, y, z \in \Delta_\beta; \quad (1.1)$$

$$f(x^*, y^*, z^*) \leq f(x, y, z), \quad \forall x, y, z \in \Delta_\beta. \quad (1.2)$$

При цьому умова (1.1) має виконуватися для завдань максимізації, а

умова (1.2) – для завдань мінімізації. Говорячи про розв’язання тієї чи іншої задачі оптимізації, завжди мають на увазі знаходження її оптимального розв’язку, який відповідає поняттю найоптимальнішого розв’язку в змістовій постановці.

Узагальнюючи завдання максимізації і мінімізації, зазвичай говорять про віднайдення екстремуму завдань оптимізації, а саму теорію вирішення завдань оптимізації називають *теорією вирішення екстремальних завдань*. Не вдаючись у семантичні деталі й нюанси цих термінів, будемо вважати поняття оптимуму і екстремуму синонімами, що ніяк не відіб’ється на якості й коректності вирішення практичних завдань.

Що стосується інших синонімів, то здебільшого задачі цілочислового програмування називають завданнями цілочислової або дискретної оптимізації, нелінійного програмування – нелінійної оптимізації і навпаки. Зазвичай, якщо не виникає непорозуміння, ці поняття також вважаються взаємозамінними.

### 1.3 Проблема існування та єдиності розв’язання завдань оптимізації

У зв’язку з аналізом математичної моделі типових завдань оптимізації в контексті знаходження оптимального розв’язку (або просто розв’язання) постає два теоретичних питання: існування розв’язку і його єдиності. Виокремимо їхні основні особливості.

Перша з проблем – *проблема існування* оптимального розв’язку – розглядається для типових завдань оптимізації в конкретній математичній постановці. Відомі два підходи до її вирішення – формальний і неформальний.

*Формальний підхід* передбачає використання математичних теорем існування для тої чи іншої безлічі допустимих альтернатив і того чи іншого виду цільової функції задачі оптимізації. Головний висновок відповідних теорем існування – якщо безліч допустимих альтернатив замкнуто, а цільова функція неперервна на цій множині, то розв’язок відповідної задачі оптимізації існує.

*Неформальний підхід* до розв’язання проблеми існування передбачає встановлення фізичної або логічної здійсненності деяких із можливих рішень. Йдеться про те, що в контексті змістової постановки задачі оптимізації виконується евристичний аналіз допустимості деяких рішень. Якщо подібний аналіз закінчується успішно, то можна приступати до пошуку розв’язку задачі. В іншому разі може виникнути потреба від регулювання й доопрацювання математичної моделі. Неформального аналізу існування розв’язання для

типової задачі оптимізації може виявитися цілком достатньо для її коректного розв'язання.

Друга проблема – *проблема єдиності* оптимального розв'язку – розглядається в контексті виду цільових функцій типових завдань оптимізації. Застосовують також два підходи щодо її розв'язання – формальний та неформальний.

*Формальний підхід* передбачає використання математичних теорем, які гарантують єдність розв'язку для опуклих цільових функцій опуклих множин допустимих альтернатив. Головний висновок відповідних теорем – якщо безліч допустимих альтернатив опукла й цільова функція на цій множині опукла (або увігнута), то існує єдиний розв'язок відповідної задачі оптимізації.

Такі умови характерні тільки для завдань з безперервними змінними, вони надто жорсткі і не виконуються для цілих класів типових завдань оптимізації. Зокрема, подібні теореми безпосередньо не застосовують щодо завдань цілочислового й булевого програмування. Складність останніх завдань зростає відповідно до багатоекстремальності відповідних цільових функцій. Отже, варто визнати, що формальний спосіб установлення єдиності оптимального розв'язку має дуже обмежену сферу застосування.

*Неформальний підхід* щодо вирішення проблеми єдиності передбачає практичне віднайдення декількох допустимих рішень і вибору найкращого з них. Для цього використовується один або декілька способів чи методів пошуку розв'язку. Якщо віднайдені розв'язки співпадають, то цей факт буде свідчити про єдність розв'язку. В іншому разі розв'язок може виявитися неєдиним. Подібного неформального аналізу єдиності отриманого розв'язку для типової задачі оптимізації також може виявитися цілком достатньо для її коректного розв'язання. При цьому на характер одержуваного розв'язку впливає не тільки конкретне завдання оптимізації, а й застосовуваний для її розв'язання метод або алгоритм.

Таким чином, потрібно розрізняти два принципово різні підходи щодо вирішення завдань оптимізації:

- *точне розв'язання* задачі оптимізації, яке відповідає знаходженню єдиного розв'язку або немає оптимального розв'язку  $x^*, y^*, z^* \in \Delta_\beta$ , що гарантує виконання формальних умов (1.1) або (1.2);

- *наближений розв'язок* задачі оптимізації, що відповідає знаходженню деякого допустимого розв'язку  $x^*, y^*, z^* \in \Delta_\beta$ , що не гарантує виконання формальних умов (1.1) або (1.2).

Говорячи про наближене розв'язання завдань оптимізації, зазвичай умови (1.1 та 1.2) замінюють на слабший аналог:



$$f(x^*, y^*, z^*) \geq f(x, y, z), \quad \forall x, y, z \in \Theta_\varepsilon; \quad (1.3)$$

$$f(x^*, y^*, z^*) \leq f(x, y, z), \quad \forall x, y, z \in \Theta_\varepsilon, \quad (1.4)$$

де через  $\Theta_\varepsilon$  позначена деяка межа розв'язку  $x^*, y^*, z^* \in \Delta_\beta$  на безлічі допустимих альтернатив. В цьому разі розв'язок задачі оптимізації  $x^*, y^*, z^* \in \Delta_\beta$ , який задовольняє тільки умову (1.3) – для завдання максимізації або (1.4) – для завдання мінімізації, називають *локальнооптимальним розв'язком*. В цьому контексті розв'язок, який задовольняє умовам (1.1) і (1.2), називають також *глобальнооптимальним розв'язком*.

Безсумнівний той факт, що найефективніший підхід до вирішення завдань оптимізації пов'язаний із перебуванням *точного глобальнооптимального розв'язання*. Однак на цьому шляху виникають як теоретичні, так і практичні труднощі. Теоретичні проблеми пов'язані з формальним вирішенням проблеми існування і єдиності для окремих класів завдань оптимізації, а також розробкою і наявністю обчислювальних алгоритмів для віднайдення такого розв'язання.

У разі теоретичної чи практичної неможливості знаходження точного розв'язку задачі оптимізації варто спробувати знайти якийсь наближений розв'язок, що забезпечує значення цільової функції, наближене до глобальнооптимального. Якщо і це неможливо з тих чи інших причин, то залишається варіант знаходження декількох локально-оптимальних рішень і вибору найкращого з них, тобто того, що відповідає максимальному або мінімальному значенню цільової функції.

Принаймні обмежуються єдиним знайденим локальнооптимальним розв'язком, приймаючи його як остаточний результат. До того ж важливо розуміти, що віднайдений розв'язок може значно відрізнятися від точного глобально-оптимального розв'язку.

## 1.4 Поняття про методи й алгоритми вирішення завдань оптимізації

Історія математики та теорії розв'язання задачі оптимізації тісно пов'язана з розробленням тих чи інших алгоритмів вирішення актуальних для своєї епохи завдань. Саме поняття *алгоритму* – одне з головних у обчислювальній і конструктивній математиці. Загалом, під алгоритмом розуміють формальний припис виконати точно певну послідовність дій, спрямованих на досягнення заданої мети або вирішення визначеного завдання.

Прийнято вважати, що сам термін «алгоритм», а точніше його більш

ранній варіант «алгорифм», пов'язаний з іменем математика Аль-Хорезмі, який у 825 р. описав правила виконання арифметичних дій в десятковій системі числення. У наш час поняття алгоритму і пов'язаних із ним проблем обчислюваності є предметом спеціальної теорії – теорії алгоритмів. З часом зміст цієї теорії став настільки абстрактним, що усвідомлення відповідних результатів і їх застосування в прикладних задачах стало доступним тільки вузькому колу професійних математиків. З цієї причини в завданнях оптимізації використовують тільки загальні висновки цієї теорії.

Під час розгляду алгоритмів виокремлюють три основні властивості, які повинна задовольняти та чи інша послідовність дій, щоб бути алгоритмом:

- детермінованість – характеризує точну фіксацію наступної дії після виконання попередньої. Інакше кажучи, під час розгляду алгоритмів необхідно виключити випадки невизначеності продовження процесу виконуваних дій;
- масовість – характеризує застосування алгоритму для вирішення завдань цілого класу, у рамках якого він повинен уможливити розв'язання будь-якої конкретної задачі у з заданими значеннями вихідних даних;
- результативність – характеризує завершення процесу виконання дій алгоритму за кінцеве число кроків або кінцевий інтервал часу. У результаті завершення процесу виконання дій алгоритм або повинен вирішити визначене завдання, або повідомити про те, що з тієї чи іншої причини процес вирішення не може бути продовжений.

При вирішенні завдань оптимізації обраний або розроблений алгоритм повинен допомагати вирішити те чи інше конкретне типове завдання у оптимізації за кінцевий час або повідомити користувачеві про неможливість її вирішення. Загалом для опису алгоритмів використовують природну мову з елементами математичної символіки, який може доповнюватися структурною схемою алгоритму в деякій графічній нотації.

Для графічного представлення алгоритмів розв'язання завдань оптимізації зручним виявляється уніфікована мова моделювання – мова UML (Unified Modeling Language). Володіючи інтуїтивно зрозумілими й ефективними виразними засобами візуалізації обчислювальних процесів, мовою UML можна наочно представити алгоритми у формі діаграм діяльності.

Окремі дії алгоритму при його описі називають кроками алгоритму, а їх сукупність, яка виконується в рамках деякого циклу, – ітерацією алгоритму.

У контексті завдань оптимізації розглядають більш загальне і менш формальне поняття методу розв'язання задач оптимізації, під яким будемо розуміти деякий узагальнений опис обчислювального процесу у формі рекомендацій щодо виконання деяких дій, також спрямованих на досягнення заданої мети або вирішення визначеного завдання.

Для вирішення типового завдання оптимізації можна застосовувати різні методи й алгоритми. Найвідоміші серед них – *метод динамічного програмування* і *метод гілок і меж*. Їх, зі свого боку, можна реалізувати в різних варіантах, що дозволяє розрізняти відповідні алгоритми, орієнтовані, наприклад, на вирішення завдань цілочислового й комбінаторного програмування.

Водночас для спеціальних класів завдань, наприклад, для завдань оптимізації на графах, запропоновані спеціальні алгоритми, зокрема алгоритми Дейкстри або Краскала, які мають дуже вузьку сферу застосування. У цьому разі можна взагалі не визначити загального методу, від якого успадковує властивості розглянутий алгоритм. Зазначені взаємозв'язки методу й алгоритму вирішення завдань оптимізації можна зобразити графічно (рис. 1.1).

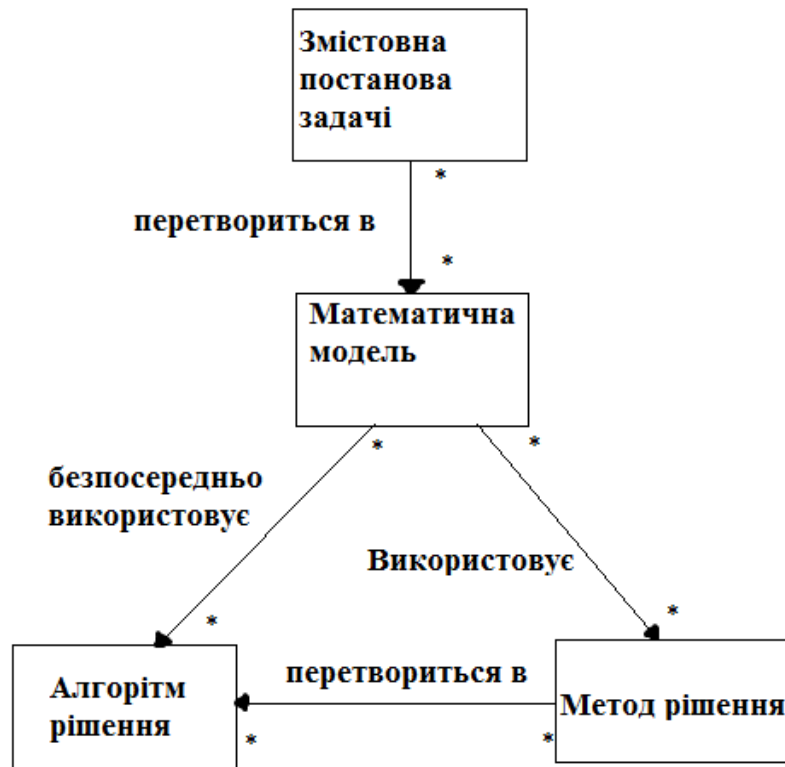


Рисунок 1.1 – Загальна схема взаємозв'язків методів і алгоритмів вирішення завдань оптимізації у формі діаграми класів мови

*Методи оптимізації* широко застосовуються для розв'язання завдань теорії оптимальних процесів, оптимального регулювання тощо. Без розроблення та застосування методів оптимізації неможливо керувати логістичними процесами. До транспортних завдань та завдань і комівояжера зводиться багато завдань економічної кібернетики (мережне планування, управління запасами, перевезеннями та ін.), керування організацією

виробництва (розподіл завдань, обробка деталей, конвеєрне виробництво) та завдань оптимального програмування. Окрема група завдань теорії оптимізації – це завдань оптимального проектування. Наприклад, завдань проектування логістичних систем з заданими обмеженнями [5].

Методи оптимізації поділяються на прямі та ітераційні. Оптимізація полягає в знаходженні найкращого варіанта. Методи оптимізації застосовуються до пошуку розрахунку оптимальної технології, оптимальної геометричної конструкції, найкращого часу для технологічних процесів і подібних завдань.

Розрізняють задачі безумовної оптимізації, задачі умовної оптимізації, задачі математичного програмування, задачі опуклого програмування, чисельні методи оптимізації [3].

Насамперед потрібно розмежувати задачі параметричної та структурної оптимізації.

*Структурна оптимізація* – це задача синтезу оптимальної структури системи, до того ж заміна структур та перетворення однієї структури на іншу здійснюється за спеціальним алгоритмом синтезу.

*Параметрична оптимізація* об'єднує багато різних завдань, що вирізняються своїми особливостями та методами розв'язання. Класифікацію цих завдань наведено на рисунку 1.2.

Охарактеризуємо задачі оптимізації.

1. Якщо існує декілька цільових функцій, то наявна задача векторної оптимізації.

2. Якщо кількість керованих параметрів  $x$ , , більше одного, то розв'язується завдання багатопараметричної оптимізації.

3. Якщо наявні обмеження та умови, що пов'язують параметри  $x$ , то виникає завдання оптимізації з умовами, яка в кібернетиці отримала назву математичного програмування.

4. Математичне програмування об'єднує задачі нелінійного програмування (цільова функція в загальному випадку нелінійна), стохастичного програмування (параметри  $x$  – випадкова величина, а цільова функція – випадкова функція), динамічного програмування (оптимізація багатокрокових процесів пошуку розв'язання).

5. Якщо керовані параметри набувають тільки дискретних значень, то виникає задача дискретної оптимізації, а якщо  $x$  – цілі числа, то – задача цілочислового програмування.

6. У разі, якщо цільова функція опукла та область, де задані  $x$ , теж опукла, то наявна задача опуклого програмування: якщо цільова функція та умови лінійні – лінійного (кусково-лінійного) програмування; цільова функція

квадратична, а умови лінійні – квадратичного програмування; цільова функція та умови – лінійні комбінації функцій однієї змінної – сепарабельного програмування; цільова функція та умови подані у вигляді поліномів – геометричного програмування.

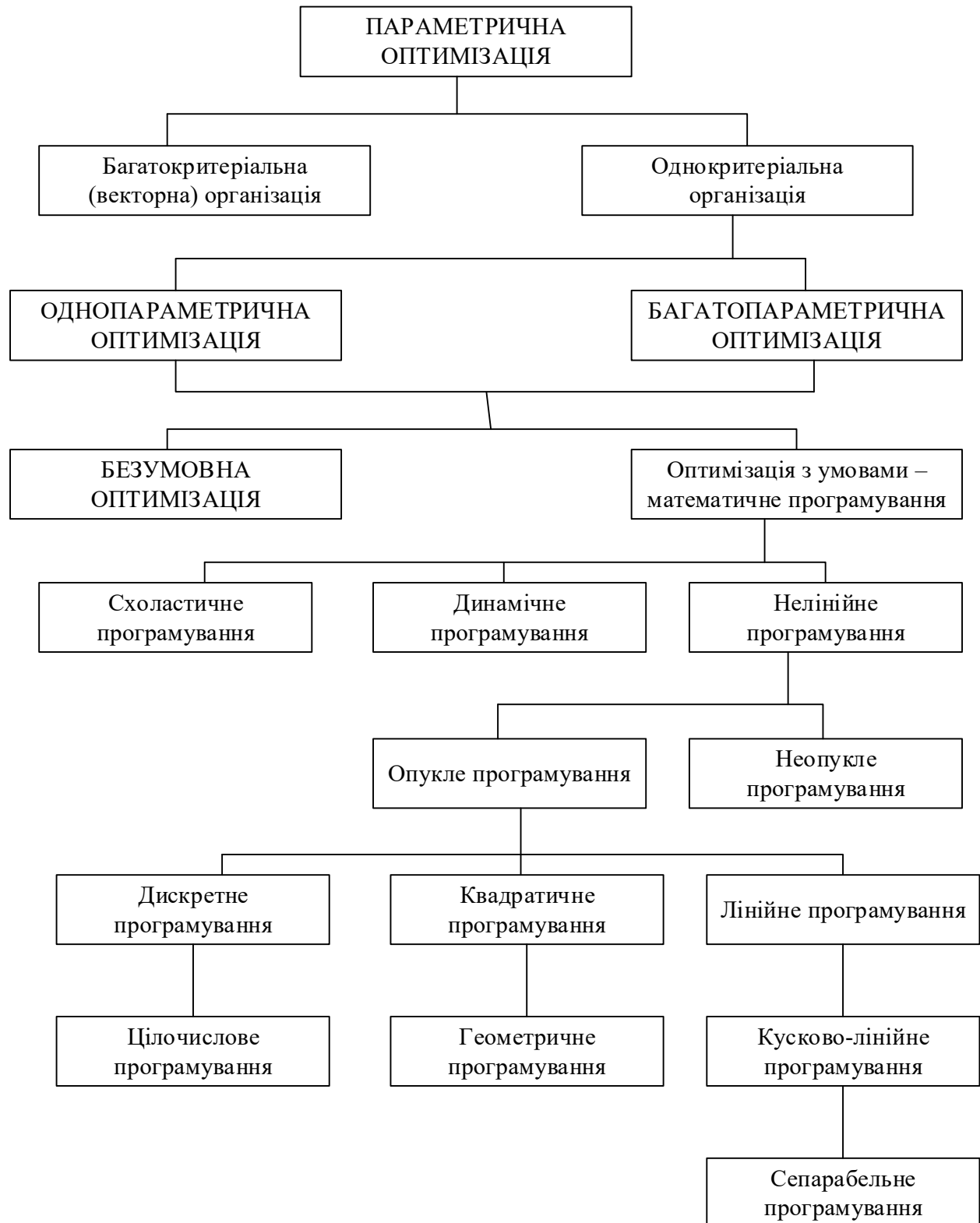


Рисунок 1.2 – Класифікація завдань оптимізації [5]

## 1.5 Процес визначення і вирішення завдань оптимізації

Загалом процес постановки і визначення завдань оптимізації можна подати у формі взаємопов'язаних етапів, на кожному з яких виконуються певні дії, спрямовані на побудову та подальше використання інформаційно-логічних моделей систем (рис. 1.3) [4]. Характерною особливістю цього процесу є його циклічність або ітеративність, що відображає сучасні вимоги щодо аналізу та проектування складних систем.

Окремими етапами процесу визначення та розв'язання завдань оптимізації такі:

1. Аналіз проблемної ситуації.
2. Побудова математичної моделі.
3. Аналіз моделі.
4. Вибір методу та засоби вирішення.
5. Виконання чисельних розрахунків.
6. Аналіз результатів розрахунків.
7. Застосування результатів розрахунків.
8. Корекція та доопрацювання моделі.

Конкретний зміст кожного з етапів залежить від специфічних особливостей розв'язуваних завдань оптимізації в тій чи іншій проблемній області. До того ж кожен новий цикл процесу визначення і розв'язання задачі ініціюється етапом аналізу проблемної ситуації, у чому виявляється реалізація вимоги проблемно-орієнтованого підходу щодо побудови й використання інформаційно-логічних моделей систем для розв'язання завдань оптимізації.

*Аналіз проблемної ситуації.* Одним з основних принципів системного моделювання є проблемна орієнтація процесів побудови та використання моделей. Інакше кажучи, модель конкретної системи будується в контексті вирішення певної проблеми або досягнення певної мети. Головне призначення першого етапу – логічне осмислення конкретної проблеми в контексті методології системного моделювання. До того ж виконується аналіз всіх наявних ресурсів (матеріальних, фінансових, інформаційних та інших), необхідних для побудови моделі, її використання та реалізації отриманих результатів із метою вирішення наявної проблеми.

У разі відсутності необхідних ресурсів на даному етапі може бути прийняте розв'язання або про звуження (зменшення) розв'язуваної проблеми, або взагалі про відмову від використання засобів системного моделювання. На цьому етапі також виконується аналіз вимог, що висуваються в тій чи іншій формі до результату вирішення проблеми.

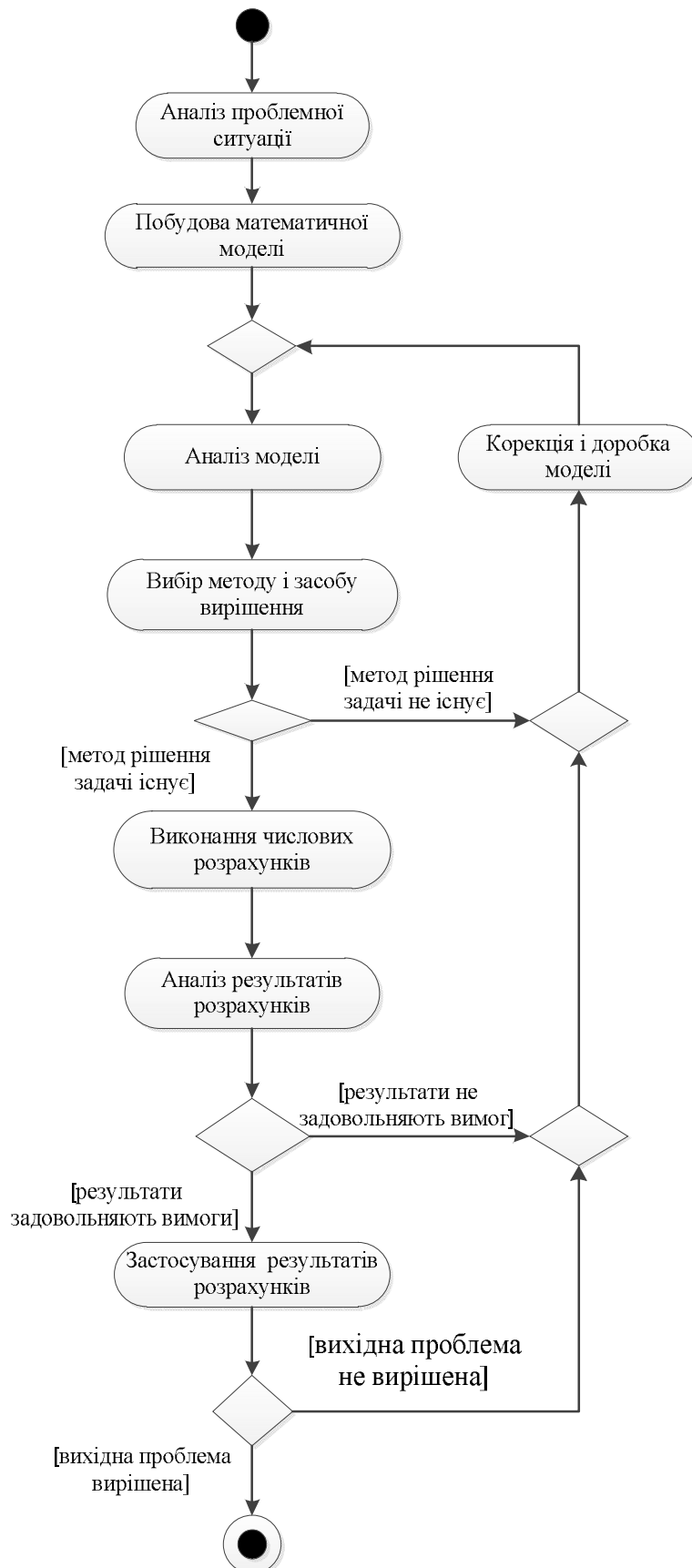


Рисунок 1.3 – Загальна схема процесу визначення та розв’язання завдань оптимізації у формі діаграми діяльності мови UML (Unified Modelling Language) [4]

Початковий аналіз розв'язуваної проблеми та відповідної проблемної області є найменш формалізованим із погляду використання відомих аналітичних підходів і засобів, тому на цьому етапі рекомендується застосовувати так звані евристичні або неформальні методи системного аналізу. До них належать:

- методи побудови логічних сценаріїв або оповідних історій на природній мові для аналізу можливих методів і альтернативних шляхів вирішення проблеми;
- методи мозкової атаки, або штурму, для генерації нових ідей і нестандартних підходів до вирішення проблеми;
- методи морфологічного та концептуального аналізу для досягнення необхідної повноти розгляду вихідної проблеми;
- методи побудови й аналізу дерева цілей і завдань, які дозволяють розбити вихідну проблему на ряд більш приватних або простіших підпроблем.

*Побудова математичної моделі.* Метою цього етапу є побудова адекватної моделі проблемної ситуації і відповідної проблемної області в найзагальнішому контексті вирішення вихідної проблеми. Структуризація проблемної області передбачає визначення і подальше уточнення її меж, а також встановлення меж і складу систем, які потенційно можуть брати участь у вирішенні вихідної проблеми. Відповідна інформація подається у формі моделі системи або проблемної області загалом на певній формально-логічній мові.

До того ж видається важливим, щоб уся доступна та істотна інформація щодо вирішення проблеми була зафіксована у вигляді деякої інформаційно-логічної моделі системи. До того ж модель повинна задовольняти принцип адекватності відображення основних особливостей системи-оригіналу. Інакше кажучи словами, модель не повинна бути ні поверховою чи неповною – не враховувати істотні аспекти структури або поведінки системи-оригіналу; ні занадто складною або надлишковою, у рамках якої розробники намагаються врахувати навіть неістотні з погляду вихідної проблеми деталі системи-оригіналу.

Цей етап побудови інформаційно-логічної моделі передбачає виконання таких дій:

1. Побудова концептуальної, або інформаційної моделі системи і проблемної області, яка містить найзагальнішу інформацію і відображає структурні взаємозв'язки системи з іншими об'єктами навколишнього середовища.



2. Побудова аналітичної або математичної моделі системи, яка деталізує окремі аспекти структури й поведінки системи – оригіналу у формі тексту з використанням спеціальної математичної нотації і символіки.

Побудова імітаційної або програмної моделі системи, яка безпосередньо реалізує інформаційно-логічну модель у формі, спеціально призначений для її дослідження з використанням комп'ютерів.

Один із принципів системного моделювання полягає в тому, що для побудови адекватної моделі складної системи може знадобитися не одна, а декілька моделей системи-оригіналу. У цьому разі кожна з таких моделей буде окремим поданням складної системи, а повна модель системи буде складатися з комплексу взаємопов'язаних моделей. Цей принцип отримав спеціальну назву – принцип багатомодельності системного моделювання. Важливо, що з погляду системного аналітика всі приватні моделі системи рівноправні, тому коректно вести мову лише про їхню адекватності. До того ж вибір типу моделі повинен залежати від особливостей вирішуваної проблеми, а не від професійної спеціалізації прикладних математиків і системних аналітиків, які беруть участь у вирішенні проблеми.

Процес розроблення адекватних моделей та їхнього подальшого конструктивного застосування передбачає не тільки обізнаність загальної методології системного аналізу, але і наявності відповідних образотворчих засобів або мов для фіксації результатів моделювання та їх документування. Очевидно, що природна мова не цілком придатна для цієї мети, оскільки неоднозначна і невизначена, тому для побудови моделей використовують формально-логічні методи, що базуються на подальшому розвитку математичних і логічних засобів моделювання.

*Аналіз моделі.* Загалом формально-логічна модель системи розробляється для отримання деякої нової інформації про систему-оригінал з метою вирішення вихідної проблеми. При вирішенні завдань оптимізації для цієї мети будують деяку математичну модель, аналіз якої передбачає встановлення характерних властивостей окремих елементів цієї моделі. Такими елементами є змінні, обмеження і цільова функція моделі, безліч допустимих альтернатив і його математичні властивості. Після аналізу властивостей елементів математичної моделі можна співвіднести вирішуване завдання оптимізації з одним із класів цих завдань, що має принципове значення для вибору методу й засобів для подальшого вирішення.

*Вибір методу та засобу вирішення.* Хоча для окремих завдань оптимізації існує вирішення в аналітичній формі, це швидше виняток із загального правила. Багато цікавих практичних завдань оптимізації, занотованих у сучасних бізнес-додатках зазвичай не мають аналітичного розв'язку у формі

розрахункових формул чи номограм. Саме тому актуальний вибір обчислювального методу та програмного засобу для їх практичного розв'язання.

На вибір методу та засобу впливають особливості (різновид) математичної моделі і математичні властивості множини допустимих альтернатив. У першому разі клас, до якого належить розглянута математична модель зазвичай зумовлює вибір методу та алгоритму розв'язку відповідної задачі оптимізації. У другому разі така характеристика безлічі допустимих альтернатив, як, наприклад, розмірність вихідних даних, спричиняє принциповий вплив на можливість отримання точного або наближеного розв'язку.

На вибір програмного засобу для вирішення завдань оптимізації впливають такі міркування. Як уже зазначалося, на ринку програм існують математичні пакети, наприклад, MATLAB та Mathcad, AnyLogic, Arena, PTV Visum, які спеціально зорієнтовані на вирішення математичних завдань. Їх основна перевага полягає в наявності сотень і тисяч вбудованих математичних функцій і десятків обчислювальних алгоритмів для виконання практичних розрахунків. Очевидний недолік— додаткові фінансові витрати на їх придбання та час для вивчення.

Окрім цього на комп'ютерах практично всіх користувачів є програма електронних таблиць MS Excel. Цілком очевидне бажання аналітика скористатися можливостями цієї програми для розв'язання завдань оптимізації. На користь вибору MS Excel як програмного засобу вказує наявність вбудованих функцій і декількох алгоритмів пошуку розв'язання. До того ж ніяких додаткових витрат для користувача це не становить. Недолік обумовлюється відсутністю можливості розв'язання деяких класів завдань оптимізації.

Однак зазначений недолік може спостерігатися і при розв'язанні окремих завдань оптимізації за допомогою спеціалізованих математичних пакетів. У цьому разі вибір аналітика зумовлюється – або розробленням на одній із мов програмування власної програми, яка реалізує той чи інший алгоритм розв'язання подібної задачі, або пошуком іншої програми, що оперує необхідною функціональністю.

Під час виконання цього етапу може виникнути ситуація, коли для розглянутої задачі оптимізації не існує адекватного методу розв'язання. Це може потребувати додаткової корекції і доопрацювання моделі або взагалі відмови від вирішення вихідної проблеми. Оскільки останній випадок характерний для крайнього песимізму і зазвичай відповідає низькій кваліфікації аналітика, він не розглядається як серйозна альтернатива

першому. Висновок про відмову вирішення вихідної проблеми варто приймати лише в разі неможливості корекції та доопрацювання моделі або звуження вихідної проблеми.

У разі отримання методу розв'язання розглянутої задачі оптимізації у сформульованій постановці для розробленої математичної моделі та обраного програмного засобу потрібно перейти до її практичного розв'язування у формі виконання чисельних розрахунків.

*Виконання чисельних розрахунків.* Реалізація цього етапу в контексті методології системного моделювання означає виконання серії експериментів з програмною моделлю системи на тій чи іншій обчислювальній платформі. У нашому випадку це розв'язання конкретної задачі оптимізації для фіксованої сукупності вихідних даних засобами програми електронних таблиць MS Excel. При цьому можлива така послідовність дій, що відображає зміст власне процесу планування експериментів:

1. Формування конкретних значень вихідних даних (значень коефіцієнтів обмежень і цільової функції) та їх уведення в спеціальному форматі на окремий робочий лист MS Excel.

2. Завдання властивостей алгоритму розрахунку параметрів пошуку розв'язання MS Excel.

3. Виконання розрахунків з метою отримання рішення у формі конкретних значень змінних моделі.

4. Подання результатів розрахунків у графічній формі для їх наочної інтерпретації.

В окремих випадках засіб пошуку розв'язання MS Excel унеможливорює отримання розв'язку задачі, про що програма люб'язно повідомляє користувачеві. Причиною цього повідомлення зазвичай є помилки при введенні параметрів пошуку розв'язку, наприклад, неправильний знак обмежень, що може призвести до їх несумісності. Однак причина може бути й складнішою, пов'язаною з особливостями вбудованих обчислювальних алгоритмів MS Excel, про що додатково зазначається у відповідних розділах книги при розгляді окремих класів завдань оптимізації.

*Аналіз результатів розрахунків.* Мета цього етапу полягає в аналізі точності і правильності отриманих результатів, коли пошук розв'язання MS Excel закінчився успішно. При цьому можлива така послідовність дій:

1. Оцінка точності і верифікація отриманих результатів на підставі перевірки узгодженості окремих компонентів обчислювальних розрахунків із використанням аналітичної моделі і ручного прорахунку.

2. Інтерпретація одержаних результатів у формі керівних впливів або альтернатив вирішення вихідної проблеми.

3. Оцінка потенційної можливості реалізації отриманих результатів стосовно системи-оригіналу.

Для зручності виконання зазначених дій результати розрахунків можна подати в графічному вигляді у формі відповідних діаграм і графіків. Наявність цієї можливості програмних засобів також впливає на вибір отриманого результату.

В окремих випадках для перевірки або верифікації отриманих результатів може знадобитися залучення спеціальних математичних програм як додаткових. Зазвичай упевненість у правильному розв'язанні практичних завдань оптимізації приходить після того, як вони вирішені за допомогою різних засобів.

Якщо аналіз отриманих результатів свідчить про їхню недостатню точність або потенційну неможливість їх реалізації стосовно системи-оригіналу, то варто застосувати етап корекції та доопрацювання моделі. Якщо одержані результати відповідають усім висунутим щодо них вимогам, то можна перейти до етапу їх застосування щодо системи-оригіналу для вирішення вихідної проблеми.

*Застосування результатів розрахунків.* Змістом цього етапу є матеріальний чи інформаційний вплив на систему-оригінал з метою вирішення вихідної проблеми. При цьому може знадобитися додаткове планування організаційних заходів щодо реалізації подібних дій і контроль їх виконання.

Після реалізації рекомендацій виконаних досліджень і після закінчення етапу обчислювальних експериментів модель може опинитися в одній із двох ситуацій:

- вихідна проблема повністю вирішена, а отже цілі системного моделювання досягнуті. У цьому разі можна перейти до вирішення чергової проблеми щодо цієї проблемної області або очікувати на ефект від вирішення вихідної проблеми;

- вихідна проблема не вирішена або вирішена неповністю, а отже, цілі системного моделювання не досягнуто. У цьому разі необхідно ретельно проаналізувати ситуацію і причини невдачі. Після цього можна перейти або до корекції вихідної моделі системи, або взагалі відмовитися від побудованої моделі та реалізовувати цикл системного моделювання знову.

Варто зауважити, що процес вирішення складних проблем оптимізації займає досить тривалий час, протягом якого може змінитися як сам зміст вихідної проблеми, так і наявність необхідних для її вирішення ресурсів. Ці особливості зазвичай не враховуються під час реалізації складних проєктів, що є причиною їх невдалого завершення. Саме для унеможливлення або послаблення негативного впливу цих факторів у схемі процесу визначення та

розв’язання завдань оптимізації необхідно передбачити окремий етап — корекцію або доопрацювання моделі, який можна розпочати виконувати з будь-якого моменту змінювання вихідної ситуації або за наявності виникнення ознак неадекватності моделі на будь-якому з розглянутих вище етапів.

*Коректування та доопрацювання моделі.* Мету цього етапу неявно вже було сформульовано раніше, а саме: внесення змін в наявну модель, спрямованих на забезпечення адекватності розв’язуваної проблеми. Мова може йти як про включення до складу або виключення зі складу вихідної моделі додаткових компонентів, так і про радикальне змінювання структури та змісту моделі. Важливо зазначити проблемно-орієнтований характер цих змін, тобто корекція або доопрацювання моделі необхідно виконувати в безпосередньому контексті з розв’язуваною проблемою.

Результатом виконання цього етапу може слугувати спрощення вихідної задачі оптимізації, наприклад, заміна нелінійних обмежень або цільової функції їх лінійними аналогами, а також скорочення кількості змінних або обмежень моделі. З іншого боку, цей етап може бути пов’язаний і з ускладненням вихідної моделі шляхом введення додаткових змінних і обмежень для забезпечення необхідної адекватності моделі вирішуваної проблеми.

Під час розгляду окремих класів завдань оптимізації наводяться також рекомендації та практичні поради щодо виконання цього етапу. Для правильного виконання етапів побудови і аналізу математичної моделі варто розглянути визначення і властивості основних елементів власне математичної моделі.

Таким чином, під час вирішення практичних завдань оптимізації в рамках конкретних проєктів варто дотримуватися певного шаблону, що дозволяє досягти необхідного рівня уніфікації та систематизації, потрібного для адекватного розуміння особливостей вирішуваної проблеми і вибору найбільш ефективних засобів її вирішення.

*Структура опису завдань оптимізації виглядає так:*

- завдання, що забезпечує співвіднесеність задачі, що вирішується одним із відомих класів завдань оптимізації;
- змістове визначення задачі, яке в оповідній формі або у формі сценарію визначає сутність вихідної проблеми, яку потрібно вирішити;
- математичне визначення задачі, яке становить вихідну проблему у формі математичної моделі. Подальший аналіз цієї моделі – основа для вибору засобів її вирішення;
- метод розв’язання, який можна використати для розв’язання цієї задачі оптимізації стосовно розроблюваної математичної моделі;

- алгоритм розв’язання, який можна використати для практичного розв’язання цієї задачі оптимізації стосовно конкретного набору вихідних даних;
- засіб або програма розв’язання, які дозволяють реалізувати обчислювальний процес пошуку оптимального розв’язку стосовно розробленої математичної моделі до конкретного набору вихідних даних;
- приклади чисельних розрахунків, що ілюструють правильність обраних методів, алгоритмів і засобів вирішення вихідної проблеми.

## 1.6 Математична модель завдань оптимізації

Під час розгляду процесу визначення та розв’язання завдань оптимізації ключову роль відіграє поняття математичної моделі завдань оптимізації і властивості її основних елементів. Саме від властивостей математичної моделі залежить можливість розв’язання окремої задачі оптимізації і вибір найефективнішого алгоритму та способу для цієї мети. Ігнорування або незнання особливостей математичних моделей завдань оптимізації слугують джерелом помилок і невдач під час вирішенні цих завдань.

*Поняття математичної моделі та її основні елементи.* Загалом випадку під математичною моделлю задачі оптимізації розуміють спеціальний запис визначення і умов розв’язання типової задачі оптимізації з використанням понять математики і математичної символіки. Оптимізаційна математична модель відповідає математичній постановці цієї задачі.

Як вже зазначалося вище, при постановці задачі оптимізації необхідно визначити або специфікувати такі її основні компоненти:

- характеристика змінних, фіксований набір значень, які характеризують окремі розв’язки задачі;
- набір обмежувальних умов, що виключають з розгляду окремі розв’язки внаслідок їх фізичної або логічної неможливості;
- оцінна функція, що уможливорює кількісне порівняння різних розв’язків із метою вибору найкращого.

Кожен з головних компонентів математичної моделі задачі оптимізації має свої особливі властивості, які залежать від властивостей відповідних математичних об’єктів.

*Характеристика змінних.* Поняття змінної є одним із фундаментальних у математиці, характерною властивістю якої є безліч набутих нею значень. Залежно від специфічних властивостей цієї множини в задачах оптимізації використовуються три основні типи змінних:

- безперервні, безліч прийнятих значень яких має потужність

континууму і здебільшого співпадає з множиною всіх невід’ємних дійсних чисел або є його підмножиною;

- цілочисельні, або дискретні, безліч прийнятих значень яких має рахункову або навіть кінцеву потужність і зазвичай співпадає з множиною всіх невід’ємних цілих чисел або є підмножиною;

- булеві, безліч прийнятих значень яких має лише два значення – 0 і 1.

Як у математиці, так і в математичній моделі завдань оптимізації змінні традиційно прийнято позначати латинськими літерами: без індексів –  $x, y, z$ ; з одним індексом –  $x_i, y_j, z_k$ ; з двома індексами –  $x_{ij}, y_{ij}, z_{kj}$ . Важливо розуміти, що кожна змінна повинна мати реальну інтерпретацію або фізичний сенс у постановці задачі, а набір їх значень – визначати деяке потенційне вирішення вихідної проблеми. При цьому вибір тієї чи іншої букви для позначення змінної не відіграє принципу соціального значення. Фіксований набір значень окремих змінних задачі оптимізації називають *альтернативою*. Традиційно в математиці безліч всіх дійсних чисел позначають через  $R^1$  або просто  $R$ , множину всіх цілих чисел – через  $Z^1$  або просто  $Z$ , безліч із двох цифр: 0 та 1 – через  $B^1$  або  $\{0, 1\}$ . З урахуванням цих позначень вимогу безперервності змінних прийнято символічно позначати у вигляді  $x, y, z \in R^1$ ; вимогу цілісності змінних – у вигляді  $x, y, z \in Z^1$ , вимога булевості змінних – у вигляді  $x, y, z \in \{0, 1\}$  або, якщо не виникає непорозумінь,  $x, y, z \in B^1$ .

*Характеристика обмежень.* Більшість, якщо не всі, практичні завдання оптимізації мають певний набір обмежувальних умов, які виключають з розгляду окремі розв’язки внаслідок їх фізичної або логічної неможливості. Ці умови отримали назву *обмежень*, які у своїй сукупності визначають або специфікують *безліч допустимих альтернатив* розглянутої задачі оптимізації.

Загалом обмеження становить деяку функціональну залежність, яка пов’язує окремі значення змінних один з одним. Загалом така функціональна залежність записується у вигляді деякої функції, наприклад  $g(x, y, z)$ , від вихідних змінних задачі оптимізації. При цьому передбачається, що ця функція здебільшого безперервна. Очевидно, що в різних задачах оптимізації може бути різна кількість подібних функцій.

Математичний запис обмеження додатково описує вимогу, за якої значення цієї функції або функцій обмежені деяким інтервалом або числом. Залежно від знака обмеження завдань оптимізації використовуються два основні типи обмежень:

- рівності, які символічно записують у вигляді  $g(x, y, z) = a$  або  $g(x, y, z) = 0$ ;
- нерівності, які символічно записують у вигляді:  $g(x, y, z) \leq (\geq) a$  або

$$g(x, y, z) \leq (\geq) 0.$$

Тут  $a$  – деяке дійсне число, яке набуває заданого значення в контексті розглянутої задачі оптимізації. Саму функцію  $g(x, y, z)$  в цьому разі називають *правою частиною* обмеження, а значення  $a$  – *лівою частиною* обмеження. Оскільки можливий випадок, коли  $a = 0$ , то саме значення лівої частини обмежень не має принципового значення.

Залежно від додаткових властивостей функції  $g(x, y, z)$  у задачах оптимізації використовуються такі основні типи обмежень:

- лінійні, у яких всі функції  $g(x, y, z)$  є лінійними відносно всіх своїх змінних.

- нелінійні, у яких всі функції  $g(x, y, z)$  є нелінійними відносно всіх своїх змінних. В останньому разі додатково розглядають такі типи обмежень: опуклі, у яких усі функції  $g(x, y, z)$  є опуклими щодо всіх своїх змінних; неопуклі, у яких всі функції  $g(x, y, z)$  є неопуклими щодо всіх своїх змінних.

Загалом множина допустимих альтернатив, що задовольняють усі обмеження розглянутої задачі оптимізації, прийнято позначати через  $\Delta_\beta$  або просто  $\Delta$ . Математичні властивості цієї множини визначаються особливостями змінних і обмежень задачі оптимізації. Той факт, що деякий набір значень змінних задовольняє всю сукупність обмежень завдання, а відповідна альтернатива належить множині допустимих альтернатив, символічно записується у вигляді:  $x, y, z \in \Delta_\beta$ .

*Характеристика цільової функції.* Цільовою, або критеріальною, функцією задачі оптимізації називається деяка оцінна функція, призначена для кількісного порівняння альтернатив із метою вибору найоптимальнішої. Цільова функція визначається як деяка математична функція, функціонал або оператор, що, загалом, записується у вигляді  $f(x, y, z)$ , де  $f: \Delta_\beta \rightarrow R^I$ .

Залежно від властивостей функції  $f(x, y, z)$  у задачах оптимізації використовуються такі основні типи цільових функцій:

- лінійні, у яких функція  $f(x, y, z)$  є лінійною відносно всіх своїх змінних;

- нелінійні, у яких функція  $f(x, y, z)$  є нелінійною відносно всіх своїх змінних. В останньому разі додатково розглядають: опуклі (квадратичні), у яких функція  $f(x, y, z)$  є опуклою (відповідно квадратичною) щодо своїх змінних; неопуклі, у яких функція  $f(x, y, z)$  є неопуклою щодо своїх змінних.

Залежно від кількості цільових функцій розглядають два основні типи завдань оптимізації:

- однокритеріальна задача оптимізації, у математичній моделі якої



присутня єдина цільова функція;

– багатокритеріальна задача оптимізації, у математичній моделі якої присутні кілька цільових функцій.

У контексті математичної моделі завдань оптимізації вимога знаходження найкращого розв’язку конкретизується у вимогу *максимізації* чи *мінімізації* цільової функції. Цю вимогу можна записати символічно у вигляді  $f(x, y, z) \rightarrow \max$  або  $f(x, y, z) \rightarrow \min$ . При цьому максимум (мінімум) цільової функції перебуває тільки серед безлічі допустимих альтернатив. Розв’язком задачі оптимізації є деякий допустимий набір значень змінних, який забезпечує максимальне або мінімальне значення цільової функції на множині допустимих альтернатив.

З урахуванням уведених позначень загальну математичну модель однокритеріальної задачі оптимізації можна записати символічно в такому вигляді:

$$\begin{aligned} f(x, y, z) &\rightarrow \max_{x, y, z \in \Delta_\beta} \\ &\text{або} \\ f(x, y, z) &\rightarrow \min_{x, y, z \in \Delta_\beta}, \\ &\dots \dots \dots \end{aligned}$$

де  $\Delta_\beta = \{\Delta \mid g_k(x, y, z) \leq (=) 0\}, \quad (k \in \{1, 2, \dots, m\}). \quad (1.1)$

Тут через  $\Delta_\beta$  позначено множину допустимих альтернатив, яка формується за допомогою звуження вихідної безлічі альтернатив  $\Delta$  за допомогою сукупності обмежень, записаних у довільній формі:  $g_k(x, y, z) \leq 0$  або  $g_k(x, y, z) = 0$ . Як вихідну множину альтернатив  $\Delta$  обрано одну з розглянутих раніше множин: множина дійсних чисел  $R^1$ , безліч цілих чисел  $Z^1$  або множину з двох чисел  $B^1$ . Вибір цієї множини визначається типом змінних, які використовуються в постановці відповідної задачі оптимізації.

З урахуванням уведених позначень загальну математичну модель багатокритеріальної задачі оптимізації можна записати символічно в такому вигляді:

$$\begin{aligned} f(x, y, z) &\rightarrow \max_{x, y, z \in \Delta_\beta} \\ &\text{або} \\ f(x, y, z) &\rightarrow \min_{x, y, z \in \Delta_\beta} \\ &(\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}), \\ \text{де } \Delta_\beta &= \{\Delta \mid g_k(x, y, z) \leq (=) 0\}, \quad (k \in \{1, 2, \dots, m\}). \end{aligned} \quad (1.2)$$

Тут через  $\Delta_\beta$  також позначено множину допустимих альтернатив, яка

формується за допомогою звуження вихідної безлічі альтернатив  $\Delta$ . У випадку  $n=2$  відповідні задачі оптимізації називаються *двокритеріальними*,  $n=3$  – *трьохкритеріальними* і т. д. Натуральне число  $m$  визначає загальну кількість обмежень задачі оптимізації. У математичних моделях типових завдань оптимізації чітко вказують вихідні множини альтернатив для точної специфікації типу змінних.

Розглянуті властивості базових компонентів математичної моделі завдань оптимізації дозволяють виконати загальну класифікацію цих завдань, знати яку необхідно для правильного аналізу і вибору методу для розв’язання конкретних завдань оптимізації.

## ТЕМА 2 ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ У ЛОГІСТИЧНІЙ СИСТЕМІ

### 2.1 Оптимізаційна логістична задача

Загалом оптимізаційна логістична задача має виглядає так [6]:

$$y = f(x) \rightarrow \max (\min) \left\{ \begin{array}{l} x \in X \end{array} \right\} \quad (2.1)$$

де  $X$  – множина допустимих планів (альтернатив, дій, попередніх варіантів логістичних рішень);  $f$  – числова функція, визначена на множині  $X$ , яка разом із вимогою максимізації або мінімізації називається цільовою функцією.

Розв’язок оптимізаційної логістичної задачі (2.1) утворює пара  $X^*, y^*$ , де  $X^*$  – множина оптимальних планів,  $y^*$  – оптимальне (максимальне, найбільше або мінімальне, найменше – залежно від оптимізаційної спрямованості) значення цільової функції, що досягається нею на множині допустимих планів  $X$ . Зазвичай обмежуються частковим (а не загальним) розв’язанням задачі, визначаючи лише один серед множини оптимальних планів, а не всю цю множину.

Знаходять розв’язок оптимізаційної логістичної задачі, використовуючи спеціальні математичні методи оптимізації, комп’ютерні програми та засоби обчислювальної техніки на основі належної вихідної інформації. [6]

Довільна оптимізаційна логістична задача містить два складники: цільову функцію та обмеження. Цільова функція формалізує критерій оптимальності, за яким серед альтернативних варіантів логістичних рішень визначається якнайкращий. Обмеження, зі свого боку, визначають множину допустимих альтернатив. Обмеження подаються у вигляді нерівностей та / або рівнянь.

Здебільшого оптимізаційні логістичні задачі є багатовимірними та узагальнено виглядають так:

$$\left. \begin{array}{l} y = f(x_1, \dots, x_n) \rightarrow \max (\min) \\ g_i(x_1, \dots, x_n) \leq 0, \quad i = \overline{1, m} \\ h_k(x_1, \dots, x_n) = 0, \quad k = \overline{1, p} \end{array} \right\} \quad (2.2)$$

де  $x_1, \dots, x_n$  та  $y$  – дійсні змінні (керовані параметри), перші  $n$  з яких є основними та утворюють план  $x = (x_1, \dots, x_n)$  задачі, а остання показує

відповідне значення цільової функції;  $f$ ,  $g_i$ ,  $i = \overline{1, m}$ ,  $h_k$ ,  $k = \overline{1, p}$ , – числові функції змінних  $x_1, \dots, x_n$  (перша функція є цільовою, а інші використовуються з метою відбиття множини допустимих планів).

Якщо в (2.2) кожна з функцій  $f$ ,  $g_i$ ,  $i = \overline{1, m}$  та  $h_k$ ,  $k = \overline{1, p}$ , лінійна, маємо задачу лінійного програмування; в іншому разі – задача нелінійного програмування. Поширеними оптимізаційними логістичними задачами є лінійні. Нелінійна цільова функція або окремі обмеження зустрічаються у випадках, коли залежності між певними змінними мають нелінійний характер.

Серед обмежень оптимізаційної логістичної задачі можуть зустрічатися особливі, наприклад, обмеження на знак певних змінних або вимоги щодо їх цілочисельності. Такі обмеження виокремлюють, називаючи невиокремлені обмеження основними, а виокремлені – додатковими. Якщо серед додаткових обмежень немає вимог цілочисельності, отримуємо задачу математичного програмування (лінійну або нелінійну) з неперервними змінними; в іншому разі, якщо одна або кілька змінних мають набувати лише цілочислових (у більш загальному випадку – дискретних) значень – задачу цілочислового (дискретного) математичного програмування.

Скажімо, задача щодо оптимізації плану перевезень продукції може бути задачею математичного програмування з неперервними змінними, які виявляють обсяги перевезень за відповідними маршрутами, а задача про визначення оптимального місця розташування нового розподільчого центру логістичної мережі – задачею математичного програмування з цілочисловими змінними (точніше логічними 0–1 змінними), які значеннями 1 або 0 характеризують вибір або, навпаки, відмову від вибору певного пункту для розміщення у ньому нового розподільчого центру.

Тип задачі (лінійна, нелінійна, дискретна) визначає методи, які використовуватимуться для її розв’язання, а саме:

- лінійного програмування (симплекс-метод, двоїстий симплекс-метод, інші);
- цілочислового програмування (методи відтинань, розгалуженого пошуку, комбінаторні, евристичні, випадкового пошуку);
- нелінійного програмування (прямі, непрямі; проєктування, лінеаризації тощо);
- інші (залежно від особливостей задачі, що розв’язується).

Розгорнутий опис методів лінійного, цілочислового та нелінійного програмування наведено в спеціальній літературі з математичного програмування, а також дослідження операцій, методів оптимізації тощо [6–9].

Реалізацію оптимізаційних методів для розв'язування оптимізаційних логістичних завдань доцільно здійснювати з використанням засобів обчислювальної техніки та спеціального програмного забезпечення. Важливим і цікавим є той факт, що прогрес у сфері економіко-математичного моделювання та методів оптимізації відбувається майже чітко у відповідно з до прогресу в галузі комп'ютеризації.

Оптимізацію логістичних рішень здійснюють на підставі всебічного аналізу комплексу взаємозалежних чинників, визначення та порівняльної оцінки можливих альтернатив і допустимих планів дій.

Для знаходження розв'язку оптимізаційної логістичної задачі використовують економіко-математичні методи моделювання та оптимізації, а також обчислювальну техніку та необхідне програмне забезпечення.

Процес оптимізації логістичних рішень із використанням економіко-математичного інструментарію складається з таких основних етапів:

- усвідомлення проблемної ситуації, формулювання цілі та визначення обмежень;
- розроблення економіко–математичної моделі;
- вибір методів і програмних засобів для проведення розрахунків;
- підготування вихідної інформації;
- пошук і аналіз варіантів розв'язків;
- ухвалення розв'язання та затвердження плану його реалізації;
- контроль за виконанням розв'язання та оцінка результатів;
- підсумковий аналіз проблемної ситуації та її переосмислення (з поверненням до попереднього (початкового) етапу).

Отже, оптимізацію логістичних рішень слушно розглядати швидше як циклічний процес, що постійно відновлюється, а не лише як окремий акт цього процесу.

Важливо, що економіко-математичне моделювання, тобто запис у математичній формі цілі та обмежень, що відповідають проблемній ситуації, є важливим етапом процесу оптимізації логістичних рішень.

Прикладами оптимізаційних логістичних завдань є такі:

- формування найекономічнішого плану перевезень продукції, сировини або інших виробничих ресурсів від постачальників до споживачів – безпосередньо або через певні розподільчі центри;
- визначення максимальної пропускної спроможності транспортної мережі;
- визначення найдешевшого транспортного маршруту між двома заданими пунктами транспортної мережі;

- вибір найкращого місця розташування нового розподільчого центру логістичної мережі;
- визначення оптимальної стратегії управління постачанням виробничих ресурсів або готової продукції;
- формування оптимального плану реального інвестування з метою забезпечення необхідного приросту виробничих потужностей логістичних систем;
- розроблення систем оптимального управління запасами сировини, інших виробничих ресурсів, виготовленої продукції тощо.

## 2.2 Критерії оптимізації логістичних процесів

*Критерій* – підстава для оцінки, визначення або класифікації чогось; мірило. Критерієм правильності теоретичних висновків, як відомо, є практика.

Логістичною операцією або елементарною логістичною активністю (Ordinary Logistical Activity) називається будь-яка дія, що не підлягає подальшій декомпозиції в рамках визначеного завдання дослідження або менеджменту, пов'язане з виникненням, перетворенням або поглинанням матеріального і супутніх йому інформаційного та (або) фінансового потоків [9].

Критерії оптимальності (оптимізації) логістичних процесів можна виокремити за складниками логістичної діяльності: виробництво, склад, транспорт, логістична система загалом. До того ж можна виокремити дві основні групи критеріїв – економічні та технологічні. Безумовно, ці критерії тісно пов'язані один з одним, але вважається доцільним розглядати дві окремі групи.

### 2.2.1 Економічні критерії оптимізації логістичних процесів

Основними економічними критеріями оптимізації логістичних процесів є витрати та прибуток. Усі інші є різного ступеня похідними від цих основних критеріїв. Наприклад, собівартість, наведені витрати, частка ринку тощо [7].

У сучасних умовах постає питання щодо сучасних методів оптимізації витрат, що застосовуються в умовах вітчизняних підприємств (рис. 2.1). Але кожен із них має свої переваги й недоліки та може бути застосований за певних умов.

Наприклад, одним із найефективніших методів виявлення резервів зниження собівартості продукції є функціонально-вартісний аналіз (далі – ФВА). *Функціонально-вартісний аналіз* – комплексний системний аналіз

діяльності підприємства, його складників (технічних і технологічних, маркетингових, фінансових, збутових підрозділів, управлінських функцій), а також оцінка ефективності використання витрат на реалізацію кожної з цих функцій з метою виявлення неефективних, нераціональних витрат, існуючих внутрішніх резервів і розроблення програм підвищення ефективності діяльності та збільшення прибутковості підприємства.

Основні переваги ФВА:

- більш чітке вивчення вартості продукції, що унеможливорює прийняття обґрунтованих стратегічних рішень щодо призначення цін на продукцію, вибору між можливостями виготовляти самостійно та купувати напівфабрикати;
- зрозумілість функцій, за допомогою яких підприємствам вдається приділяти більше уваги підвищенню ефективності високовартісних операцій тощо.



Рисунок 2.1 – Сучасні методи оптимізації витрат [7]

Недоліки функціонально-вартісного аналізу:

- процес опису функцій може виявитися занадто деталізованим; крім того, модель є досить складною для застосування, її важко підтримувати;

– зазвичай етап збирання відомостей про джерела даних за функціями недооцінюється;

- для якісної реалізації методу потрібні спеціальні програмні засоби;
- метод «застаріває» у зв'язку з організаційними змінами;
- реалізація методу розглядається як непотрібна «примха» фінансового менеджменту, недостатньо підтримується оперативним керівництвом.

Значного зниження витрат виробництва досягають унаслідок застосування прогресивних методів організації праці. Прикладом цього є розроблена в Японії система організації виробництва «just-in-time» («точно-в-строк»), яка набула широкого застосування в усьому світі. Система знижує витрати виробництва внаслідок своєчасного постачання ресурсів.

До переваг методу «just-in-time» належать:

- зменшення термінів виробництва кінцевого виробу;
- скорочення витрат на зберігання продукції;
- більш висока гнучкість при модифікації продукції;
- більш висока продуктивність;
- скорочення термінів підготовки до виробництва;
- покращений контроль якості;
- більш рівномірний графік виробництва;
- мінімум перебоїв на виробництві;
- низька ймовірність надвиробництва.

До недоліків цього методу належать:

- зростаючі транспортні витрати; зберігання товару на складі може виявитися дешевшим, ніж постійне його постачання;

- залежність від постачальників;
- складність забезпечення високої узгодженості між станами виробництв;
- значний ризик зриву виробництва й реалізації продукції.

Наступний метод – *таргет-костинг* (від англ. target costing – цільова вартість) – це метод управління собівартістю (витратами на виробництво продукції), сутність якого полягає у зниженні собівартості продукції під час усього її виробничого циклу внаслідок застосування виробничих, наукових досліджень та розробок. «Target-costing» передбачає розрахування собівартості виробу на підставі попередньо встановленої ціни реалізації.

Переваги таргет-костінгу:

- маркетингова орієнтація виробництва;
- визначення цільових витрат для нових продуктів;
- контроль витрат на стадії розроблення продукції.



Недоліки методу:

- для цільового зниження витрат можуть знадобитися багато часу та інвестиції;
- технічні можливості підприємства не завжди дозволяють знизити собівартість до заданого рівня.

Інший метод – «*kaizen-costing*» – це новітній метод управління витратами, який застосовується для досягнення цільової собівартості, але на відміну від «*target-costing*», полягає в постійному вдосконаленні якості процесів на всьому підприємстві за участі всіх його працівників, що дає змогу зменшити непродуктивні витрати.

Основною перевагою «*kaizen-costing*» є те, що він забезпечує постійне зменшення витрат і утримання їх на заданому рівні, а недоліком є необхідність мотивувати працівників і корпоративної культури, що підтримує залучення персоналу до діяльності підприємства [7]. Крім того, недоліком цього методу є те, що він потребує мотивації співробітників, залучення додаткового персоналу.

*LCC (Life Cycle Cost)* – це метод розрахування витрат за етапами життєвого циклу продукції. Планові витрати визначаються на кожному етапі життєвого циклу продукту. Це єдиний метод управління витратами, який передбачає врахування впливу інфляції через дисконтування грошових потоків у прийнятті рішень.

Переваги методу:

- отримання в довгостроковому періоді оцінки здійснених витрат і їх покриття відповідними доходами;
- забезпечення чіткого прогнозу всіх витрат і співвідношення отримуваного доходу та витрат щодо виробництва виробу загалом;
- забезпечення стратегічного бачення структури витрат і співставлення її зі структурою доходів.

Недоліки методу:

- відсутність періодизації фінансових результатів;
- невизначеність обліку накладних витрат;
- вірогідність витрат на отримання значної додаткової інформації [7].

Найновішим методом, який нещодавно почали використовувати в управлінні витратами, є EVA (*Economic Value Added*) – *метод економічної доданої вартості*. Цей метод дає можливість прив'язати створення вартості до певних груп робітників або підрозділів і так отримувати критерій для диференційованої винагороди за виконану роботу на підприємстві.

Крім того, поширення набуває *ABC-аналіз*, що являє становить обґрунтування та прийняття управлінських рішень щодо цільової локалізації

витрат суб'єкта господарювання для потреб моделі управління його прибутком. Основою ABC-аналізу є поняття «центру витрат» – відокремленого функціонально-організаційного процесу або явища, пов'язаних із формуванням однорідної сукупності витрат підприємства.

Переваги ABC-аналізу:

- значне підвищення обґрунтування віднесення накладних витрат на конкретний виріб, більш чітке калькулювання собівартості;
- забезпечення взаємозв'язку одержуваної інформації з процесом формування витрат.

Основний недолік методу полягає в тому, що він потребує значного змінювання системи бухгалтерського обліку та вдосконалення систем інформаційної підтримки, що передбачає зростання витрат на управління.

Не менш важливим методом оптимізації витрат на підприємстві є *XYZ-аналіз*, який становить технологію обґрунтування управлінських рішень щодо оптимізації абсолютної величини витрат підприємства шляхом виявлення та ідентифікації резервів їх зменшення, а також визначення методів мобілізації таких резервів.

Переваги XYZ-аналізу:

- простота, точність і наочність,
- можливість автоматизації.

Недоліками методу є те, що він не забезпечує правильність висновків при побудові складного, слабкоструктурованого товарного асортименту.

Ще одним методом оптимізації витрат є *метод збалансованості*. Як один із стратегічних підходів до управління витратами, він пов'язаний з тим, що цілі, які ставить перед собою компанія, завжди балансують на одній чаші вагів із витратами. Наприклад, що якіснішу продукцію ми хочемо виробити, то більшими будуть витрати на забезпечення якості.

*Бюджетування*, як метод оптимізації витрат, базується на складанні оперативних, місячних, квартальних та річних бюджетів і пов'язуванні їх із стратегічними цілями (за допомогою системи збалансованих показників), що дає змогу, як мінімум, зробити появу витрат передбачуваним.

Застосовують також такий методом, як оптимізації витрат, *оперативно-заявочна кампанія* та система контролю за виконанням та доцільністю витрат. Суть цього методу полягає в тому, що при щоденних витратах лінійним менеджерам постійно необхідно підтверджувати доцільність тих чи інших витрат. Ця система буде працювати тільки тоді, коли на підприємстві правильно сформований бюджет, розписані цілі і є мотиваційна програма зі зменшення витрат.

Отже, перелічені методи (збалансованості, бюджетування, оперативно-

заявочна кампанія) потребують упровадження інформаційних технологій. Адже якщо не буде системи, яка зобов'язуватиме всіх звітувати й контролювати процеси, наміри щодо оптимізації витрат залишаться лише на папері. Із огляду на це серед методів стратегічного управління витратами варто виокремити й аутсорсінг, тобто передачу третім особам частини функцій підприємства, або інший вид аутсорсінгу, пов'язаний із функціями, які не є для компанії ключовими. У цьому разі потрібно знайти підрядника, здатного здійснювати ті самі функції, але за менші кошти.

#### 2.2.4 Технологічні критерії оптимізації логістичних процесів

До технологічних критеріїв відносять ті, що характеризують або описують технологію процесів у підсистемах логістичної системи та в системі загалом, зокрема технологію роботи транспорту, складу, виробництва тощо. Прикладом таких критеріїв є холостий пробіг транспортного засобу, час доставки, час виконання замовлення, кількість утрат, кількість запасів тощо.

Детальний аналіз технологічних показників оптимізації транспортного процесу у логістичній системі подано в роботі [10]. Оцінка ефективності завжди суб'єктивна і залежить від того, хто в ній зацікавлений і з позиції якого учасника перевезення вона здійснюється. Водночас багато дослідників наголошують на необхідності розглядати ефективність транспортного процесу з погляду системи, тобто враховувати інтереси всіх учасників. Наприклад, у роботах автори визначають такі критерії ефективності з погляду логістичної системи: швидкість і надійність доставки, безпечність, обсяг перевезеного вантажу, витрати на доставку. Дослідники пропонують таке визначення терміну ефективності логістичної системи: «Це показник (або система показників), що характеризує рівень якості функціонування логістичної системи за заданого рівня загальних логістичних витрат». Проте автори не дають належного роз'яснення щодо терміну «рівень якості». Це визначення абстрактне, тому що рівень якості визначити дуже важко, а подеколи неможливо. Водночас, як критерії функціонування логістичної системи здебільшого використовуються показники, які характеризують економічний результат роботи цієї системи. Вивчення всіх аспектів, пов'язаних із прибутком, призвело до розуміння того, що прибуток, обчислений у бухгалтерському обліку, не відображає дійсного результату господарської діяльності. Бухгалтерський прибуток є результатом проведення різноманітних господарських операцій і співставлення доходу з витратами компанії, а економічний прибуток – повноцінна, результуюча оцінка функціонування

компанії.

Критеріями ефективності з погляду транспортного учасника є локальні й комплексні показники оцінки ефективності. До локальних показників належать енергоємність, матеріалоємність, технологічні показники (середня відстань доставки, швидкість, нульовий пробіг тощо). Критеріями ефективності вважають також продуктивність перевезення, собівартість, прибуток, дохід, приведені витрати, рентабельність, трудомісткість, показники якості перевезень. Критерієм ефективності названо коефіцієнт ефективності перевізного процесу. Деякі автори виокремлюють такі показники ефективності технології перевізного процесу: собівартість перевезення, витрати на перевезення, продуктивність транспортних засобів, якість перевезення.

Також пропонується вимірювати ефективність у логістичних компаніях за допомогою процесного підходу, що базується на реінжинірингу міжфункційних бізнес-процесів, орієнтованих на клієнта, а не функційний підхід. Критерії ефективності виступають наступні показники: коефіцієнт економії умовно-постійних прямих витрат за оперативними відділами та інтегральний показник задоволеності клієнта щодо нормативного значення. Недоліком є необхідність використання вагових коефіцієнтів значущості, які можуть суттєво відрізнятися для кожного окремого клієнта.

Пропонується проєктувати транспортно-технологічної системи доставки вантажів автомобільним і залізничним видами транспорту за таким критерієм ефективності, як мінімальні питомі витрати, беручи до уваги обсяг перевезень, відстань перевезення, інтервал надходження замовлення, кількість доступних терміналів. Але в цьому разі залишаються не врахованими інші важливі фактори, що впливають на вибір виду транспорту, наприклад своєчасність перевезення, збереженість вантажу.

Отже, відповідно до наявної транспортної інфраструктури можна виокремити різні ситуації, у яких обирається оптимальний вид транспорту за різними видами витрат (рис. 2.2).

Найважливішим критерієм у разі відсутності транспортної інфраструктури вважають капітальні витрати, а за її наявності – приведені експлуатаційні витрати. Проблема визначення раціональних сфер використання у логістичній системі за наявності автомобільного і залізничного сполучення залишається актуальною і в наш час. Подальший аналіз методів та моделей проводиться за умови наявності автомобільного і залізничного сполучення. Основними критеріями ефективності під час вибору виду транспорту за наявності транспортної інфраструктури є такі: приведені витрати на перевезення; мінімум приведених витрат на виробництво,

транспортування і споживання продукції; витрати замовника транспортної послуги; прибуток, що може бути отриманий від скорочення терміну доставки; рівноцінна відстань; безпечність та екологічність.

Автором пропонується мінімізувати приведені витрати на виробництво, транспортування і споживання продукції, тобто розглядається система учасників транспортного процесу. Критерій питомих витрат недостатньо співвідноситься з отриманим результатом щодо витрат і не повною мірою відповідає вимогам ринкової економіки та логістичної системи, тому що не можна визначити для окремої логістичної системи.

Подальший аналіз підходів ґрунтується на розрахунку витрат, що враховують інтереси вантажовласника або вимоги замовника послуги.



Рисунок 2.2 – Визначення критерію оптимізації (ефективності) залежно від наявної транспортної інфраструктури

Критерієм ефективності функціонування логістичних систем транспортних вузлів запропонований інтегрований сумарний ефект від скорочення витрат на перевезення, від залучення в оборот вільних коштів, отриманих під час скорочення термінів транспортування вантажу, від зменшення втрат вантажу під час перевезень, від зменшення екологічних збитків. Недоліком такого підходу є те, що досліджується тільки процес транспортування вантажу у транспортному вузлі, але не враховується технологія транспортування вантажу до транспортного вузла.

Розглянуто сфери раціонального використання універсальних і швидкопсувних вантажів у міжнародному сполученні, що розраховуються на підставі витрат замовника, дрібнопартійних вантажів та перевезень для контейнерних вантажів. Недоліком цих досліджень є відсутність системного підходу до учасників транспортного процесу.

Підсумовуючи викладене вище, можна дійти висновку, що наявні підходи визначення сфер використання видів транспорту не відображають розвитку концепцій логістики та сучасних вимог щодо організації і реалізації транспортного процесу, не повною мірою враховують показники вибору видів транспорту та вплив технологічних і економічних параметрів транспортного процесу на розподіл обсягів перевезень між видами транспорту. Дослідники не вказують на значущість того чи іншого критерію під час вибору автомобільного і залізничного видів транспорту. Підходи і фактори, що визначені дослідниками як найбільш важливі, не відображають сучасних реалій. Необхідно проводити опитування для ранжирування критеріїв вибору виду транспорту, щоб порівняти теоретичну і практичну бази. Це дасть змогу в подальшому враховувати при проведенні дослідження найбільш значущі критерії.

Для прийняття рішення та розрахунків потрібно мати один критерій. Однак на практиці дуже часто виникає ситуація, коли необхідно використовувати два, три та навіть більше критеріїв. Для цього застосовують задачі відносяться до задачі *багакритеріальної оптимізації*.

## ТЕМА 3 ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ НА ВИРОБНИЦТВІ ТА СКЛАДІ

### 3.1 Вибір оптимальної технології виробництва

Методика вибору оптимальної технології виробництва надана у роботі проф. Крикавського [11]. Логістичне управління фазою виробництва на підприємстві охоплює три послідовні етапи. На першому етапі проєктується виробнича структура та, відповідно, структура переміщення продукції: від першого робочого місця (сировина, матеріали, частини, вузли) до фінального робочого місця (кінцева продукція). На другому етапі передбачається в межах проєктної структури переміщення продукції оптимально спланувати її переміщення з огляду на досягнення мінімально можливих витрат із переміщення та раціональних виробничих циклів. Третій етап, етап реалізації проєктних та планових рішень, полягає у безпосередньому керуванні переміщенням продукції у виробничій фазі моніторингом, контролюванням та відповідним регулюванням переміщення окремих ланок логістичних процесів, логістичних операцій тощо.

Структура об'єктів логістичного управління у виробничій фазі, з одного боку, істотно залежить від типу виробництва та його специфічних характеристик, а, з іншого, – визначається тим «рівнем свободи», що його надають суміжні фази постачання та збуту і вимоги щодо функціонування підприємства у цілому. Таке розуміння об'єктів логістичного управління перебуває під впливом різних сфер діяльності підприємства, зокрема виробництва, фінансів, маркетингу. Це означає, що зниження собівартості продукції чи скорочення виробничого циклу може досягатися як виробничими засобами, фінансовими засобами, маркетинговими засобами, так і логістичними засобами, тобто на підставі концепції логістики (мислення категоріями повних витрат, системними категоріями) не має істотного значення те, що редукція витрат досягнута зниженням логістичних витрат (витрат внутрішнього транспортування, витрат запасів півфабрикатів), а не, наприклад, зниженням витрат власне виробництва (наприклад, оброблення, монтажу тощо) або зниженням витрат капіталу (фінанси), або ж зниженням витрат дистрибуції, просування (маркетинг). Це однаковою мірою стосується і скорочення тривалості виробничого циклу.

Зі структури можливих об'єктів логістичних рішень у фазі виробництва доцільно відібрати ті, істотність впливу яких на витрати та тривалість циклу була б помітною. Отже, мова йде про ефективні логістичні розв'язання, що

мають достатнє поле вибору, та віднесені нами до типових. Такими типовими логістичними розв'язаннями у виробничій фазі доцільно розглядати:

- на стратегічному рівні – вибір *оптимальної технології виробництва*;
- та тактичному рівні – визначення *оптимальної виробничої партії*;
- на операційному рівні – *оптимізацію використання технологічного часу*.

Актуальність кожного з названих рішень істотно залежить і від нелогістичних чинників, таких як тип виробництва та форма організації виробництва. Згідно з загальноприйнятою класифікацією розрізняють такі типи виробництва: масове, серійне, одиничне. Названі типи виробництва узалежені масштабом та спеціалізацією виробництва. З погляду логістики для масового виробництва актуальними стають розв'язання стратегічного горизонту, тобто вибір технології виробництва, оскільки це може забезпечити істотний синергійний ефект у сфері постачання та дистрибуції. Водночас чинники одиничного виробництва актуалізують пріоритетність операційного горизонту, досягаючи раціональної структури витрат часу виробничого циклу. Для умов серійного виробництва під час визначення технології актуальним об'єктом логістичних рішень є визначення розміру серії, тобто визначення оптимальної виробничої партії. Іншою характеристикою виробництва, що впливає на ефективність та актуальність логістичних рішень, є форма організації виробництва як спосіб переміщення матеріалів, частин, вузлів між робочими місцями у виробничому циклі. Загальноприйнята класифікація визначає такі форми організації виробництва: потокову, гніздову, фазову. Зауважимо, що та чи інша форма організації виробництва визначається вибраною технологією.

Адаптуванню логістичних рішень до фази виробництва істотно сприятиме віднесення підприємства до однієї з груп із координатами типу та форми організації виробництва (рис. 3.1).

Отже, концепція логістики у фазі виробництва розглядає вузлові об'єкти:

- проектування каналів переміщення матеріальних ресурсів від першого робочого місця до місця кінцевого виготовлення;

- внутрішнє переміщення між робочими місцями;
- запаси незавершеного виробництва.

Очевидно, що структура об'єктів логістичних рішень у виробництві, аналогічно до логістичних рішень у постачанні, визначається, насамперед, обраним рівнем спеціалізації. Оптимальний рівень спеціалізації залежить від багатьох внутрішніх та зовнішніх чинників, динаміка яких вимагає проведення регулярної реінженерії виробництва для своєчасного коригування спеціалізації виробництва.





Рисунок 3.1 – Види організації виробництва та актуальність горизонту логістичних рішень [11]

Водночас завжди мають бути присутні принаймні два етапи аналітики:

- принципівий поділ складників частин виробу на групу для власного виготовлення та групу для закупівлі у сторонніх організацій. Цей етап здійснюється за допомогою уже згаданого комбінованого ABC/XYZ-аналізу;
- коригування принципівого поділу для частин групи А і групи В як відносно капіталомістких застосуванням методу МОВ («зробити чи купити») для реальних умов функціонування підприємства (якщо є потужність, технологія, фахівці, приваблива характеристика ринку постачальників тощо).

Розв’язання про оптимальний рівень спеціалізації уможливлює прийняття подальших логістичних рішень щодо вибору технології, виробничої партії, її поділу на частини в оперативному плані.

Вибір оптимальної технології виробництва полягає в мінімізації витрат виробництва на виконання річного замовлення. Математично це виглядає так:

$$B_{v_i} = B_{n_i} + v_{zm_i} \cdot N \rightarrow \min, \quad (3.1)$$

де  $B_{n_i}$  – постійні витрати виробництва на виконання річного замовлення  $i$ -ю технологією;

$v_{zm_i}$  – змінні витрати у розрахунку на одну продукцію за  $i$ -ою технологією;

$N$  – річне замовлення.

Цією залежністю стверджується, що не існує найкращих (абсолютно) з погляду витрат технологій, а існують найкращі технології для певного обсягу виробництва. Наприклад, з погляду логістики доцільно розглядати види

технологій виробництва залежно від використання ручної праці, тобто: ручна (1), механізована (2), автоматизована (3), автоматична (4). З одного боку, така послідовність технологій упорядкована зростанням капіталомісткості, тобто  $B_{n_1} < B_{n_2} < B_{n_3} < B_{n_4}$ , а з іншого, – спаданням питомих змінних витрат, тобто  $\epsilon_{зм_1} > \epsilon_{зм_2} > \epsilon_{зм_3} > \epsilon_{зм_4}$ .

Графічно вибір технології зображено на рисунку 3.2.

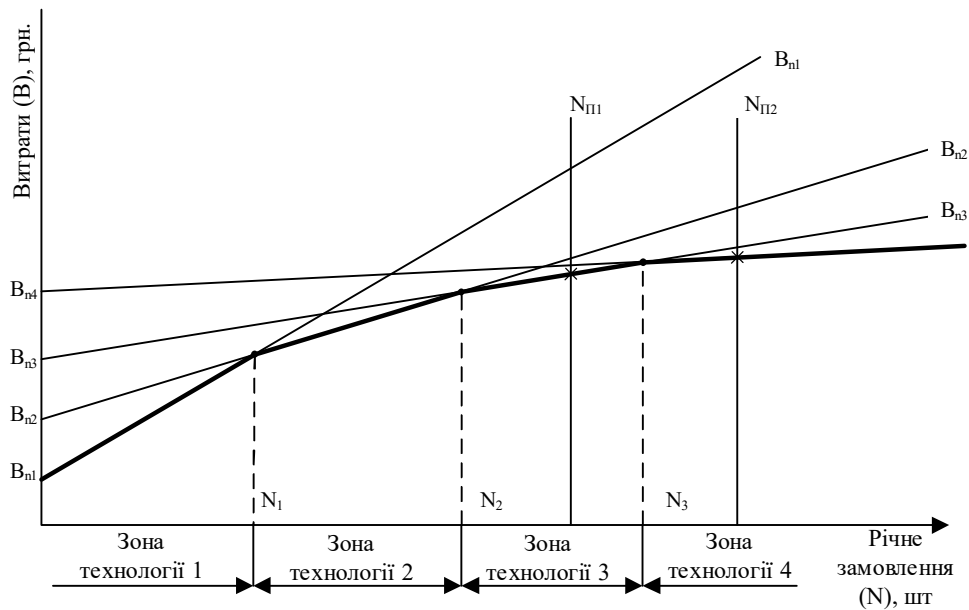


Рисунок 3.2 – Графічна інтерпретація вибору технології

Стратегічний аспект вибору технології ілюструє альтернатива базової оцінки попиту (на рис. 3.2  $N_{П1}$  – перший прогноз (песимістичний) і  $N_{П2}$  – другий прогноз (оптимістичний)). У разі прийняття за основу песимістичної оцінки прогнозу до реалізації має прийматися третя технологія як така, що забезпечує мінімум витрат виробництва. Однак у разі правдоподібності оптимістичної оцінки прогнозу прийнятою до реалізації мала б бути четверта технологія, в іншому разі підприємство нестиме щорічні надмірні змінні витрати виробництва за економії постійних витрат, які можна розрахувати за формулою:

$$\Delta B_{\epsilon_{(3-4)}} = (\epsilon_{зм_3} - \epsilon_{зм_4}) N_{П2} - (B_{n_4} - B_{n_3}). \quad (3.2)$$

Якщо ж до реалізації приймається оптимістична оцінка прогнозу, а настане песимістичний попит на продукцію, то будуть надмірні річні постійні витрати виробництва та економія на змінних витратах, які становитимуть:

$$\Delta B_{e_{(4-3)}} = (B_{n_4} - B_{n_3}) - (e_{3M_3} - e_{3M_4}) \cdot N_{П_1}. \quad (3.3)$$

Логістичний підхід до проектування власного виробництва вузлів і частин ґрунтується на:

- тривалості робочих операцій, складових часу проходження виробу;
- вартісних оцінках обумовлених при цьому витрат на виробництво.

Ці обставини і характеризують можливість застосування тієї чи іншої взаємозамінної технології виготовлення. Вибір технологій є актуальним як в довготерміновому, так і в середньотерміновому плануванні та ґрунтується на економічному порівнянні. Цим даються відповіді на такі запитання:

- який вплив мають постійні і змінні витрати на виконання замовлення;
- за якої величини замовлення, яка технологія має менші витрати тощо.

Із логістичного погляду доцільно розглядати прогресивніші технології, які вимагають значних капітальних витрат, але забезпечують низькі питомі змінні витрати, та прості (примітивні) технології, які не вимагають істотних капіталовкладень, однак характеризуються високими питомими змінними витратами.

### 3.2. Визначення оптимальної виробничої партії

Логічним продовженням оптимізації фази виробництва є оптимізація організації виробництва (щодо планування виробничої програми та керування її виконанням). Розглянемо першу проблему – логістичний аспект планування виробництва. Якщо процес планування зорієнтований на прискорення процесу виготовлення, то особливого значення з економічного погляду набуває формування внутрішнього замовлення, поділ його на партії визначених розмірів та фактори впливу на ці величини.

Загалом процес планування може ґрунтуватися на двох альтернативних підходах, а саме: або планування виробництва уможлиблює максимальне використання обладнання за потужністю за умови одночасного відповідного (похідного) використання його в часі, або мінімально необхідне використання потужності за стабільного повного часового використання.

Ці два підходи можна отримати, виразивши інтегральний коефіцієнт використання ( $K_B$ ) через добуток коефіцієнтів екстенсивного ( $K_e$ ) та інтенсивного ( $K_i$ ) використання.

Математично

$$K_B = K_e \cdot K_i. \quad (3.4)$$

Зрозуміло, що при  $K_B = \text{const}$  максимізація  $K_e$  вимагає відповідно зменшення  $K_i$ , і навпаки.

Формування внутрішнього замовлення (виробничої програми) та його доведення до виробничих підрозділів (робочих місць, обробних машин) має вирішальний вплив на скорочення загального часу робіт. Щодо характеру виробництва замовлення ділиться на дві групи:

- замовлення на виготовлення проміжних продуктів (окремих частин виробів, напівфабрикатів, колишніх покупних частин), які можна виробляти на власних виробничих потужностях;

- замовлення на виготовлення кінцевих продуктів у координації із плануванням збуту та реалізації продукції.

Безумовно, що основним у формуванні внутрішнього замовлення на виробництво слід уважати необхідність узгодження інтересів клієнта з організаційно-технічними та фінансово-економічними умовами та вимогами підприємства. Залежно від внутрішніх умов виробництва, зовнішніх можливостей кооперації й інтересів збуту (клієнтів) замовлення на виготовлення можуть бути диференційовані:

- замовлення незалежні від клієнтів (на склад);
- замовлення клієнтів на виготовлення партій кінцевих виробів;
- замовлення на виготовлення, залежні від клієнтів (складові частини).

Така диференціація дає змогу поставити питання про оптимальний поділ внутрішнього замовлення на партії, щоб мінімізувати загальні витрати.

Замовлення на склад можуть бути виконані як відповідні зміни структури майна на складі (наявність частин, вузлів та кінцевих виробів), зважаючи на характеристики попередньої динаміки застосування та результати стохастичного прогнозування попиту за видом, кількістю та терміном поставки. Такі замовлення з господарського погляду вигідні, якщо динаміка виконання попередніх замовлень ще не є достатньо специфікована (недостатня сформованість ринків збуту) та коли цього вимагає досягнення оптимального розміру партій, оскільки це забезпечить мінімізацію витрат.

Формування незалежного від клієнта замовлення є доцільним також для виготовлення стандартизованих виробів (арматури, підшипників, електродвигунів загального промислового призначення тощо) та для гарантування безперервного виробництва за нестабільних або сезонних замовлень клієнтів через створення запасу незавершеної продукції та готових виробів.

Під час формування замовлень на виготовлення партіями замовлення багатьох клієнтів можуть об'єднуватися для досягнення безперервності

виробництва та дотримання терміну поставки (бажань клієнтів). Однак терміни виготовлення окремої партії та терміни поставки за бажанням клієнтів можуть не збігатися, тому найпізніший термін виготовлення повинен збігатися із найбільш раннім терміном поставки. При цьому підприємство відчуває зустрічні тенденції накопичення затрат у сфері виробництва при формуванні партій та підвищення капіталовкладень у складське господарство.

- Треба зауважити, що «партійне» замовлення є доцільне у випадках:
- в мало- і середньосерійному виробництві для виробів однакових або декількох варіацій, тих, що регулярно повторюються в замовленнях клієнтів;
- для поліпшення використання виробничих потужностей у разі нестабільних замовлень клієнтів;
- дослідницьких замовлень.

Замовлення на виготовлення, що залежать від клієнтів, за своєю суттю ідентичні до відповідних замовлень клієнтів, однак специфіка може полягати у характеристиці зв'язків із споживачами.

Викладене щодо диференціації замовлень аргументує різноплановість проєктних рішень щодо формування виробничої програми, тобто внутрішнього замовлення, ґрунтуючись на параметрах зовнішнього середовища, а саме:

- яку за величиною партію необхідно виготовити в межах річної чи, наприклад, квартальної програми;
- уся кількість окремих виробів повинна виготовлятися одноразово чи партіями протягом певного періоду.

Зважаючи, що під партією розуміють кількість конструктивно однотипних частин (деталей, вузлів, кінцевих виробів), що виготовляються за відповідним технологічним процесом та вимагають одноразових витрат підготовчо-прикінцевого часу, можна вирізнити такі економічні варіанти:

- виготовлення однією партією вимагає лише одноразових підготовчо-прикінцевих витрат, що означає низьку виробничу собівартість одиниці продукції але великі капіталовкладення у запаси (замороження капіталу в матеріалах, незакінченій та готовій продукції) та складські витрати;
- виготовлення кількома партіями вимагає багаторазових підготовчо-прикінцевих витрат, що означає зростання виробничої собівартості одиниці продукції за одночасного зменшення витрат запасів та складського господарства.

Викладене аргументує необхідність розрахунків щодо визначення оптимальної величини та кількості партій. Ідея розрахунку оптимальної партії виробництва ґрунтується на пошуку мінімального рівня двох складових витрат, як це використано і у формулі Вільсона, а саме:

- витрати запасів виробництва (незакінченої продукції, півфабрикатів);
- витрати переналагоджування виробництва (аналогічні до витрат замовлення).

Як і у разі із розрахунком економічної величини замовлення, оптимальну величину партії виробництва  $N_{opt}$  можна розрахувати за формулою:

$$N_{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_3 \cdot B_{пер}}{S \cdot \frac{r}{100}}}, \quad (3.5)$$

де  $P_3$  – річне замовлення, одиниць;

$B_{пер}$  – витрати одноразового переналагоджування виробничої лінії;

$S$  – вартість одиниці виробу;

$r$  – вартість утримання запасів у відсотках від вартості виробу.

Графічно це виглядає як подано на рисунку 3.3.

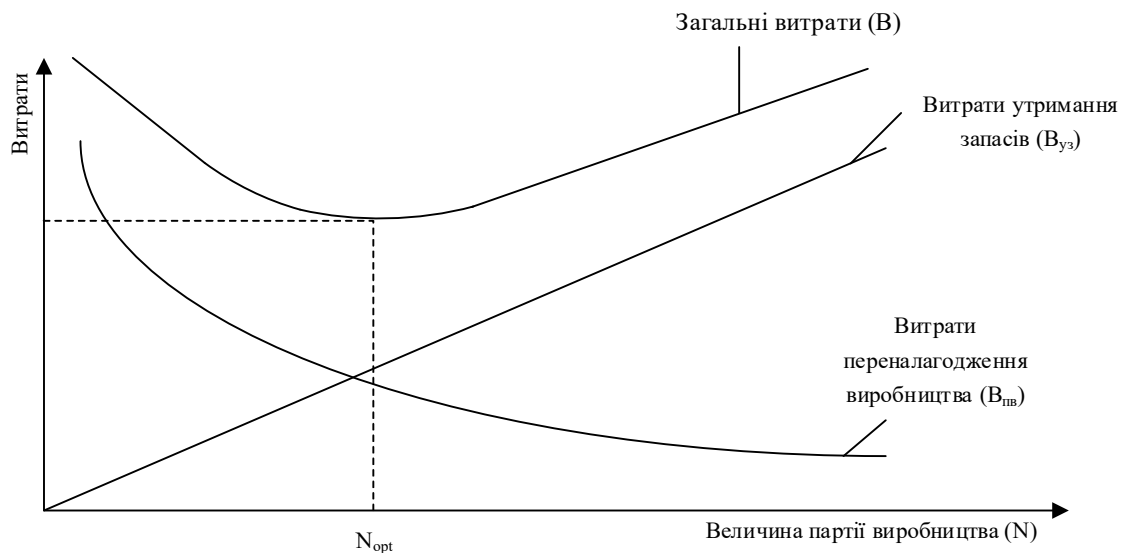


Рисунок 3.3 – Графічна інтерпретація визначення оптимальної величини партії виробництва

1. Формування економіко-математичної моделі виробничої собівартості одиниці продукції ( $S_v$ ) залежно від величини партії:

$$S_v = \frac{B_{пер}}{N} + S_n, \quad (3.6)$$

де  $S_n$  – загальні постійні витрати на партію виробів;

$S_n$  – змінні витрати на одиницю продукції;

$x$  – кількість продукції в партії, що визначається за формулою:

$$N = \frac{P_3}{n}, \quad (3.7)$$

де  $P_3$  – річне замовлення;

$n$  – кількість партій.

Тоді річні виробничі витрати становитимуть:

$$B_{\text{вир}} = S_B \times P_3 = B_{\text{пер}} \times n + S_n \times P_3. \quad (3.8)$$

2. Формування економіко-математичної моделі витрат, спричинених виготовленням та зберіганням на складі партії товарів. Ці витрати зумовлені потребою створення достатніх оборотних засобів для забезпечення виробництва всієї партії (матеріальні витрати, витрати на оплату праці, проміжне складування, транспорт тощо) та витрати зберігання на складі. За своєю суттю вони ідентифікують як витрати замороження капіталу. Тому на практиці ці витрати розраховують із використанням норми витрат у відсотках до собівартості. У розрахунках ця норма приймається в половину партії до максимуму у момент закінчення виготовлення партії. І процес циклічно повторюється стільки разів, скільки запускається партій (п).

Математично витрати на партію ( $B_{\text{уз}}$ ) виражають так:

$$B_{\text{уз}} = S_B \times N \times \frac{r}{2 \times 100}, \quad (3.9)$$

де  $r$  – норма витрат утримання запасів у виробництві, %.

3. Формування економіко-математичної моделі загальних витрат на річне замовлення:

$$\begin{aligned} B &= S_B \times P_3 + B_{\text{уз}} = \left( \frac{B_{\text{пер}}}{N} + S_n \right) \times P_3 + \left( \frac{B_{\text{пер}}}{N} + S_n \right) \times N \times \frac{r}{200} = \\ &= \frac{B_{\text{пер}}}{N} \times P_3 + S_n \times P_3 + \frac{B_{\text{пер}} \times r}{200} + \frac{S_n \times r \times N}{200}. \end{aligned} \quad (3.10)$$

4. Мінімізація річних загальних витрат. Для цього розрахунком першої похідної знайдемо значення  $x$ , за якого досягається екстремум функції:

$$\frac{dB}{dN} = -\frac{B_{\text{пер}} \times P_3}{N^2} + \frac{S_n \times r}{200} = 0. \quad (3.11)$$

Спростимо цю залежність:

$$S_n \times r \times N^2 - 200 \times B_{\text{пер}} \times P_3 = 0. \quad (3.12)$$

Тоді

$$N_{opt} = \sqrt{\frac{200 \times B_{пер} \times P_3}{S_H \times r}}. \quad (3.13)$$

Графічно цей алгоритм розрахунку показано на рисунку 3.4.

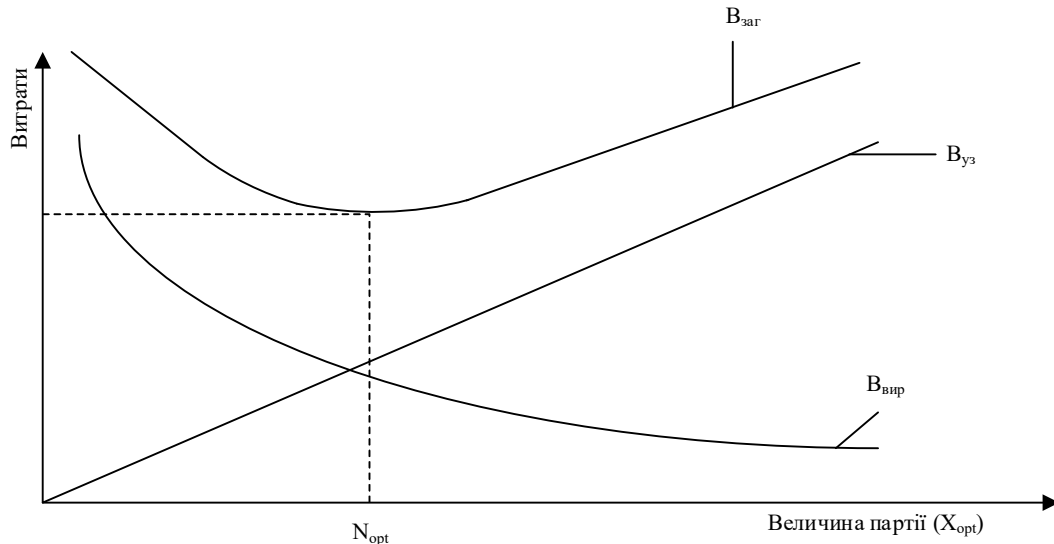


Рисунок 3.4 – Графічна інтерпретація розрахунку оптимальної величини партії:  $V_{заг}$  – загальні витрати ( $V_{заг} = V_{вир} + V_{уз}$ );

$V_{уз}$  – витрати утримання запасів;  $\left( V_{уз} = (B_{пер} + S_H \times N) \frac{r}{2 \times 100} \right)$ ;

$V_{вир}$  – річні виробничі витрати  $\left( V_{вир} = \left( \frac{B_{пер}}{N} + S_H \right) \times P_3 \right)$

Зауважимо, що розрахована у такий спосіб величина партії є орієнтиром, першим наближенням оптимальної величини партії, оскільки не були взяті до уваги інші істотні фактори впливу техніко-технологічного характеру, а саме:

- параметри транспортних та пакувальних контейнерів і продуктивність транспортної системи;
- термін служби інструментів і приладів;
- потужності проміжного складування;
- тривалість складових технологічного процесу виготовлення (наприклад, тривалість сушіння);
- параметри постачання матеріалів, частин, вузлів (наприклад, ритмічність).

Зважання на ці та інші «місцеві» фактори впливу змінить оптимальну величину партій у той чи інший бік. Однак безумовним є те, що формування



тієї чи іншої величини партії, а отже, і кількості партій у плановому періоді, впливає на процес накопичення загальних витрат на виготовлення продукції.

Щодо умов застосування викладеного підходу, то необхідно керуватись тим, що формування внутрішнього замовлення, залежного від клієнтів, дає змогу перенести розрахунок оптимальної величини партії на задній план А для формування замовлення, незалежного від клієнта, такий розрахунок є досить важливим, зважаючи на необхідність скорочення часу виготовлення та мінімізації загальних витрат як основних критеріїв конкурентоспроможності товарів.

Отже, складаючи виробничу програму та внутрішнє замовлення, крім безумовного регулятора, сформованого за результатами консолідації замовлень клієнтів, основним регулятором необхідно вважати і оптимальну величину партії, яка може бути також отримана і внаслідок інтеграції «іменних» та безіменних замовлень.

### **3.3 Оптимізація процесів на складі**

Оптимізація запасів ніколи не була легкою, але тепер доступні сучасні інструменти, які дозволяють компаніям виконувати роботу швидше, точніше і більше впливати на бізнес [12].

За останнє десятиліття оптимізація запасів змінилася з теоретичної конструкції, що належить до класу, на практичний інструмент, який підвищує прибутковість компанії. Основні рушійні сили у вигляді змінювання попиту та пропозиції є загальними для всіх ланцюгів поставок, тому й оптимізація запасів може застосовуватися до кожної окремої галузі.

Визнаючи значущість застосування оптимізації запасів, багато підприємств досягли значного поліпшення у продуктивності ланцюга поставок, зокрема:

- Case New Holland застосувала стратегію відтермінування, яка зменшила загальний запас на 20 % для своєї лінійки компактних тракторів.

- Компанія Hewlett Packard загальна економія запасів досягла більше ніж 130 млн доларів.

- Microsoft збільшила товарообіг запасів на 18–20 %, одночасно збільшивши темпи поповнення запасів на 6–7 %.

- Procter & Gamble знизила рівень запасів на 100 млн дол для свого відділу краси.

Ці результати не є винятками. Для підприємств, які здійснюють оптимізацію запасів, загальне скорочення запасів на 10–30 % є звичним явищем.

Протягом останніх десяти років росту оптимізації запасів сприяли чотири фактори:

- успіх ініціатив щодо вдосконалювання операцій;
- якнайшвидше узгодження попиту та пропозиції;
- зосередження уваги на показниках ефективності ланцюгів поставок;
- наявність комерційного програмного забезпечення оптимізації запасів.

По-перше, оптимізація запасів базується на, успішному реінжинірингу бізнес-процесів, ощадливому виробництві і шести сіigma-проектах (Six Sigma Projects). Це метод зменшення коливань виробничих, сервісних чи інших бізнес-процесів. Проекти Six Sigma оцінюють вартість переваг вдосконалення процесів, які створюють неякісні продукти або послуги. Як у промисловості, так і в галузі послуг такі проекти кількісно оцінюють вплив змінювання процесу на затримку або переробку. Мета кожного успішного проекту Six Sigma полягає в тому, щоб забезпечити статистично значущі покращення в процесі. З часом кілька проектів Six Sigma створюють практично бездефектну продуктивність. Хоча ці ініціативи різні, і кожен із них вартий своєї статті, мають відношення до оптимізації запасів, оскільки вони встановлюють чіткий взаємозв'язок між введенням і результатом ланцюгів поставок. Крім того, вони забезпечують якісну основу, яка може пришвидшити реалізовані вигоди від оптимізації запасів.

По-друге, підприємства працюють, щоб усунути грубі дисбаланси між попитом та пропозицією. Завдяки тому, що рівні потужності та плани закупівель матеріалів точніше відображають прогнозований попит, більше акцентується на правильному визначенні цільових показників запасів. Після глобальної фінансової кризи та наступного скорочення запасів в усьому світі більше немає надлишку виробничих потужностей або запасів, що залишилися, щоб задовольнити коливання попиту. Отже, ці коливаннями визначаються науково обґрунтованими цілями запасів, наслідком чого є необхідність перевіреного програмного забезпечення для оптимізації наскрізного ланцюга поставок.

По-третє, надмірно перебільшувалося значення показників, зокрема рівень обслуговування і час готівкового циклу (The cash to cash cycle), які потребують орієнтації ланцюга поставок і можуть бути поліпшені тільки за допомогою таких інструментів, як оптимізація запасів. The cash to cash cycle – період часу, коли компанія сплачує готівку своїм постачальникам для інвентаризації та отримує грошові кошти від своїх клієнтів. Ця концепція використовується для визначення суми готівкових коштів, необхідних для фінансування поточних операцій, і є ключовим фактором для оцінки потреб щодо фінансування.

По-четверте, розроблено програмне забезпечення, здатне вирішувати складні проблеми оптимізації запасів у глобальних мережах ланцюга поставок. На відміну від методів детермінованої оптимізації, на яких базуються новітні системи планування й розкладу (Advanced Planning and Scheduling Systems, APS), необхідно розробляти стохастичні методи нелінійного цілочислового розв'язку. Хоча метод передових систем планування й розкладу відрізняється від стохастичних методів нелінійного цілочислового розв'язку, він не є галузевою специфікою. Таким чином, те саме програмне забезпечення може застосовуватися в різних галузях, щоб оптимально встановлювати й керувати запасами.

### **3.4 Результати оптимізації запасів**

Розглянемо приклад застосування інструментів оптимізації запасів у компанії Procter & Gamble (рис. 3.5).

Це спрощена модель оптимізації запасів для одного типу продуктів (рідкий макіяж) у рамках усього ланцюга поставок Північної Америки. Ланцюг складається з 8 унікальних сировинних матеріалів, 10 порожніх некольорових незавершених матеріалів (далі – НМ), 24 кольорових НМ, 150 пакувальних матеріалів, 18 проміжних складань (частково зібраних готових виробів) і 75 готових виробів, які переміщуються з готової продукції на американські та канадські розподільчі центри і, врешті, до роздрібних клієнтів. Проміжні збірки також повинні задовольняти попит на рекламні товари. Загалом модель містить 500 етапів (ідентифікатор товарної позиції SKU) і понад 700 ланок (специфікація матеріалів між місцями розташування ідентифікатора товарної позиції).

Модель враховує наявні рівні обслуговування (наприклад цільовий рівень обслуговування, 99,5 %), час подачі матеріалу (зазвичай від 7 днів до 8 тижнів), час виробництва (1–2 днів), періоди огляду (7–28 днів), час транспортування й руху (1–7 днів), тривалості забезпечення якості (1–5 днів) і витрат, доданих у кожному місці. Характеристика попиту (середнє й стандартне відхилення) для кожного готового артикулу ґрунтується на останніх 13 тижнях фактичних відвантажень і прогнозів майбутніх 13 тижнів.

Застосування оптимізації запасів декількох ешелонів у складі косметичної партії косметики в ланцюгу поставок спричинило змінювання рівня й розміщення запасів при забезпеченні цільового рівня обслуговування на 99,5 %.

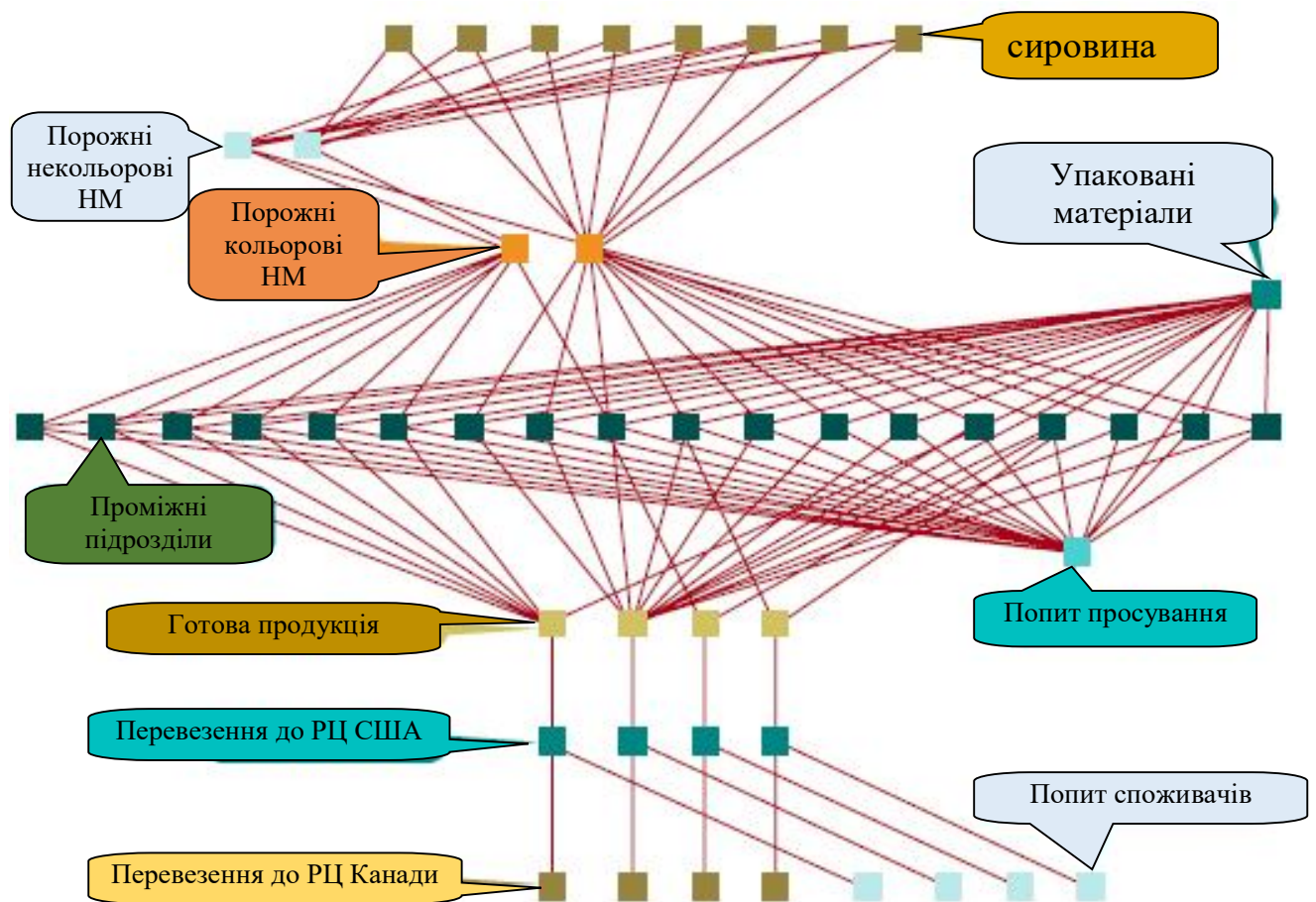


Рисунок 3.5 – Багатоешелонна система управління запасами в компанії Procter & Gamble

На рисунку 3.6 зображено огляд змін у кількості днів страхових запасів для чотирьох основних запасів, незавершеного виробництва, готової продукції на розподільчому центрі США та Канади. Спостерігається скорочення кількості днів запасів у матеріалах і готової продукції та збільшення кількості незавершених робіт.

Найголовніше, що загальний обсяг інвестицій у страховий запас для цього ланцюга поставок був знижений на 17 %, оскільки падіння запасів готової продукції та матеріалів у грошових одиницях значно переважувало збільшення грошових одиниць у незавершеному процесі. Це 17 % скорочення страхового запасу відповідає 5 % загального скорочення запасів для ланцюга поставок цієї продукції.

Аналогічні результати з декількома ешелонами були досягнуті виробником середнього розміру. Виробник керує двома різними підприємствами.

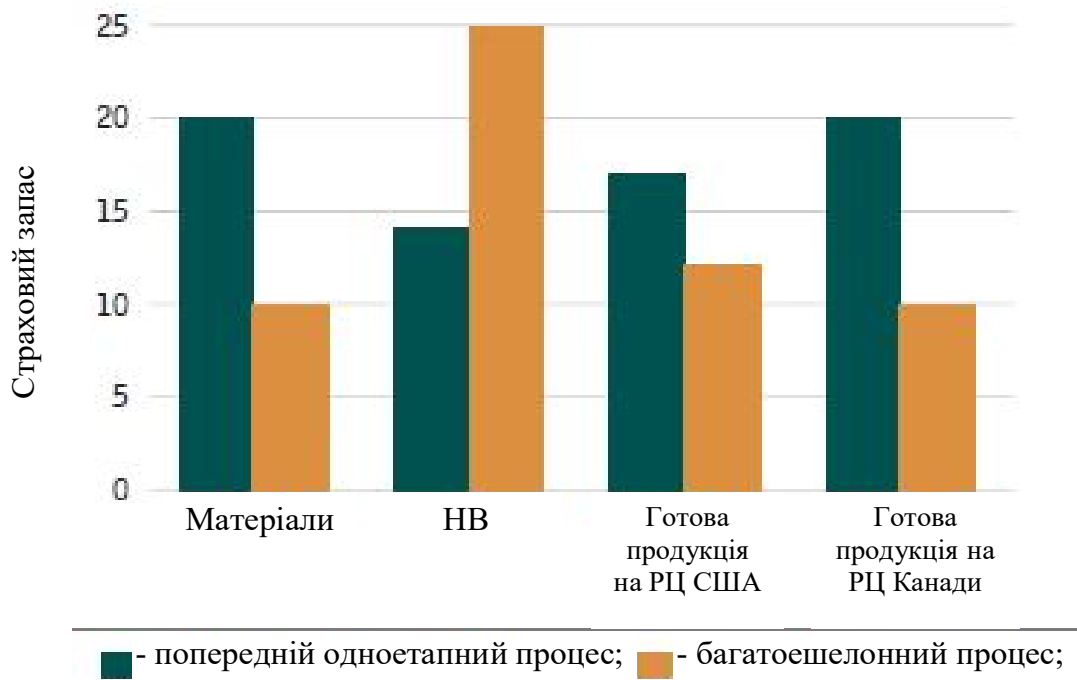


Рисунок 3.6 – Уплив оптимізації запасів на кількість днів страхових запасів

Один з них – імпорتنний бізнес, де підприємство працює як традиційний дистриб'ютор; в іншому бізнесі продукт проводиться в ланцюгу поставок із двох ешелонів готової продукції і сировини у Північній Америці. Після введення оптимізації запасів на сукупному рівні запаси сировини були збільшені, що дозволило знизити кінцеву продукцію. Фактично, загальне скорочення запасів перевищило 19 %.

Розглянемо інший приклад. На рисунку 3.7 подано порівняння стратегій управління запасами залежно від номера (артікулу). Артикул є рангом, упорядкованим за обсягом, до того ж A1 являє собою продукт найвищого рівня. Усі результати запасів надані за періоди поставки. У наявному правилі днів поставки (правилі «великого пальця») використовується чотири, п'ять або шість тижнів поставок для кожного артикулу. Результати оптимізації повністю свідчать про типову реалізацію. А саме, декілька артикулів дійсно збільшують свої рівні запасів. Це справедливо для A3, A4, A6 і A11. Фактично, коли цей результат був уперше наданий команді планування, оптимізація запасів була здійснена для того, щоб його спрогнозувати. Оптимізація запасів визначає рівень запасів, що базується на мінливості попиту та пропозиції, до того ж деякі продукти більш мінливі, ніж інші.

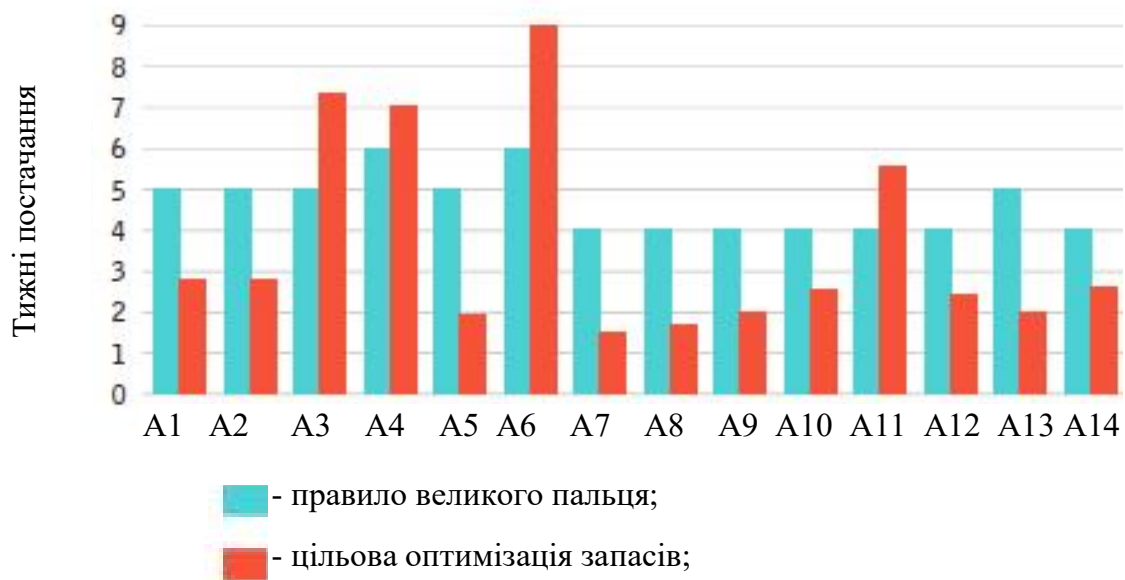


Рисунок 3.7 – Порівняння стратегій управління запасами правило «великого пальця» і цільової оптимізації запасів

Для всіх інших артикулів, оптимізація запасів уможлиблює (потребує) більш низьких рівнів запасів. Планувальники щодня керують «гарячим списком» товарів. Цей гарячий список не може бути нескінченно довгим. Якби це було так, тоді в них всього було б занадто мало, а це може відбутися тільки в тому разі, якщо існує вкрай недостатня ємність. Таким чином, той факт, що планувальники можуть керувати гарячим списком, означає, що за визначенням повинно бути занадто багато запасів для інших артикулів (оскільки цього тижня вони не включені в гарячий список). Скільки надлишкових запасів потрібно буде для інших артикулів, залежить від параметрів. Таким чином, тоді як артикули відрізняються від компанії до компанії, загальний результат є загальним для всіх компаній, які реалізують оптимізацію запасів (рис. 3.7).

## ТЕМА 4 ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ НА ТРАНСПОРТІ

### 4.1 Основні підходи до формування маршрутів доставки

Основні підходи до формування маршрутів доставки вантажу споживачам для міського сполучення наведені в роботі Ronald H. Ballou «Business Logistics Management» [13] (рис. 4.1).

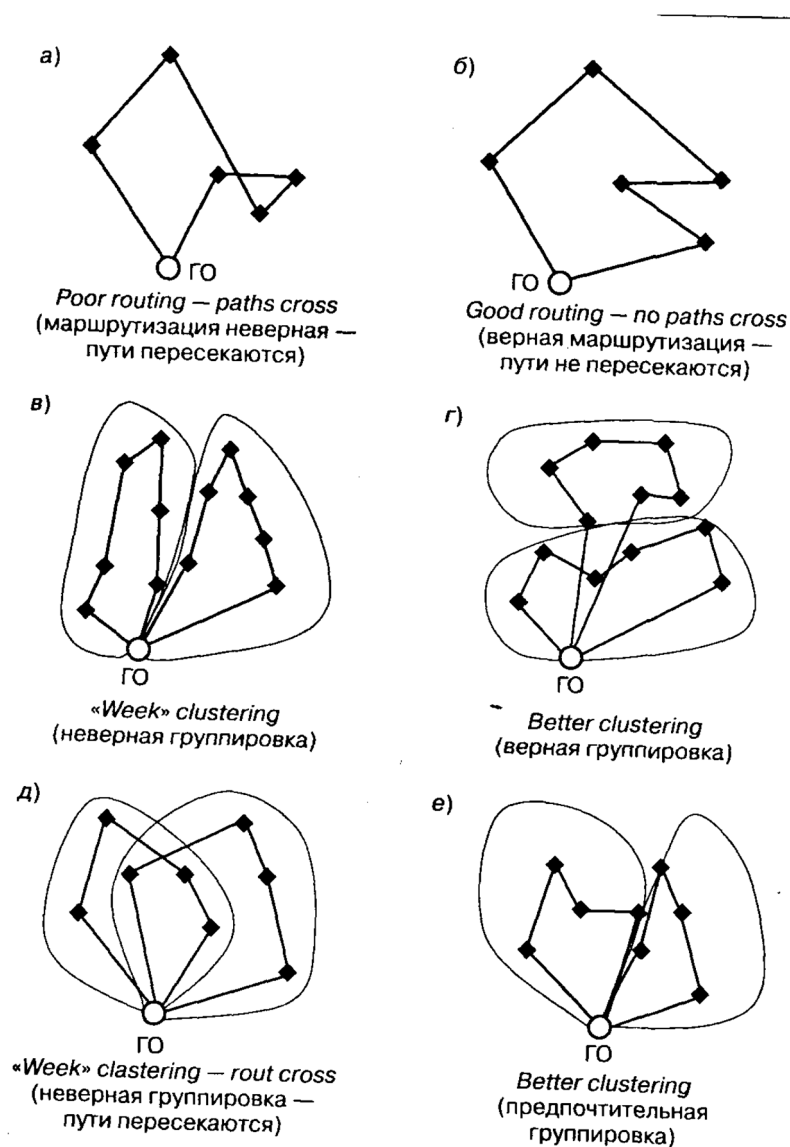


Рисунок 4.1 – Графічна інтерпретація вирішення завдань транспортної логістики (ГО – вантажоодержувач)

Порівняльний аналіз «поганого» і «гарного» варіантів свідчить про те, що формування маршрутів має будуватися на відомих принципах:

- шляхи проходження транспортних засобів не повинні перетинатися (рис. 4.1, а–б);
- виокремлення груп споживачів, що обслуговують, варто здійснювати одночасно з обліком максимально ефективного радіуса (рис. 4.1, в–г);
- не допускається перетину сфер обслуговування для різних транспортних засобів (рис. 4.1, д–і)

#### 4.2. Методи та критерії підвищення ефективності у логістиці останньої милі

Для більшості розвинених країн світу одним із проблемних питань сучасного міста є організація та забезпечення вантажного руху. Порівняно з традиційною проблематикою та підходами щодо підвищення ефективності організації транспортних потоків у містах забезпечення вантажного руху має свою специфіку, насамперед через значущість, із погляду забезпечення життєздатності сучасного міста. Серед ключових факторів, які обумовлюють зростання вантажного руху у межах міста, можна виокремити такі:

- розвиток ринку товарів та продукування штучних потреб;
- глобалізація та розвиток інтернет-торгівлі;
- зростання рівня сервісу торгівельних і сервісних організацій, зокрема комунальних.

Специфіка організації роботи вантажного і комунального транспорту обумовлює доцільність виокремлення цього питання як окремого об'єкта дослідження. Для вирішення цих проблем у розвинутих країнах застосовується системний підхід та базові логістичні концепції. Значно вищою порівняно з підприємствами України є ефективність транспортного обслуговування. Водночас питання підвищення ефективності функціонування вантажного транспорту в межах міста не втрачають актуальності. Як приклад, на рисунках 4.2–4.3 наведені результати обстеження роботи транспорту під час дистрибуції продовольчих товарів у Великобританії.

| Час | На<br>дорозі | Навантаження/<br>Розвантаження | Очікування<br>відправлення | Затримки<br>на дорозі | Щоденний<br>відпочинок | Обслуго-<br>вування | Простій<br>(пустий) |
|-----|--------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|---------------------|
| %   | 35 %         | 16 %                           | 12 %                       | 4 %                   | 6 %                    | 6 %                 | 21 %                |

Рисунок 4.2. – Розподіл часу вантажних транспортних засобів, що використовуються у Великобританії під час дистрибуції продовольчих товарів (джерело: A. McKinnon Retail Logistics)



Результати обстежень, отриманих під час дистрибуції продовольчих товарів по м. Харків, свідчать про значно більші витрати часу на навантажувально-розвантажувальні роботи та простой з причин наявності проблем у точках доставки – до 60 % витрат робочого часу. Окрім того, затори на дорозі становлять 3–6 % робочого часу.

| <b>Затримки</b> | <i>Проблеми точок доставки</i> | <i>Затори на дорозі</i> | <i>Дії власників компаній</i> | <i>Проблеми збору вантажів</i> | <i>Псування</i> | <i>Нестача водіїв</i> | <i>Немає єдиної причини</i> |
|-----------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
| <b>%</b>        | 31 %                           | 23 %                    | 13 %                          | 10 %                           | 2 %             | 2 %                   | 19 %                        |

Рисунок 4.3 – Причини затримок вантажних транспортних засобів, що використовуються у Великобританії під час дистрибуції продовольчих товарів (джерело: A. McKinnon Retail Logistics)

Вища ефективність транспортного обслуговування в розвинутих країнах світу обумовлена низкою факторів:

- загальний вищий рівень виробничої культури;
- більш розвинута та якісна інфраструктура як транспортних систем так і окремих організацій;
- використання сучасних інформаційних технологій, зокрема інтелектуальних транспортних систем;
- вирішення проблем організації роботи вантажного та комунального транспорту на рівні органів місцевої влади.

Прикладом цього є місто Відень, де використано інформаційні технології (програма ILOS) для оптимізації і планування міських вантажних потоків, унаслідок чого отримано зменшення часу на маршрутах, їх довжини і, як наслідок, витрат палива та коштів.

Необхідно виокремити приклади залучення залізничного та водного видів транспорту під час організації міських вантажних перевезень. Зокрема, таким прикладом може слугувати використання інфраструктури міського пасажирського транспорту (трамвая) для вантажних перевезень між виробничими ділянками концерну Volkswagen у Німеччині, м. Дрезден.

Підвищити ефективність функціонування вантажного транспорту, зокрема у межах міста, можна шляхом застосування необхідної методології наукових досліджень, що базуються на сучасних методах і моделях та сприяють полегшенню вирішення проблеми функціонування транспорту в логістичних системах. Класифікація моделей і методів теорії логістики

детально проаналізована професором В. С. Лукінським (рис. 4.4) [14].

Автор зазначає, що запропонована структуризація методів і моделей не дає змоги відслідкувати зв'язок із вирішенням конкретних завдань, що виникають під час виконання логістичної діяльності. Із огляду на це запропоновано інший підхід до класифікації, що базується на аналізі конкретних моделей (рис. 4.5).



Рисунок 4.4 – Укрупнена структуризація моделей і методів наукової бази теорії логістики [14]

Моделі розподілені на три класи: перший клас містить моделі і методи, що призначені для вирішення завдань в умовах визначеності, без обмежень з боку зовнішнього середовища; другий клас – в умовах ризику і невизначеності, але без конкуренції; третій клас – моделі і методи вирішення в умовах конкуренції. Методи і моделі третього класу базуються на теорії ігор та відносно мало використовуються в теорії логістики.

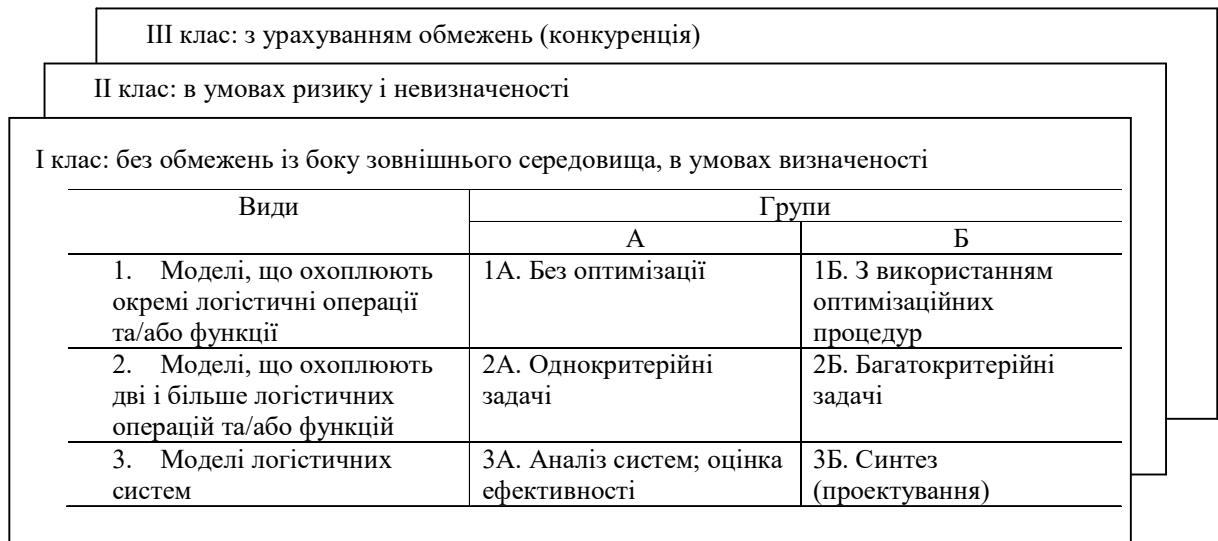


Рисунок 4.4 – Класифікація моделей і методів прикладної теорії логістики [14]

Методи і моделі вибору альтернативних рішень у логістичних системах здебільшого ґрунтуються на експертній оцінці, тому що базою для них є якісні параметри. Експертні методи, що застосовуються кваліфікованими спеціалістами, дають змогу адекватно оцінити ситуацію. Проведені експерименти свідчать, що під час застосування необхідної методики експертної оцінки похибка результату становить 5–10 % і є допустимою під час вимірювальних дослідів.

У логістиці набули поширення різноманітні методи моделювання, зокрема аналітичне та імітаційне. У аналітичному моделюванні для побудови математичної моделі використовується математичний апарат. Середовища міської логістики можуть бути оцінені комплексними моделями, що описують міську інфраструктуру, транспортні засоби, а також вплив і поведінку різних зацікавлених сторін. Під час побудови моделей особливої уваги потребує відбір вихідних даних, що базується на системному підході. Системний підхід застосовується щодо планування процедури постачання логістичних послуг міста, підтримання запасів, що залежать від часу поїздки.

Елементи системи міської логістики та їхніх взаємовідносин подано на рисунок 4.6.

Цілі стрілки позначають відомий підхід моделювання та вирішення аналітичних завдань, які можна описати за допомогою моделей, що включає визначення проблеми, цілей і критеріїв, з наступним визначенням, оцінюванням, відбором та реалізацію рішення. Наприклад, концепція міської логістики спрямована на загальну оптимізацію міської транспортної системи.



розглянуті.

Під час збору даних потрібно встановити раціональну основу для аналізу, наприклад, на основі оперативних даних або даних датчиків.

Моделі забезпечують спрощене уявлення міської вантажну транспортну систему. Вони дозволяють оцінити результати різних змін у системі без її фактичного змінювання.

Оцінка включає методичне порівняння альтернатив на основі споживання енергії, економічних, соціальних, фінансових і екологічних причин.

Аналіз чутливості досліджує мінливість прогнозованих наслідків альтернатив стосовно припущень, зроблених у межах моделі.

Відбір, реалізація та огляд стосуються вибору найкращої альтернативи, упровадження нових операційних і організаційних процедур, а також дослідження, якщо вихідне завдання було вирішено, і цілі досягнуті.

Щоб розширити загальну систему планування для маршрутизації в міській логістиці, застосовується системний підхід. Ефективна і клієнт-орієнтована доставка вантажів має вирішальне значення для розвитку життєздатних вантажних перевезень (визначення проблеми). Метою є зниження експлуатаційних витрат і підвищення якості обслуговування, беручи до уваги перевантаженість міської дорожньої інфраструктури. Надійність доставки, загальний час поїздки і загальна відстань, як і кількість використовуваних транспортних засобів, визначають критерії оцінки системи планування для маршрутизації в міській логістиці.

Досліджуючи підходи та методи підвищення ефективності функціонування вантажного транспорту в межах міста, увагу необхідно приділити аналізу інформаційних моделей та моделей оптимізації. Оптимізаційні моделі формуються відповідно до заданих критеріїв оптимізації перевезення вантажів. Інформаційні моделі дозволяють отримати інформацію про типові стани транспортних засобів, наприклад, дорожньої мережі. Стосовно маршрутизації ця інформація представлена шляхом розширення цифрових дорожніх карт, які можуть забезпечити більш ефективні альтернативні поїздки завдяки усуненню нераціонального використання інфраструктури. Оцінку, відбір і реалізацію моделі проводять на основі розширення систем планування, які складаються із декількох варіантів планування наборів даних і процедур оптимізації. Обчислювальні експерименти дозволяють порівняти побудовані моделі і, як наслідок, якість доставки щодо певних критеріїв.

Представлений системний підхід спрямований на покращення міських вантажних перевезень із розгляду цілей різних зацікавлених сторін, що

забезпечує збільшену картину системи міських вантажних перевезень та її компонентів і відносин. Основна увага приділяється перспективам забезпечення міських логістичних послуг та оптимізації доставки в рамках міської логістики. Але й досі спостерігається невідповідне застосування загальної системи планування. Концепція системи планування міської логістики зосереджена на раціональній взаємодії збору даних і вирішення проблеми.

У роботі [16] розглянуто різні підходи щодо моделювання міського вантажного транспорту окрім їхніх переваг і недоліків. Зокрема, моделі попиту класифіковані залежно від особливостей посилення блоку в чотирьох класах: транспортний засіб, товар, доставка та змішані.

Моделі, що базуються на транспортних засобах, дозволяють моделювати поточні сценарії, але їх важко використовувати для аналізу прогнозування. Їхньою перевагою є простота збору даних, що полегшує калібрування та перевірку. Тим не менш вони не можуть належним чином врахувати зміни в попиті.

Підхід, що базується на товарах, дозволяє моделювати основні механізми, які є базовими для попиту на вантажні перевезення, але мають два важливі недоліки. По-перше, тільки деякі специфічні розміри вибірки були досліджені. По-друге, існує необхідність отримання даних з погляду кількості вантажних потоків у транспортних і логістичних операторів. Практика збору бази даних попиту на вантажні перевезення від приватних компаній свідчить про важкодоступність цієї інформації, багато виробників та дистриб'юторів не хочуть оприлюднювати інформацію, що може вплинути на їхній бізнес. До того ж процес характеризується значними витратами.

Моделі доставки найпривабливіші, тому що вони використовують той самий опорний блок транспортних і логістичних операторів, а на сьогодні розроблені тільки статистично описові моделі. Їх недоцільно використовувати для прогнозування. Існують також обмеження щодо отримання даних від транспортних і логістичних операторів щодо відомостей поставок.

Змішані моделі є найпривабливіші. Вони дозволяють об'єднати три попередні опорні блоки і створити прямий зв'язок між взаємодіючими елементами системи – споживачами, постачальниками, вантажовідправниками, роздрібною торгівлею, а також поведінкою зацікавлених сторін.

У роботі [16] зроблено висновок, проте що, хоч і наявний прогрес підвищення ефективності вантажних перевезень у межах міста, необхідно, щоб моделі були прив'язані до потреб виробників для того, щоб правильно оцінити вплив реалізації нової політики міської логістики. Водночас недостатньо дослідженим є зв'язок між політикою (засоби організації та

підвищення ефективності) та поведінкою зацікавлених сторін.

Дослідження має спрямовуватись на розгляд загальних меж моделювання, щоб імітувати рух товарів у міському масштабі, що поєднує пасажирів, магазини і товарні потоки, з урахуванням механізму локалізації вантажних центрів, майданчиків і торгових центрів. Зазначені вище цілі можуть включати вивчення динамічної еволюції взаємодій для обох короткострокових і довгострокових ефектів: короткострокові ефекти розглядають поведінковий процес купівлі клієнтів і міський вантажний транспорт та логістику, щоб визначити повну архітектуру моделювання. Довгострокові ефекти можуть включати транспорт, землекористування, здебільшого розробку моделей локалізації міських розподільчих центрів і великих торгових центрів.

Таким чином, наявна ситуація щодо організації руху вантажного транспорту в містах України значною мірою визначає проблеми підвищення ефективності транспортного обслуговування клієнтів комерційних організацій. Світовий досвід свідчить про необхідність вивчення та опрацювання питання функціонування вантажного транспорту в межах міста на рівні органів місцевого самоврядування. Організація вантажного руху в сучасному місті є дієвим чинником поліпшення екологічної ситуації, забезпечення ефективної життєдіяльності міста, комерційної ефективності товароруху.

## ТЕМА 5 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Ефективність логістичної системи – це показник (або система показників), який характеризує рівень якості функціонування логістичної системи за заданого рівня загальних логістичних витрат. З погляду споживача, який є кінцевою ланкою логістичного ланцюга, ефективність логістичної системи визначається рівнем якості обслуговування його замовлення [17].

Наслідком зростаючої зацікавленості підвищення ефективності всього логістичного ланцюга є підвищення вимог і до системи оцінних показників, яка в цьому разі має забезпечувати інтегральну оцінку логістичних процесів.

Основним критерієм такої ефективності здебільшого вважають *мінімізацію логістичних витрат*. Без сумніву, орієнтація на мінімізацію витрат актуальна, але за умови досягнення необхідного рівня логістичного сервісу. Через це популярності набула багатокритеріальна оцінка ефективності функціонування логістичної системи.

Найбільш розповсюдженими є такі критерії оцінки: витрати, задоволення споживачів / якість, час, активи.

*Витрати.* Фактична величина витрат, пов'язаних із виконанням певних логістичних операцій, найбільшою мірою відображає результати логістичної діяльності. Величину витрат зазвичай виражають або загальною грошовою сумою витрат, або грошовою сумою з розрахунку на одиницю продукції (питомі витрати), або часткою в обсязі продажів. За кордоном аналіз логістичних витрат зазвичай здійснюється у відсотковому відношенні до ВВП (для країни загалом) або обсягу продажів готової продукції фірми (галузі).

*Задоволення споживачів / якість.* Наступна група логістичних показників стосується обслуговування споживачів. Ці показники характеризують здатність фірми досягти повного задоволення запитів своїх клієнтів.

До підсумкових показників цієї групи належать досконале замовлення, задоволення споживачів і якість продукції.

Серед сучасних підходів щодо оцінки сукупної ефективності всіх операцій, спрямованих на задоволення споживачів, найцікавішою є *концепція досконалого замовлення*. Досконале замовлення – це найвищий критерій якості логістичних операцій, оскільки «досконале замовлення» є мірилом загальної ефективності всієї інтегрованої діяльності фірми, а не окремих функцій. Цей показник характеризує, наскільки рівномірно і безперервно відбувається виконання замовлення на всіх етапах, тобто наскільки налагоджено весь багатоетапний процес управління замовленням і чи не виникають збої.



*Досконале замовлення* – це організація роботи, яка відповідає таким нормативам [17]:

- 1) повна доставка всіх виробів за всіма замовленими товарними позиціями;
- 2) доставка в необхідний споживачу термін із допустимим відхиленням в один день;
- 3) повне і акуратне ведення документації щодо замовлення;
- 4) бездоганне дотримання погоджених умов постачання (якісна установка правильна комплектація, готовність до використання і відсутність замовлень).

Сьогодні найкращі логістичні організації демонструють рівень досконалого замовлення в 55–60 % усіх своїх операцій, тоді як більшості інших не вдається досягнути і 20 % [6].

Задоволення споживача оцінюється його сприйняттям термінів виконання замовлення (тривалості функціонального циклу), елементів досконалого виконання замовлення та здатності фірми реагувати на стан замовлення та запиту (претензії), що висуваються. Важливими показниками задоволення споживачів є такі:

- доставка до призначеного терміну – частка замовлень, виконаних до призначеного терміну або раніше;
- витрати гарантійного обслуговування – рівень середніх фактичних витрат на гарантійне обслуговування в доході;
- час реакції на претензії споживачів та їх задоволення: час реакції претензії;
- середній термін між надходженням заявки від клієнта та його контактом з відповідним представником компанії;
- час задоволення претензій;
- середній термін до повного задоволення вимог клієнта.

Якість продукції характеризують: частота зіпсування продуктів, вартість зіпсованих продуктів, кількість претензій, кількість повернень товарів від споживачів, вартість повернених товарів.

*Час.* Часові показники є мірою спроможності фірми швидко реагувати на запити споживачів. Інакше кажучи, вони фіксують, який час проходить від підтвердження клієнтом наміру зробити покупку до моменту, коли продукт надходить у розпорядження покупця.

Ключовими показниками часу виконання замовлень є такі:

- тривалість виробничого циклу від замовлення на поставку ресурсів до випуску готового продукту – кумулятивний термін зовнішніх та внутрішніх поставок, необхідних для створення готового до відправлення продукту, якщо при надходженні від споживача замовлення на цей продукт був відсутній

наявний запас і не було розміщено замовлення на поставку виробничих компонентів;

- час реакції ланцюга поставок – теоретичний час, необхідний для виявлення та фіксації важливих змін ринкового попиту, внесення відповідних коректив в оперативні плани і збільшення виробництва продукції на 20 %;

- виконання виробничого плану – середня фактична частота повного (+ 5 %) дотримання календарних планів випуску продукції.

*Активи.* Предметом оцінювання активів є ефективність використання капіталу, вкладеного в споруди та устаткування, а також обігового капіталу, пов'язаного із запасами. Оцінка управління активами показує, наскільки швидко обертаються обігові активи (зокрема запаси) і наскільки успішно основні засоби окупляють вкладені в них інвестиції.

Ключовими діагностичними показниками використання активів є такі:

- точність прогнозів – ретроспективна оцінка на основі найближчого за часом трьохмісячного періоду безпомилкових, у середньому, прогнозів попиту;

- старіння запасів – витрати у зв'язку зі старінням запасів у відсотках від їх середньої вартості;

- завантаження потужностей – частка завантажених потужностей у загальному обсязі наявних потужностей.

Типовими показниками ефективності використання логістичних активів також є: тривалість операційного циклу, оборотність запасів (в обертах і днях), рентабельність сукупних активів, рентабельність обігового капіталу, рентабельність основного капіталу, рентабельність інвестицій тощо.

Перелічені абсолютні логістичні показники самі по собі мають невелике значення, однак вони можуть бути використані для порівняння [17]:

- із абсолютними стандартами – кращими результатами, яких взагалі можна досягти;

- із цільовими стандартами, встановленими на основі цілей, які є реальними та досяжними;

- з попередніми стандартами, коли аналізуються результати, отримані раніше;

- зі стандартами конкурентів, коли вивчаються результати роботи конкурентів.

Для вимірювання ефективності логістичної системи зазвичай застосовують *фінансові показники*, які дуже популярні, оскільки прості для розрахунків, виглядають переконливо, дозволяють системно підходити до аналізованих проблем і співставляти отримані результати. Однак вони мають

певні недоліки, пов'язані насамперед із тим, що вони швидше відбивають колишні результати, а не поточні, повільно реагують на зміни, залежать від низки бухгалтерських прийомів і не враховують важливих аспектів логістики. Фінансові показники можуть засвідчити, що щось іде не так, але не показують, що саме йде не так або як це можна скорегувати.

Протягом останніх років актуальності набув новий підхід щодо визначення ефективності логістичної системи – концепція «діаграм збалансованих переваг» [17]. Ця концепція базується на врахуванні ключових показників ефективності, здебільшого не тільки фінансових, які надають керівництву компанії більш досконалі засоби досягнення стратегічних цілей порівняно з методами, що використовують традиційні оцінки, значною мірою зорієнтовані на вимір фінансових показників. До того ж ключові показники ефективності визначаються безпосередньо стратегічними цілями компанії.

Для побудови такої діаграми пропонується використати чотириступеневий процес:

- 1) формулювання стратегії управління логістичним ланцюгом;
- 2) виявлення реально вимірюваних параметрів досягнутого успіху;
- 3) визначення процесів, що впливають на кінцеві результати;
- 4) визначення основних драйверів ефективності цих процесів.

У наведеній схемі передбачається, що трьома основними проявами успіху є *якість, швидкість і дешевизна*. Ці цілі мають велике значення, оскільки поєднують оцінки ефективності з погляду уявлення покупця на якість із внутрішніми показниками використання ресурсів та активів.

Оскільки «те, що піддається виміру піддається й управлінню», очевидно, що після проведення подібних вимірів увагу керівників буде спрямовано на вирішення цих ключових проблем.

Інший підхід до оцінки ефективності логістичної діяльності й поліпшення функціонування логістичного ланцюга полягає в усвідомленні структури логістичних процесів [17]. Такий підхід становить складання *карти процесу* – схеми потоків, що виникають у разі надходження замовлення від покупця і закінчуються поставкою товару.

Складання карти процесів, які відбуваються в логістичному ланцюзі, є першим кроком на шляху до розуміння можливостей підвищення їх ефективності за рахунок реінжинірингу. Таки реінжиніринг базується на ідеї про існування часу, «що збільшує цінність» (час, витрачений на виконання дій, що забезпечують вигоди для потенційних покупців), окрім існування часу, «що не збільшує цінність» (час, витрачений на здійснення діяльності, відмова від виконання якої не призведе до зниження вигід для покупця).

Ефективність логістичного ланцюга згідно з цим методом може бути визначена як

$$E = \frac{Ч_{ц}}{Ч_{лл}} \cdot 100 \%, \quad (5.1)$$

де  $E$  – ефективність логістичного ланцюга;

$Ч_{ц}$  – час, що збільшує цінність;

$Ч_{лл}$  – часова довжина логістичного ланцюга.

Ця величина нерідко становить менш 10 %. Для збільшення цього показника ефективності насамперед необхідно домогтися всебічного розуміння аналізованих логістичних процесів і зменшити час, який не збільшує цінності.

## **ТЕМА 6 ЕКОНОМІЧНА, СОЦІАЛЬНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНОСТІ ПІД ЧАС ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ У ЛОГІСТИЧНІЙ СИСТЕМІ**

Логістична система є найважливішим складником, що впливає на всі ланки господарської діяльності підприємства. Вона характеризується наявністю великої кількості елементів та складністю їхньої взаємодії [18], тому питання потужності логістичної системи мають вирішувати як керівники підприємств, так і менеджери всіх рівнів. Це зумовлює необхідність керування нею на основі максимальної ефективності роботи всього підприємства, а не максимальної ефективності функціонування окремих підсистем.

Під потужністю логістичної системи варто розуміти її максимальні можливості, які формуються у випадку раціональної організації підприємством логістичних ланцюгів.

Потужність логістичної системи має формуватися на основі вирішення таких завдань:

- формування оптимальної виробничої програми, що максимально чиним відповідає структурі споживчого попиту;
- розроблення алгоритму змінювання виробничої програми у разі коливань попиту;
- обґрунтування раціональних логістичних ланцюгів на основі вибору необхідних способів транспортування;
- оптимізація виробничих і збутових запасів на кожному рівні логістичної системи;
- оптимізація часу руху матеріальних, фінансових та інформаційних потоків;
- оптимізація загальних витрат у процесі руху матеріальних, фінансових та інформаційних потоків.

У процесі оптимізації та прогнозування потужності логістичної системи традиційними залишаються завдання, пов'язані з управлінням матеріальними, фінансовими та інформаційними потоками.

Оптимізація потужності логістичної системи базується на методах моделювання і передбачає розв'язання чотирьох основних завдань: оптимізації запасів, часу руху матеріальних потоків, оптимізації виробничих програм, оптимізації логістичних витрат. На рисунку 6.1 подано узагальнену класифікацію моделей оптимізації потужності логістичної системи.

Застосовують багато критеріїв для оцінки ініціатив у логістиці, оскільки в русі міських товарів беруть участь численні зацікавлені сторони [19].

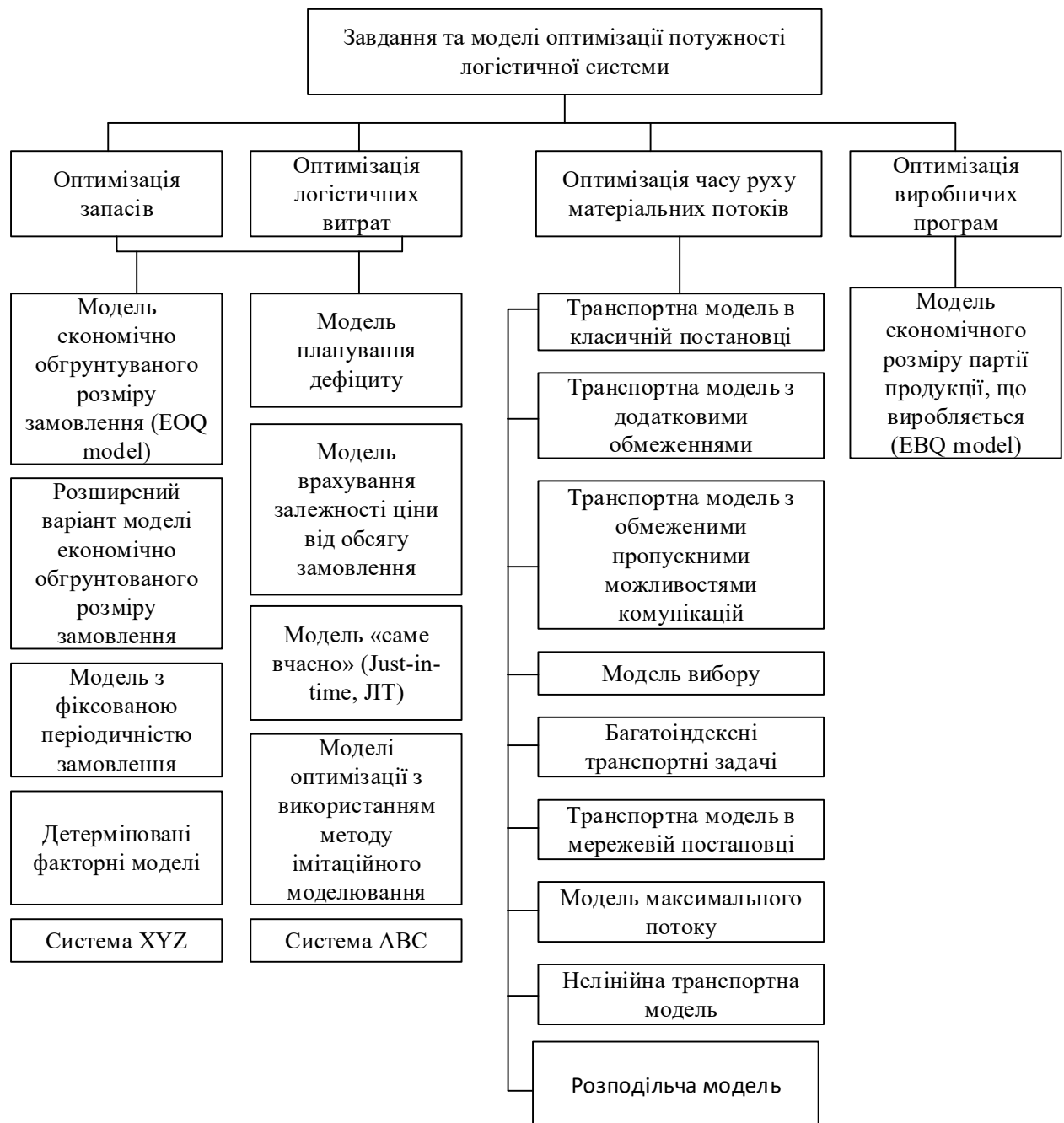


Рисунок 6.1 – Класифікація моделей оптимізації потужності логістичної системи [18]

Мінімізація витрат або максимізація прибутку є типовим критерієм для вантажних перевізників та вантажовідправників. Мінімізація викидів  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ , рівня шуму, рівня вібрації і дорожніх аварій може бути критерієм для мешканців і адміністраторів. Оскільки для кожної зацікавленої особи використовують низку критеріїв оцінки, важко визначити єдину оцінку ініціатив у сфері матеріально-технічного забезпечення міст.

Процес прийняття рішення може спрямовуватися на оцінку окремого проекту або співставлення декількох альтернативних проектів. У першому

випадку розглядаються економічні, фінансові та інші наслідки здійснення конкретного проєкту, зокрема будівництво нової дороги. У другому випадку процес прийняття рішення має допомогти обрати найоптимальніше з можливих рішень, економічні або фінансові наслідки яких були визначені раніше. Прикладом може слугувати вибір між різними можливими вирівнюваннями для певної дороги [19].

Оскільки цей захід призначений для підтримання процесу прийняття рішення, оцінка обов'язково залежить від точки зору прийняття рішень. Класичним прикладом такої залежності є різниця між фінансовим і економічним аналізом проєкту. Фінансовий аналіз традиційно асоціюється з приватними операторами, які намагаються максимізувати прибуток в умовах обмежень, зокрема регулювання, зобов'язання щодо обслуговування, вимоги. У цьому разі вигоди й витрати виражаються в грошовому еквіваленті: перші формуються із доходів від продажу послуг та субсидій, якщо такі є, а другі – із фінансових витрат на виробництво послуг, зокрема будівництво, технічне обслуговування та експлуатаційні витрати, збори, податки тощо.

Економічний аналіз традиційно асоціюється з особою, яка приймає розв'язання в державному масштабі. Оцінка альтернативних проєктів здійснюється з урахуванням їхніх вигод і витрат (загальних позитивних і негативних наслідків) щодо цілей громади, або, швидше, різних груп у суспільстві, які є однорідними з погляду їх соціально-економічних характеристик і впливу на них проєктів. Дійсно, деякі користувачі транспортних систем можуть скористатися перевагами конкретного проєкту (зменшення часу і витрат на поїздки, підвищення доступності тощо), тоді як інші можуть отримати від нього менше переваг або навіть недоліки (збільшення часу та витрат на поїздки тощо). Це може трапитися в міських районах, наприклад, унаслідок переміщення заторів з однієї зони в іншу через стратегії управління сигналами руху, зарезервованих смуг для громадського транспорту, зон обмеженого доступу тощо. Водночас, як і в разі з іншими системами, у країнах (наприклад в країнах з низьким рівнем шуму і забрудненням повітря), у країнах, що розміщуються в зоні поблизу нової автомагістралі або нового аеропорту, переваги для користувачів системи ще очевидніші.

У результаті розгляду зовнішніх наслідків проєкту було додатково розширено перспективу й діапазон наслідків, що розглядаються в процесі оцінювання транспортного проєкту. Це вплив на членів суспільства, які безпосередньо не беруть участі у використанні транспортної системи. Нижче наведено приклади впливу на некористувачів, які розподіляються на економічні, земельні, соціальні та екологічні наслідки. Варто зазначити, що

класифікація деяких впливів може бути довільною, а аналітики не завжди згодні з визначенням деяких із них.

Економічні наслідки можуть бути визначені як зміни в стані економічної системи, пов'язані з проєктом, що передбачає змінювання вартості житлової та комерційної нерухомості і економічного виробництва, спричинені змінами в доступності, а також змінювання економічних наслідків аварій, прямо або побічно пов'язаних з проєктом. Економічні зовнішні чинники безпосередньо вимірюються в грошових одиницях або, принаймні, можуть бути легко переведені в такі одиниці.

Соціальні наслідки визначаються, як вплив на соціальні цінності і зміни у відносинах між людьми та соціальними установами, такими як сім'я, місцеві громади, освіта, державні органи, тощо, зазначені в проєкті. У цьому разі виникають наслідки різних видів: соціальні наслідки аварій, зміни в доступі до соціальної діяльності (школи, державні установи, парки тощо), зміни в згуртованості і стабільності місцевих громад, а також наслідки для історичних і культурних об'єктів.

Зміни в соціальній справедливості, тобто зміни в розподілі пов'язаних із поїздками можливостей щодо простору (зони) і соціально-економічного статусу (клас доходу або вік), можуть також розглядатися як соціальні наслідки.

Вплив на навколишнє середовище може бути визначено як вплив проєкту на фізичне навколишнє середовище. Їх можна надалі класифікувати, як вплив на екосистему, шум і забруднення повітря, а також візуальне сприйняття. Проєкти транспортної системи, особливо нова інфраструктура в сільських районах, можуть змінити екологічну рівновагу рослин і тварин. Крім того, будь-яка транспортна система створює шум і забруднення повітря, і проєкт може істотно змінити їх інтенсивність і розподіл в постраждалих районах. Зрештою транспортна інфраструктура та транспортні засоби впливають на краєвид потенційно великих територій. Особливості і значущість цих впливів залежать від видимості транспортного засобу і його контрасту з фоном.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Черноруцкий И. Г. Методы оптимизации в теории управления / И. Г. Черноруцкий. СПб.: Питер, 2004. – 256 с.; с.6
2. Вентцель Е. С. Исследование операций. Задания, принципы, методология : Учеб. пособие для студ вузов. – М.: Высш. шк., 2-е изд., стер.2001. – 208 с.
3. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Донецьк : Донбас, 2004.
4. Леоненков А. В. Решение завдань оптимизации в среде MS Excel. – СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 704 с.
5. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень / Р. Н. Кветний, І. В. Богач, О.Р. Бойко та ін. Частина 2. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://posibnyky.vntu.edu.ua/k\\_m/t2/zm2..htm](http://posibnyky.vntu.edu.ua/k_m/t2/zm2..htm) . – Назва з екрану.
6. Кігель В.Р. Оптимізація логістичних рішень: Навчальний посібник для студентів спеціальності «Логістика». – Київ : Університет економіки та права «КРОК», 2007. – 136 с.
7. Яровенко Т. С. Шляхи та методи оптимізації витрат підприємства у ринкових умовах / Т. С. Яровенко, А. О. Довга, В. Е. Остряніна. Вісник Дніпропетровського університету. Серія «Економіка». – 2013. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://vestnikdnu.com.ua/archive/201372/yarovenko-dovga.html#sdfootnote1anc> . – Назва з екрану.
8. Савченко Л. В. Оптимизация решений в логистике: теория и практика. – Київ : РИО НТУ, 2007. – 248 с.
9. Сергеев В. И. Логистика в бизнесе / В. И. Сергеев. – М.: ИНФРА-М, 2001. – 608 с.
10. Ольхова М. В. Сфери раціонального використання автомобільного і залізничного видів транспорту при магістральних перевезеннях пакетованих вантажів: автореферат дис... канд. техн. наук, спец.: 05.22.01 – транспортні системи / Ольхова Марія Володимирівна ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків, 2015. – 22 с.
11. Крикавський Є. В. Логістика. Для економістів : підручник / Є. В. Крикавський. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 448 с.
12. Sean P. Willems (2013) How Supply Chain Inventory Optimization Opens Pathways to Profitability. Supply chain 24. News.
13. Ronald H. Ballou “Business Logistics Management”
14. Лукинский В. С. Модели и методы теории логистики /

В. С. Лукинский. – СПб. : Питер, 2007. – 448 с.

15. Ehmke J. Integration of Information and Optimization Models for Routing in City Logistics. Hardcover, XIV, 2012. – 198 p.

16. A. Comi, P. Delle Site, F. Filippi, A. Nuzzolo. Urban Freight Transport Demand Modelling: a State of the Art. European Transport. Issue 51, Paper N° 7, P. 1–17, 2012.

17. Торговельна логістика : навч. посібник / П. Ю. Балабан, Н. М. Тягунова, В. І. Місюкевич, Н. І. Михайлюкова. – Київ : Центр учб. л-ри, 2014. – 148 с.

18. Організація та проектування логістичних систем : Підручник / М. П. Денисенко, П. Р. Левковець, Л. І. Михайлова та ін. – Київ : Центр учбової літератури, 2010. – 336 с.

19. Taniguchi, E. and R.G. Thompson, (2014). City Logistics: Mapping the Future, CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton.

*Навчальне видання*

**ОЛЬХОВА** Марія Володимирівна

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

### **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної і заочної форм навчання  
спеціальності 073 – Менеджмент освітньої програми «Логістика»,  
спеціальності 275 – Транспортні технології (за видами)  
освітньо-наукової програми «Розумний транспорт і логістика для міст»,  
освітньої програми «Організація перевезень і управління на транспорті»)*

Відповідальний за випуск *Т. В. Луценко*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *М. В. Ольхова*

План 2018, поз. 204Л

---

Підп. до друку 05.02.2021. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 4,4.

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: [office@kname.edu.ua](mailto:office@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.