

## ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА СУДНІ

*Зайцева Т.В.*

*Херсонська державна морська академія  
(Україна)*

**Вступ.** У сучасних умовах розвитку морського транспорту виникає потреба в оптимізації технічних процесів, пов'язаних із діагностикою, ремонтом і моніторингом судових систем. Одним із ефективних інструментів для вирішення таких завдань є математичне програмування, яке дозволяє знаходити оптимальні рішення при обмежених ресурсах, часі та технічних можливостях.

Практичне застосування цих методів у навчальному процесі реалізується за допомогою програмного середовища Microsoft Excel, зокрема через використання надбудови *Solver* (*Пошук розв'язку*), що дає змогу моделювати та знаходити оптимальні рішення для технічних і логістичних завдань у судноплаванні.

**Актуальність дослідження.** Класичні задачі оптимізації, зокрема транспортні задачі, вже тривалий час перебувають у центрі уваги багатьох вітчизняних та зарубіжних науковців [1-3]. У більшості досліджень ці задачі розглядаються з позиції пошуку найбільш економічного способу перевезення вантажів від пунктів відправлення до пунктів призначення з метою мінімізації загальних витрат на транспортування або вирішення пов'язаних із цим економічних питань.

Однак сучасні умови функціонування морської галузі потребують адаптації класичних оптимізаційних моделей до специфічних технічних і організаційних завдань, що виникають на судах. Саме тому у нашому дослідженні методи розв'язання транспортних задач спроектовано на потреби морського транспорту, зокрема — для оптимізації вирішення повсякденних виробничих питань, з якими стикаються електромеханіки суден. Такий підхід дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів, зменшити експлуатаційні витрати та сприяти цифровізації процесів технічного обслуговування флоту.

**Мета дослідження.** Показати застосування методів математичного програмування для побудови оптимізаційних моделей, що дозволяють мінімізувати витрати часу і ресурсів під час технічного обслуговування судових систем.

**Основна частина.** Математичне програмування (планування) — це розділ математики, що займається розробкою методів відшукування екстремальних значень функції, на аргументи якої накладені обмеження. Методи математичного програмування використовують для розв'язування розподільних задач. Розподільні задачі виникають у випадку, коли наявні ресурси обмежені, і необхідно найкраще розподілити ресурси з метою отримання максимального прибутку або мінімізації витрат (відповідно до обраного критерію оптимальності).

Використанню методів математичного програмування передують, мабуть, найважливіший етап — побудова математичної моделі, адекватної фізичному змісту завдання. Очевидно, базовими у цьому сенсі є завдання лінійного програмування (з одноіндексними змінними) та традиційні транспортні задачі (з двоіндексними змінними), на основі яких будуються моделі завдань цілісного, цільового, динамічного, детермінованого, стохастичного програмування.

**Головна мета при проведенні навчальних занять** — показати, як за фізичним змістом задачі правильно побудувати адекватну математичну модель та за цією моделлю отримати оптимальне рішення, використовуючи вбудований модуль електронних таблиць Excel Solver (*Пошук розв'язку*).

Лінійне програмування є найпростішим і найкраще вивченим розділом математичного програмування. Характерні риси завдань лінійного програмування

наступні:

1. показник оптимальності  $L(X)$  є лінійною функцією від елементів розв'язування (формула 1);

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

2. обмежувальні умови, що накладаються на можливі розв'язки, мають вигляд лінійних рівнянь чи нерівностей.

3. Цільова функція (формула 2)

$$f(x) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \rightarrow \max (\min()) \quad (2)$$

4. Обмеження, які застосовуються до моделі (формула 3):

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq (\geq, =) b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq (\geq, =) b_2 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq (\geq, =) b_m \\ x_1, x_2, \dots, x_k \geq 0 (k \leq n). \end{cases} \quad (3)$$

5. Допустимий розв'язок - це сукупність чисел (план)  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , що задовольняють обмеженням завдання.

6. Оптимальне рішення — це план, у якому цільова функція приймає своє максимальне (мінімальне) значення.

Далі наведемо приклад побудови математичної моделі за фізичним змістом завдання. Розглянемо задачі пошуку несправностей електроніки та датчиків на судні, як задачі оптимізації ресурсів/траєкторії.

*Постановка задачі.* Необхідно представити судно як сітку локацій, кожна локація відповідає технічному елементу судна (двигун, паливна система, генератор, насосна станція тощо). Несправності — як точки призначення, переміщення між локаціями — це витрати часу або ресурсів. Треба побудувати оптимальний маршрут/план заміни з обмеженим часом або обмеженими ресурсами.

За моделлю оптимізаційних задач, використовуючи надбудову MS Excel Solver, треба задати мету (мінімізувати сумарні витрати на пошук), змінні комірки (послідовність обходу локацій) та обмеження (переміщення між сусідніми точками) для отримання оптимального маршруту.

При розв'язуванні таких задач під час вивчення освітньої компоненти «Інформаційні технології за професійним спрямуванням» курсанти будують інформаційну модель з наступних етапів:

1. **Структурування даних:**

- *Створюється матриця локацій.* Мета цього етапу — представити план судна з усіма можливими локаціями для перевірки (наприклад, каюти, коридори, палуби, машинне відділення). Для цього курсантам дозволяється використовувати зовнішні програмні додатки, які дозволяють за допомогою схематичного зображення електричних та електронних елементів швидко та якісно зображати суднові електричні схеми.
- *Визначаються «несправні» точки.* На плані судна позначаються локації, де було виявлено проблему (наприклад, певні групи датчиків чи електричних кіл).
- *Встановлюється «вартість» переміщення.* Для кожної пари сусідніх локацій визначається вартість переміщення між ними (наприклад, час на проходження до наступної точки, витрати на переміщення, амортизація обладнання).

2. **Підготовка моделі для застосування інструменту «Пошуку розв'язку».**

Згідно моделі оптимізаційних задач, курсанти визначають цільову функцію, обмеження, що накладаються на змінні, визначають збалансована чи ні задача з конкретними даними:

- *Змінні комірки:* визначаються, які комірки будуть представляти послідовність

обходу локацій. За допомогою допоміжних змінних вказуються чи відвідувалась певна локація, або яка наступна локація є в маршруті.

- **Цільова функція:** визначається формула, яка буде розраховувати сумарні витрати на обхід усіх необхідних точок (це сума вартостей переміщень між локаціями в залежності від вибраних змінних).
- **Обмеження.** Вони можуть стосуватися як переміщення, наприклад, переміщення можливе тільки між сусідніми локаціями; умовою - відвідування всіх точок, тобто розв'язок задачі повинен забезпечити, щоб усі необхідні точки (локації, та де є несправності) були відвідані, або типом переміщення (встановлюється обмеження на максимальну довжину маршруту або час обходу).

3. **Використання «Пошуку розв'язку» (Solver).** На момент розгляду цієї задачі курсанти вже мають навички розв'язування транспортних задач, вони знайомі як з понятійним апаратом математичного програмування, так і з роботою надбудови «Пошук розв'язку» в MS Excel. Тепер перед ними стоїть завдання – застосувати сформовані цифрові компетенції до змістовних професійно-спрямованих задач.

Приклади задач, які пропонуються курсантам:

Задача 1. На судні є 3 склади електрообладнання (A, B, C) з запасами X, Y, Z. Є 4 зони, де потрібно виконати заміну або перевірку, з певним попитом (кількість одиниць або часу). Треба розрахувати вартість переміщення/роботи між складами і зонами, при цьому можуть накладатися різні обмеження (рис.1):

- час простою потрібно звести до мінімуму;
- чергування по зонах на судні — курсанту треба пройти всі точки перевірки / ремонту, мінімізувавши час або відстань;
- асиметричний варіант (наприклад, рух між зонами зі сходами/допустимими проходами має різний час в обидві сторони).

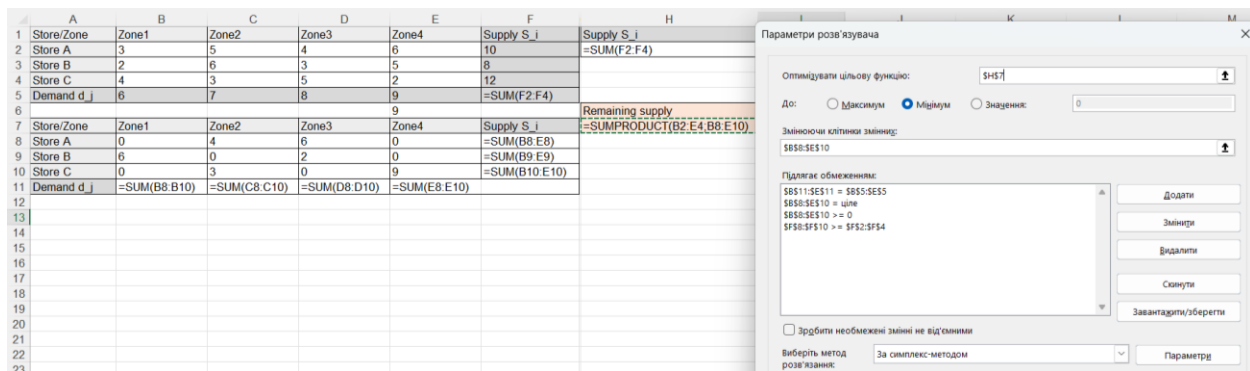


Рисунок 1 — Аркуш Excel з розв'язанням задачі

Задача 2. Розглянемо 6 зон: капітанський місток, машинне відділення, рубка, каюти, стік води, електрощитова. Відомі часи переходу між ними. Початкова точка — щитова. Завдання: перевірити всі зони і повернутись до щитової, мінімізувавши загальний час.

При розв'язуванні задачі курсанти можуть перевірити роботу різних варіантів: так званого «жадібного» алгоритму (nearest neighbor) та знаходження точного рішення.

Після побудови базової моделі курсанти можуть змінювати параметри: додавати нові локації, варіювати час перевірки або вводити додаткові умови (наприклад, пріоритетність огляду певних систем). Це дає можливість проводити моделювання різних сценаріїв і навчати курсантів ухваленню рішень на основі даних. Тому що Excel — це тільки інструмент, який допомагає майбутньому спеціалісту прийняти правильне адекватне рішення.

**Висновки.** Методи математичного програмування забезпечують ефективне планування технічних процесів на судні та створюють підґрунтя для прийняття оптимальних рішень у складних виробничих ситуаціях. Використання оптимізаційних моделей дозволяє значно зменшити витрати часу та ресурсів під час технічного обслуговування судових систем, підвищити точність планування та раціональність використання матеріалів і персоналу. Надбудова Excel Solver є зручним і доступним інструментом для реалізації таких моделей у навчальному процесі, що робить її корисною не лише для розв'язування практичних завдань, а й для формування у курсантів аналітичного мислення та навичок моделювання. Розроблені алгоритми можуть бути адаптовані для транспортних, ремонтних і логістичних задач, що розширює можливості їх практичного застосування. Таким чином, упровадження оптимізаційних моделей у навчання та практику сприяє підвищенню ефективності технічної експлуатації суден і якості професійної підготовки фахівців морської галузі.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Elias, D., Nadler, B., Nadler, F. and Hauger, G. (2016). Optihubs — Multimodal Hub Process Optimization by Means of Microsimulation. *Transportation Research Procedia*. 14. 457–466. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.098>.
2. Щербина, Р. С. (2015). Методологічний аспект основних елементів змішаних перевезень експортних вантажів. *Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія: Транспортні системи та технології*. 26–27. 242–249.
3. Гончаров, А.В., Могілей, С.О. (2020). Реалізація мультимодальних транспортних задач в різних програмних середовищах. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 3. 67–74. <https://doi.org/10.24025/2306-4412.3.2020.215516>