

УДК 517.977

Семенюк В.Я., Міскевич О.І., Горошко Д.О., Машевський М.В.
Луцький національний технічний університет, Луцьк

ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРЕМІЩЕНЬ ТОВАРІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

Семенюк В.Я., Міскевич О.І., Горошко Д.О., Машевський М.В. Оптимізація переміщень товарів при проектуванні виробничих систем. На основі методу віток і меж побудовано систему відшукування оптимального плану розміщення виробничих ліній, яка мінімізує транспортні витрати на переміщення матеріалів для виробництва та виготовленої продукції. Розглядається склад і 6 виробничих ліній. Розроблено алгоритм та реалізовано обчислювальну процедуру щодо розрахунку оптимального плану розміщення виробничих ліній і складу. Проведено оцінювання витрат часу на транспортування між складом і виробничими лініями.

Ключові слова: метод віток і меж, оптимізація транспортно-складської системи, алгоритм знаходження мінімальних і максимальних оцінок часу.

Семенюк В.Я., Міскевич О.І., Горошко Д.О., Машевський М.В. Оптимізація перевезення товарів при проектуванні виробничих систем. Используя метод ветвей построено систему поиска оптимизированного плана расстановки производственных линий, которая минимизирует транспортные расходы на перевозку материалов для производства и товаров. Рассматриваем склад и 6 производственных линий. Разработан алгоритм и вычислительная процедура поиска оптимального плана размещения производственных линий и склада. Сделана оценка использования времени на транспортировку между складом и производственными линиями.

Ключові слова: метод ветвей, оптимізація транспортно-складської системи, алгоритм пошуку мінімальних і максимальних оцінок часу.

Semenyuk V., Miskevych O., Horoshko D., Mashevskij M. Optimization of products displacement on industrial systems designing. Based on branch and bound algorithm design there was built a system of finding the optimal plan of production lines placement, that minimized transportation costs of moving manufacture materials and produced products. There were examined warehouse and 6 production lines. There also have been designed an algorithm and implemented a computing procedure for calculation of optimal plan for production lines and warehouse placement. In conclusion, there was made the time-consuming evaluation for transportation between warehouse and production lines.

Keywords: branch and bound algorithm design, optimization of transportation and warehousing system, algorithm of finding the minimal and maximal time estimations.

Постановка наукової проблеми.

Розглядаємо гнучку виробничу систему, при проектуванні якої необхідно розташувати виробничі обладнання так, щоб сума транспортних перевезень була мінімальною. Це дозволить скоротити кількість транспортних засобів необхідних для перевезення, а також мінімізувати транспортні витрати.

На графічному представленні (рис. 1) розміщено склад та $2n$ однакових приміщень під виробничі лінії. За відстань $l(X_i, X_j)$ приймем найкоротший шлях між X_i та X_j . Матриця відстаней між вершинами і складом буде симетричною. Кругами на рис. 1 позначені зони розвертання. Щоб не ускладнювати задачу конкретними вимірами будемо вважати, що відстані між будь-якими двома зонами розвертання однакові і рівні 1.

Будемо вважати, що технологія обробки виробів задана. Це дозволяє скласти матрицю інтенсивностей передачі виробів між різними одиницями

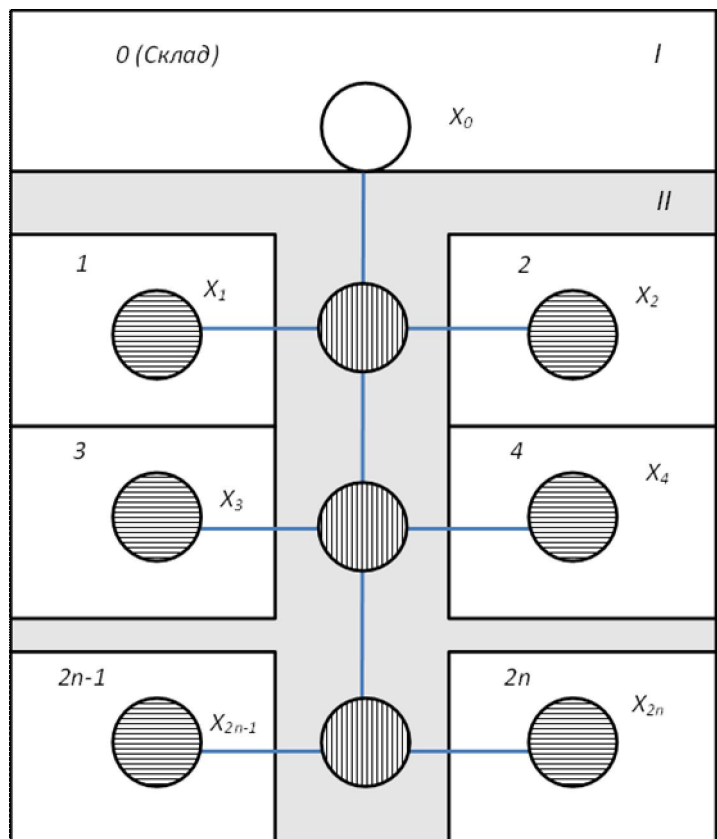


Рис. 1. Графічне представлення виробничої системи.

обладнання $A = \|\alpha_{i,j}\|$, елементами якої є інтенсивності передачі виробів від i -ої одиниці технологічного обладнання до j -ої.

$$L = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 2 & 3 & 3 & K & n+1 & n+1 \\ 2 & 0 & 2 & 3 & 3 & K & n+1 & n+1 \\ 2 & 2 & 0 & 3 & 3 & K & n+1 & n+1 \\ 3 & 3 & 3 & 0 & 2 & K & n & n \\ 3 & 3 & 3 & 2 & 0 & K & n & n \\ K & K & K & K & K & K & K & K \\ n+1 & n+1 & n+1 & n & n & K & 0 & 2 \\ n+1 & n+1 & n+1 & n & n & K & 2 & 0 \end{pmatrix}$$

Рис. 2. Матриця відстаней між одиницями обладнання

В даній праці потрібно дослідити знаходження оптимального плану розміщення виробничих ліній, що забезпечить мінімізацію витрат на перевезення. Так як в якості критерію оптимальності в задачі розміщення технологічного обладнання прийнятий мінімум сумарної довжини шляхів, пройдених виробами в процесі обробки, вона зводиться до наступної: знайти мінімум цільової функції

$$\sum_0^{2n} \sum_0^{2n} l(X_i, X_j) a_{ij} \quad (1)$$

Предметом даного дослідження є метод віток і меж знаходження такого плану розміщення обладнання, що забезпечить мінімальні затрати на закупівлю як самої техніки для перевезень так і зменшить транспортні витрати при виробництві, що зрештою вплине на собівартість виробництва.

Аналіз останніх досліджень. Метод віток і меж використовується для вирішення деяких НР-повних задач. Швидкість алгоритму залежить від вигляду функції та способу визначення оцінок, але гарантовано не більше за повний перебір. Дана задача є однією з під задач планування гнучких виробничих ліній. Ці задачі широко вивчаються, але формалізованих алгоритмів знаходження оптимальних планів не існує. В більшості випадків ці задачі розв'язуються вручну. В даній статті ми спробуємо дати опис алгоритму розв'язання класу однотипних задач де є один склад і один навантажувач, що може рухатись по заданим маршрутам. Розроблене програмне забезпечення дозволить проектувати витрати на перевезення в бізнес-планах виробництв.

Основні допущення та рівняння. Результатом роботи алгоритму є знаходження мінімуму функції (1) на допустимій множині. В ході роботи алгоритму виконується дві операції: розбиття вихідної множини на підмножини(гілки), та знаходження оцінок(меж). Існує оцінка множини згори та оцінка знизу. Оцінка згори - точка що гарантовано не менша за максимум на заданій підмножині. Оцінка знизу - точка що гарантовано не більша за максимум на заданій підмножині.

Будемо вважати, що інтенсивності перевезень між складом та виробничим обладнанням X_i спадає із зростанням номера. Цього завжди можна досягти простим сортуванням. Програмно виконується досить просто будь-яким класичним способом.

На першому кроці гілкування отримаємо n різних варіантів.

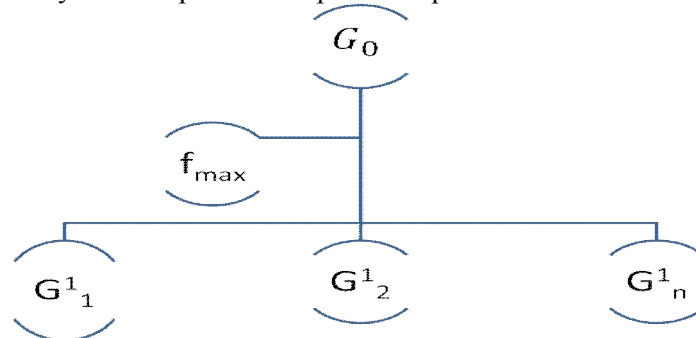


Рис. 3. Варіанти гілкування

Тобто перший тип технологічного обладнання можна встановити в одній з n пар позицій. Так як розміщення обладнання симетричне ми можемо скоротити кількість варіантів гілкування вдвоє. Тепер постає задача знайти максимальні та мінімальні оцінки для кожної з віток (так звані межі). Верхня межа може бути для всіх віток одна – план розміщення обладнання, що має мінімальну кількість перевезень. Окрім максимального значення запам'ятаємо також план розміщення за якого він досягається. На кожному з наступних кроків ця межа буде зменшуватись доки не зрівняється з мінімальною межею найменшої вітки, що і дасть оптимальний план.

Отже ми визначили, що оцінка зверху – це деякий можливий варіант розміщення технологічного обладнання. Тепер відшукаємо оцінки знизу кожної з віток. Для кожної з віток першого етапу гілкування нам відомо лише 2 позиції (це розміщення складу і розміщення першого виду технологічного обладнання). Усі інші позиції можуть бути заповнені обладнанням у довільному порядку. Найменша довжина перевезень матриці L рис. 3 складає 2, тому можна вважати, що сумарна довжина перевезень не більша ніж добуток усіх інтенсивностей перевезень на найменшу можливу відстань, тобто 2. Проте така оцінка є занадто грубою і наша задача не буде відрізнятися від простого перебору.

Спробуємо оцінити мінімальну межу суми перевезень якомога максимально. Розглянемо першу вітку. Тут перший тип обладнання знаходиться в першій парі позицій, нехай просто на позиції 1. Відстань, що дорівнює 2 буде лише до складу і позиції 2. Решта позицій знаходяться на відстані 3 і більше. Знайдемо суму матриці A і транспонованої A . $C = A + A^T$. Тут $c_{i,j} = a_{i,j} + a_{j,i}$ елементи матриці C показують суму інтенсивностей перевезень між обладнанням i та j та в зворотному напрямку. Додамо рядки 0 і 1 матриці C з вагами 2, номер стовпця з найбільшою сумою відповідає номеру технологічного обладнання, яке дасть найменший доданок в загальну суму. Тобто для кожного з видів технологічного обладнання можна застосувати формулу, чим більша сума інтенсивностей перевезень між обладнаннями X_i та X_j тим на меншу відстань між собою їх потрібно розташовувати. Так як матриці C і L симетричні зробимо наступні дії. Матрицю C замінимо матрицею C_0 в якій елементи під головною діагоналлю замінили нулями, а діагональні на 1. Відсортуємо елементи в рядках новоутвореної матриці над головною діагоналлю в порядку спадання і запишемо в $C_{\text{сорт}}$. В матриці L діагональні елементи замінимо на 1. Добуток цих матриць дасть мінімальну оцінку плану розміщень обладнання. Для кожної з віток різниця буде лиш у тому, що один тип обладнання фіксується у різних позиціях. Для другого етапу гілкування фіксовано уже буде два типи обладнання і так далі. Очевидно, що для кожного етапу мінімальна оцінка не зменшуватиметься. Для кожної вітки наступних етапів гілкувань буде визначатись і максимальний набір, який буде не збільшуватись.

Виконуючи етапи гілкування ми перевіряємо чи наша мінімальна оцінка гілки менша за максимальну загальну оцінку. Якщо менша, то процес гілкування продовжуємо, якщо більша – робимо висновок про не існування оптимального плану на цій гілці, якщо рівні – робимо висновок про знаходження оптимального плану для цієї гілки. При неможливості продовжувати гілкування наш максимальний план буде оптимальною схемою розміщення технологічного обладнання.

Результатом роботи буде не більше ніж $2n$ етапів гілкування в кожному з яких не більше ніж n гілок. Обчислювальна складність алгоритму $O(n^3)$, тоді як при використанні повного перебору вона буде $O(c^n)$.

Розглянемо приклад задачі в якій необхідно 6 різнотипних верстатів розмістити на 6 позиціях так, щоб сумарні витрати на перевезення були мінімальні.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 1 | 2 | 0 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 2 | 2 | 2 | 0 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 2 | 3 | 3 |
| 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0 | 3 | 3 |
| 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 0 | 2 |
| 6 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 0 |

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 2 | 0 | 5 | 0 | 4 | 8 |
| 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 3 | 8 | 2 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 3 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 6 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Рис. 4. Матриця відстаней між одиницями обладнання (ліворуч) та інтенсивностей передачі виробів (праворуч)

Розроблене програмне забезпечення дало відповідь



Рис. 5. Оптимальний план та затрати на перевезення

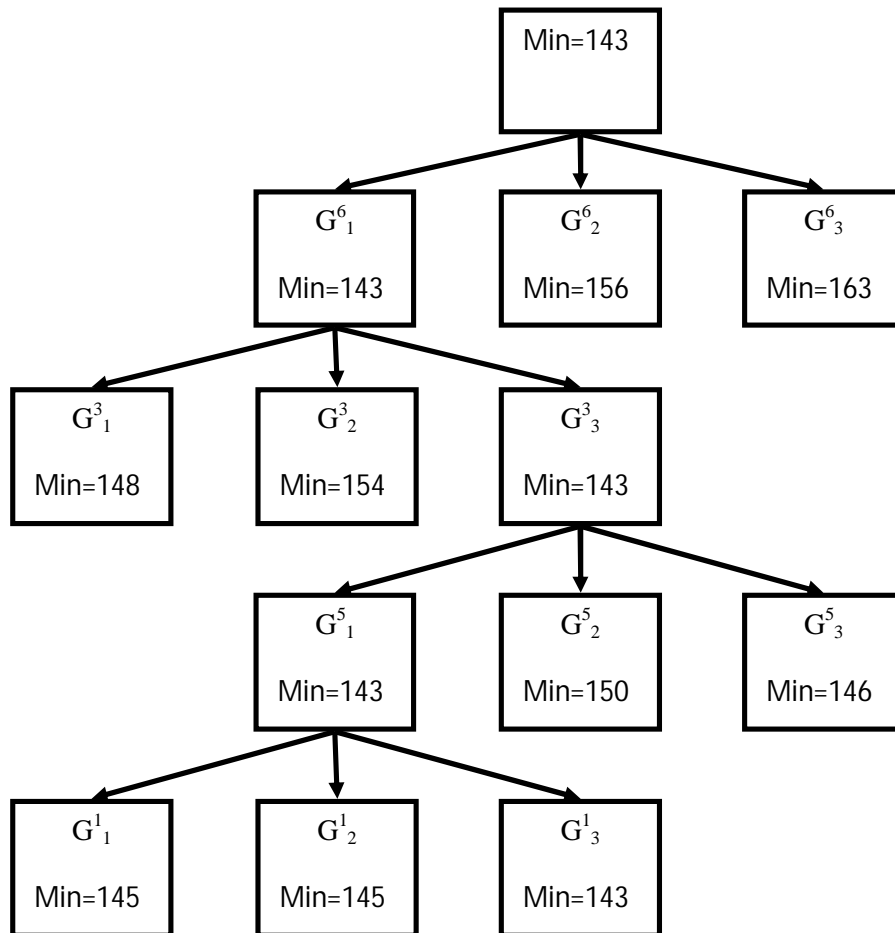


Рис. 6. Граф гілкування

Так як вершини що залишились потрапили на другу пару симетричних позицій то процес гілкування можна завершити. Розроблене програмне забезпечення знайшло оптимальний план перевезень.

Висновки та перспективи подальших досліджень. На основі підходів теорії розміщення гнучких виробничих ліній було побудовано алгоритм відшукування оптимальних розміщень досить широкого класу задач та побудовано програмну модель розрахунків. Дана модель враховує знижену кількість гілкувань системи внаслідок симетричності позицій, максимальні і мінімальні оцінки функціонування системи, які встановлюються конкретними технологічними показниками.

Проведено оцінювання оптимального плану розміщень для конкретного технологічного процесу.

Відповідно до запропонованої математичної моделі розроблено та реалізовано алгоритм числового розрахунку мінімальної оцінки транспортних витрат:

- знайти суму матриці інтенсивностей перевезень та транспонованої до неї матриці;
- перетворити отриману матрицю шляхом сортування та заміни елементів;
- перетворити матрицю довжин перевезень та знайти добуток перетворених матриць.

Необхідно відзначити, що в даній праці деталізовано описано знаходження мінімальних

оцінок гілок поділу на кожному етапі гілкування, що дало можливість формалізувати опис. Побудований алгоритм дозволив вирішувати широкий клас задач теорії розміщення. Практична цінність алгоритму у зменшенні обчислювальних потужностей для цього класу задач, що дасть можливість вирішувати ширші задачі спираючись на розв'язану.

Дослідження теорії розміщення виробничого обладнання показує, що при вирішенні широких класів задач застосування методів прямого перебору є дуже неефективне із збільшенням числа вершин. Методи віток і меж дозволяють значно скоротити кількість обчислень, але для більш широких класів задач постає проблема визначення оцінок для віток. Але розроблений алгоритм дозволяє поєднувати його як складову до більш широких алгоритмів імітаційного моделювання або генетичних алгоритмів.

1. Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.А., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов. – М.: Высш. шк., 1986. – 264 с.
2. Довбня Н.М., Кондратьев А.Н., Юревич Е.И. Роботизированные технологические комплексы вГПС. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. – 303 с.
3. Кирилович В.А., Підтиченко О.В. Склад математичної моделі гнучких виробничих комірок для задачі автоматизованого планування обладнання // Оптимизация производственных процессов. – № 9. – 2006. – С. 46–53.
4. Козловский В.А. Организационные и экономические вопросы построения производственных систем. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 216 с.
5. Романов В.А. Математическое и программное обеспечение задач выбора и размещения оборудования на участке машиностроительного производства: Дис... канд. физ.-мат. наук: 05.13.11. – Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша. – М., 1986. – 133 с.
6. Keramas James G. Robot technology fundamentals. – New York, Delmar Publishers, 1999. – 408 p.
7. Кирилович В.А. Автоматизоване формування маршрутів обслуговування робочих позицій промисловими роботами / В.А. Кирилович, О.В. Підтиченко // Вісник ТДТУ. – 2008. – Том. 13. – №4. – С. 152 – 157.
8. Шишмарёв В.Ю. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. – М.:Издательский центр «Академия», 2007.
9. Полетаев В.А. Разработка компоновки и планировки гибких производственных систем: Методические указания. – Иваново: ИГЭУ, 1999.
10. Калинин О.М., Ямпольский С.Л., Песков Л.В. Моделирование гибких производственных систем. – К.: Техника, 1991
11. Лаздынь С.В., Секирин А.И., Коробкова Т.А. Оптимизация компоновки технологического оборудования гибких производственных систем с использованием генетических алгоритмов. //Международный сборник научных трудов “Прогрессивные технологии и системы машиностроения”, вып. 34. - Донецк: ДонНТУ, 2007. - С. 114-120
12. Курейчик В.В. Эволюционные методы решения оптимизационных задач. - Таганрог: Издво ТРТУ, 1999.