

УДК 517.977

Семенюк В.Я., Шолом П.С., Машевський М.В.
Луцький національний технічний університет, Луцьк

ОПТИМІЗАЦІЯ ЩОДЕННОГО ПЛАНУ ВИПУСКУ ПРОДУКЦІЇ МЕТОДОМ ГІЛОК І МЕЖ

Семенюк В.Я., Шолом П.С., Машевський М.В. Оптимізація щоденного плану випуску продукції методом гілок і меж. На основі методу гілок і меж побудовано систему відшукування оптимального плану виробництва продукції, яка мінімізує час на переналаштування системи під виготовлення продукції. Розглянуто 10 видів виробів і визначено час на переналаштування верстату на кожен з них. Розроблено алгоритм та реалізовано обчислювальну процедуру щодо розрахунку оптимального плану виробництва. Проведено оцінювання витрат часу на переналаштування виробничих ліній на інші види товарів.

Ключові слова: метод гілок і меж, оптимізація виробничої системи, алгоритм знаходження мінімальних і максимальних оцінок часу.

Семенюк В.Я., Шолом П.С., Машевський М.В. Оптимизация суточного плана производства продукции методом вервей и границ. Используя метод ветвей построено систему поиска оптимизированного плана производства продукции, которая минимизирует время на пуско-настроечные работы. Рассмотрено 10 видов изделий и определено время на перенастройку станка на каждый из них. Разработан алгоритм и вычислительная процедура поиска оптимального плана производства. Сделана оценка использования времени на смену оборудования под производство других товаров.

Ключевые слова: метод ветвей, оптимизация производственной системы, алгоритм поиска минимальных и максимальных оценок времени.

Semenyuk V.Y., Sholom P.S., Mashevskij M.V. Daily plan Optimization of the production by the branch and bound method. Using the method of branches and bounds a system of finding the optimal plan of the production, that minimized the time for the starting-adjusting works, is designed. 10 types of products is considered and the time to reconfigure the machine to each of them is defined. The algorithm and the computational procedure for finding the optimal production plan is designed. The estimation of the use of time to replace equipment for the production of the other goods is done.

Keywords: method of branches, optimization of the production system, the minimum and maximum time estimates finding algorithm.

Постановка наукової проблеми. Розглянуто виробничу систему, при складанні плану роботи якої необхідно провести оптимізацію щоденного плану випуску продукції так, щоб сума часу простою виробництва була мінімальною. Це дозволить скоротити кількість універсальних верстатів, необхідних для виробництва, а також оптимізувати роботу налагоджувальної служби.

Час переналаштування										
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	###	15	15	45	20	20	35	25	20	25
A2	25	###	15	30	15	40	15	25	45	25
A3	40	25	###	35	40	40	25	20	25	30
A4	20	40	20	###	30	20	45	25	40	45
A5	30	45	40	15	###	15	20	30	15	35
A6	15	40	35	40	35	###	30	20	35	35
A7	45	35	45	20	35	25	###	15	40	30
A8	45	30	35	45	35	25	15	###	35	45
A9	40	40	20	20	45	40	35	45	###	35
A10	25	15	35	20	45	20	20	30	45	###

Рис. 1. Час переналаштувань системи.

На графічному представленні (рис. 1) показано можливість переналаштування верстату з випуску продукції A_i на випуск A_j . За час $a(A_i, A_j)$ приймем час переналаштування верстату з випуску продукції A_i на випуск A_j . Матриця відстаней між вершинами не буде симетричною. При розгляді самого простого випадку, коли для випуску деякого виду продукту потрібно встановити на верстат

деяке додаткове обладнання, а також налаштувати його, а для переходу на виготовлення першого продукту необхідно лиш демонтувати встановлену деталь, можна пересвідчитись у хибності думки про симетричність системи.

Окрім часу є ще кількість одиниць продукції кожного виду, яку необхідно виготовити за зміну, і час на виготовлення одиниці продукції. Не втрачаючи загальності в алгоритмі будемо рахувати відразу час, необхідний на виготовлення усієї партії товару даного виду. При ідеальних умовах, коли ми маємо n видів товарів і на виготовлення кожного виду товару тратиться якраз одна зміна, то ніяких затрат часу на переналаштування верстатів не буде. В сучасних умовах рідко де зустрічаються такі виробничі системи. Як правило універсальні верстати потрібно кілька разів переналаштовувати під виробництво наступного виду продукції. Виготовляти деяку партію товару частинами відразу на кількох верстатах, при можливості виготовити її на одному за зміну теж недоцільно.

Виникає задача мінімізувати час, який витрачається на переналаштування, щоб задіяти мінімальну кількість працівників на виробництві та обійтись якомога меншою кількістю обладнання. Такі задачі часто можна зустріти в сучасних умовах Волині, наприклад для пакування на ТОВ «ПАККО Холдинг» та виготовлення кабелю на ТОВ «Кромберг енд Шуберт Україна».

Так як в якості критерію оптимальності в задачі виготовлення продукції прийнятий мінімум сумарного часу переналаштувань верстатів, задача зводиться до наступної: знайти мінімум цільової функції

$$\sum_{k=1}^n a_{ik,jk} \cdot \quad (1)$$

Предметом даного дослідження є метод віток і меж знаходження такого плану виробництва, що забезпечить мінімальний час переналаштувань.

Аналіз останніх досліджень. Деякі з NP-повних задач для вирішення використовують метод віток і меж. У більшості задач основним способом вирішення є повний перебір. Для зменшення часу знаходження оптимуму використовують метод віток і меж. Дана задача є однією з підзадач планування гнучких виробничих ліній. Формалізованих алгоритмів знаходження оптимальних планів даної задачі не існує. В більшості випадків ці задачі розв'язуються вручну і найчастіше методом повного перебору. В даній статті ми спробуємо дати опис алгоритму розв'язання класу однотипних задач де є універсальні верстати з можливістю переналаштування і час переналаштувань верстата з будь-якого стану в інші. Розроблене програмне забезпечення дозволить знаходити план випуску продукції на день з мінімальним часом простою.

Основні допущення та рівняння. Алгоритм повинен дати відповідь на питання знаходження мінімуму функції (1) на допустимій множині розв'язків системи. Операції розбиття вихідної множини на підмножини(гілки), та знаходження оцінок(меж) є основою алгоритму. 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.

Припустимо, що у нас є однакова кількість верстатів і типів продукції, тоді для виготовлення кожного з видів товару ніяких переналаштувань не потрібно. Або система замовлень є незмінною і знайдений оптимальний план використовується з дня в день. В таких випадках ніяке програмне забезпечення не потрібне. Проте в більшості випадків системи вимагають щоденних коригувань у планах випуску продукції, що зумовлено постійним оновленням списку продукції та зміною попиту на деякі з видів продукції. Оскільки щоденний план випуску продукції з ростом інформаційних технологій можна коригувати до одиниць, то програмне забезпечення, що дозволяє мінімізувати простої виробничих ліній є досить актуальним.

Першим підходом до вирішення цієї задачі було саме ручне її вирішення з використанням повного перебору. Було розроблено програмне забезпечення, яке допускало ввід часу переналаштувань системи і часу на виготовлення партії кожного з видів товару. На виході ми отримували оптимальний план роботи на день. При знаходженні оптимуму було використано повний перебір. Спочатку оптимум знаходився для першого верстату, використовуючи перебір множини усіх видів продукції. При виборі продукції для виготовлення на першому верстаті виникала та ж сама задача, тільки з меншою кількістю видів продукції. При виборі деякого плану крім сумарного часу виготовлення продукції, якщо він був менший за робочу зміну, брався ще і час на переналаштування системи. Цей час рахувався уже з використанням методу гілок і меж.

Отже, для кожного вибору видів продукції ми мали сумарний час затрачений на виготовлення та мінімальний час на переналаштування системи. Оптимум шукався за двома параметрами: час роботи, який затрачений на виготовлення і переналаштування, менший за робочу зміну у 8 годин, при цьому час затрачений власне на виготовлення продукції є максимальний.

Видно, що перебір одного і того ж продукту використовувався досить багато разів. Окрім того при оптимальному плані випуску для першого верстату з кожним наступним верстатом загальний план погіршувався, і могли виникати досить великі простой, пов'язані з переналаштуванням системи. Тому не можна було стверджувати, що знайдений план оптимальний.

Цікавим рішенням стала зміна етапів. Спочатку був знайдений мінімальний час затрачений на переналаштування системи, а далі вже заповнювались зміни для верстатів.

Мінімізація часу затраченого на переналаштування системи розв'язується як класична задача комівояжера. Так як усі відомі методи відшукування мінімального шляху не дають перебору усіх вершин графа, а розв'язком задачі комівояжера є повний зв'язний цикл.

Задачу комівояжера формулюють так: дано множину міст, а також відстань між усіма можливими парами міст. Необхідно знайти шлях, який пролягає через усі міста, та повертається у початкове, окрім того сумарна довжина пройденого шляху має бути мінімальною.

Задачу можна представити у вигляді моделі на графі. Розрізняють різні варіанти задачі, найважливішими з яких є симетрична та асиметрична задачі. У випадку симетричної задачі всі пари ребер між тими самими вершинами мають однакову вагу. В симетричному випадку кількість можливих маршрутів вдвічі менша. [1] В нашому випадку як було зазначено вище задача асиметрична.

Всі існуючі методи розв'язування задачі комівояжера можна поділити на дві групи: методи знаходження оптимальних маршрутів; наближені методи [5].

Серед алгоритмів пошуку оптимального розв'язку задачі комівояжера відомими є метод гілок та меж, прогресивні методи покращення на основі методів лінійного програмування, комбінації методів гілок та меж та відсікальних площин. Але всі їх поєднує той факт, що вони не застосовні до задач великої розмірності, оскільки обчислювальна складність цих алгоритмів зростає експоненційно. Вважаючи що наша система не така вже і велика можемо легко обійтись і ними, а саме використаний був метод гілок і меж.

Час переналаштування

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	###	35	15	30	40	45	20	45	35	35
A2	20	###	45	20	30	25	40	35	15	25
A3	20	30	###	30	20	30	35	25	35	40
A4	35	20	45	###	30	40	30	30	30	40
A5	45	30	35	40	###	25	15	45	15	40
A6	45	20	35	45	40	###	15	15	25	45
A7	20	45	35	45	40	25	###	15	15	35
A8	40	30	30	40	45	20	20	###	15	45
A9	15	25	20	25	30	15	25	25	###	20
A10	15	25	40	20	25	35	15	20	25	###

Хв вироб

Час переналаштувань: 200
 Оптимальний спосіб переналаштувань:
 A1→A3→A5→A7→A8→A6→A4→A2→A9→A10→A1

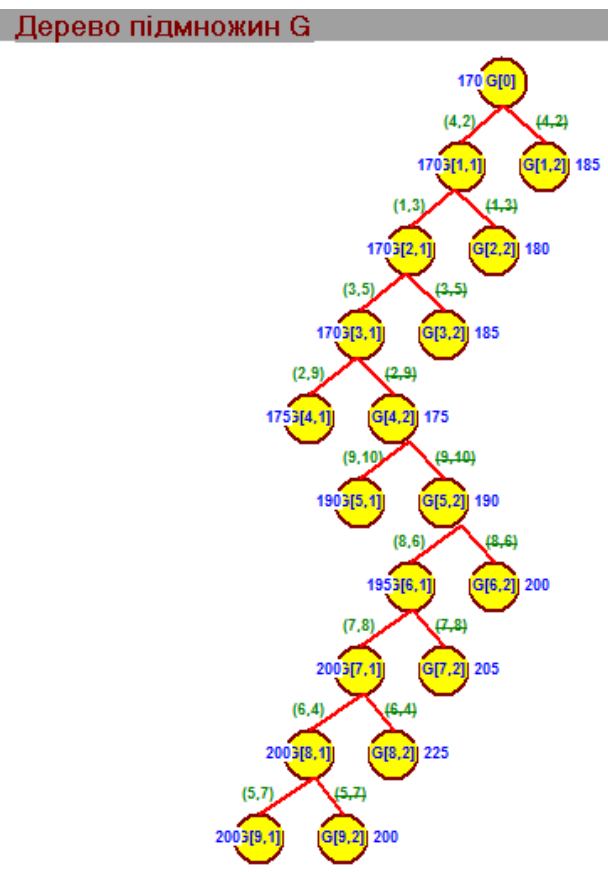


Рис. 2. Гілкування

На рисунку видно, що для заданої системи було знайдено оптимальний план переналаштувань і час затрачений на це рівний 200хв. Крім оптимального плану було знайдено і варіанти гілкувань.

```

for (i=1, N, ++) {
  for (j=1, N, ++){
    PK[i,j]=1;}
  for (i=1, N, ++) {
    for (j=1, N, ++){
      if GIJ[i,j]==0 {
        xmin=9999; ymin=9999;
        for (i=1, N, ++) {
          if (GIJ[i,l]<=xmin) and (GIJ[i,l]<>-1) and (l<>j) {
            xmin=GIJ[i,l];}
          if (GIJ[l,j]<=ymin) and (GIJ[l,j]<>-1) and (l<>i) {
            ymin=GIJ[l,j];}
          if xmin==9999 { xmin:=0;}
          if ymin==9999 { ymin:=0;}
          PK [i,j] =xmin+ymin;}
        max:=-1;
      for (i=1, N, ++) {
        for (j=1, N, ++){
          if PK [i,j]>max {
            max:=PK [i,j];
            r:=i; m:=j;
          }}
    }
  }

```

Розроблене програмне забезпечення дало відповідь на план випуску продукції (рис. 3).

1	50
2	85
3	70
4	50
5	85
6	75
7	70
8	85
9	50
10	50

	445	360
	50(1)	
		85(8)
	70(2)	
		50(7)
	85(3)	
		75(6)
	70(4)	
	85(5)	
		50(9)
		50(10)

Рис. 3. Оптимальний план та час завантаження кожного з верстатів

В лівій частині рисунку відображено законтракований план випуску продукції на день. Для здійснення цього плану необхідно 2 верстати. Час роботи кожного з них відображено зверху. Нагадаємо, що час роботи відображається у хвиликах і не повинен перевищувати одну зміну, тобто 480 хвилин. В дужках відображено черговість зміни виробництва продукції.

```

form3.StringGrid2.Cells[j,0]:= floattostr(s);
s:=s+ strtoint(form3.StringGrid1.Cells[1,NewPut[i]])+
  strtoint (ObjEdit('Edit',NewPut[i],NewPut[i+1]).Text) ;
if s<max then begin
form3.StringGrid2.Cells[j,NewPut[i]]:=form3.StringGrid1.Cells[1,NewPut[i]]+'(+ inttostr(i)+)';
i:=i+1; end

```

```
else begin j:=j+1; form3.StringGrid2.ColCount:=form3.StringGrid2.ColCount+1;  
s:=strtoint(form3.StringGrid1.Cells[1,NewPut[i]])+  
strtoint (ObjEdit('Edit',NewPut[i],NewPut[i+1]).Text) ;  
form3.StringGrid2.Cells[j,NewPut[i]]:=form3.StringGrid1.Cells[1,NewPut[i]]+'(+ inttostr(i)+)';  
i:=i+1;end;  
end;
```

Єдине, що не враховує дана програма – це час простою, коли майстер зайнятий на іншому верстаті. Якщо продукція що випускається не одноразовий випуск, то простоїв завжди можна уникнути збільшивши кількість виготовленої продукції деяких з видів товарів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. На основі підходів теорії дослідження операцій побудовано алгоритм відшукування оптимального плану виробництва досить широкого класу задач та побудовано програмну модель розрахунків. Дана модель враховує зменшення кількості розрахунків, максимальні і мінімальні оцінки функціонування системи, які встановлюються конкретними технологічними показниками.

Проведено оцінювання оптимального плану виробництва продукції для конкретного технологічного процесу.

Відповідно до запропонованої математичної моделі розроблено та реалізовано алгоритм числового розрахунку мінімальної оцінки часу виробництва:

- знайти мінімальний час переналаштувань методом гілок і меж;
- перетворити отриману матрицю шляхом сортування та заміни елементів;
- знайти оптимальний план виробництва керуючись розв'язаною задачею комівояжера.

Необхідно відзначити, що в даній праці деталізовано описано методи знаходження мінімальних оцінок гілок поділу на кожному етапі гілкування, а також побудову плану виробництва по розв'язку задачі комівояжера. Побудований алгоритм дозволив вирішувати широкий клас задач теорії оптимізації випуску продукції. Практична цінність алгоритму у зменшенні обчислювальних потужностей для цього класу задач, що дасть можливість вирішувати ширші задачі спираючись на розв'язану.

Дослідження теорії планування виробництва показує, що при вирішенні широких класів задач застосування методів прямого перебору є дуже неефективне із збільшенням числа вершин. Методи гілок і меж дозволяють значно скоротити кількість обчислень, але для більш широких класів задач постає проблема обчислювальної складності алгоритму. Тому можливий перехід до евристичних методів розв'язання задачі комівояжера.

1. I. R. Matai, S.P. Singh, M.L. Mittal, "Traveling Salesman Problem: An Overview of Applications, Formulations, and Solution Approaches", Jaipur, India, 2010
2. R. Bosch and A. Herman, "Continuous line drawings via the traveling salesman problem," Operations Research Letters 3 (2004) 302-303,
3. Р. Базилевич, Р. Кутельмах // Комп'ютерні науки та інформаційні технології [Текст] : [зб. наук. пр.] / відп. ред. Ю. М. Рашкевич. – Л. : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2009. – 279 с. : іл. – (Вісник / Національний університет "Львівська політехніка"; № 650). – С. 235–244.
4. E. Nood and J. Been, An Efficient Transformation of the Generalized Traveling Salesman Problem, October 1991.
5. D.S. Johnson and L.A. McGeoch, "The Traveling Salesman Problem: A Case Study in Local Optimization", November 20, 1995.
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.