

Сформульовано критерії оптимальності та формалізовано задачу складання розкладу виконання замовлень на виготовлення макаронних виробів. Використано генетичні алгоритми для її розв'язання

Ключові слова: критерії оптимальності, розклад, генетичні алгоритми

Сформулированы критерии оптимальности и формализована задача составления расписания выполнения заказов на изготовление макаронных изделий. Использованы генетические алгоритмы для ее решения

Ключевые слова: критерии оптимальности, расписание, генетические алгоритмы

The criteria of optimality are defined and scheduling problems execution of orders is formalized for the production of macaroni foods. The genetic algorithms to solve it are used

Key words: criteria of optimality, scheduling, genetic algorithms

ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ СКЛАДАННЯ РОЗКЛАДУ ВИКОНАННЯ ЗАМОВЛЕНЬ

С. В. Грибков

Старший викладач*

Контактний тел.: (044) 287-96-77, 066-294-13-04

E-mail: sergio_nuft@ukr.net

Л. Г. Загоровська

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: (044) 287-96-77, 097-400-42-60

E-mail: lgzagorov@i.ua

Н. Н. Бровченко

Старший викладач*

Контактний тел.: (044) 287-96-77, 067-366-22-22

*Кафедра інформаційних систем

Національний університет харчових технологій
вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01601

Вступ

Підприємство виготовляє макаронні вироби для задоволення потреб споживачів на основі виробничої програми, яку розробляє планово-економічний відділ. Виробнича програма відображає загальні об'єми виготовлення асортименту продукції на різних технологічних лініях з урахуванням виду пакування. Вона складається на рік, квартал та місяць на підставі замовлень клієнтів.

Виготовлення макаронних виробів забезпечується двома типами автоматизованих технологічних ліній: для короткорізаної (понад 15 видів асортименту) та довгорізаної продукції. Даний процес складається з проходження наступних технологічних етапів: змішування, пресування, віброосушення, транспортування й охолодження. Заключні етапи фасування й пакування відбуваються на різних фасувальних апаратах. Готова продукція фасується у пачки-висівки та в харчову поліетиленову плівку різної ваги. Розфасовану продукцію в подальшому пакують в коробки, мішки та на піддони у плівку. Кожна лінія може мати від одного до трьох фасувальних апаратів, приєднаних до неї. Управляють ними автономно, не залежно від управління технологічними лініями. Одночасно може працювати лише один фасувальний апарат, підключений до технологічної лінії.

Особливості технологічного процесу обумовлюють неминучість отримання некондиційної продукції на початку та по його завершенні, а також при зміні

асортименту. Тому кожна робоча зміна прагне мати замовлення з однорідним асортиментом, або ж з мінімальним різновидом.

Постановка задачі

Для ефективної роботи зміни потрібно мати такий розклад виконання замовлень, який би забезпечував мінімізацію витрат на виготовлення продукції. Сумарні витрати складаються з витрат на виконання безпосередньо завдань на технологічних лініях, на їх переналагодження, на переробку й утилізацію отриманої некондиційної продукції при зміні асортименту на лінії і на виплати штрафів за невчасне виконання. На частоту формування розкладу послідовності виконання замовлень впливають зміни попиту на продукцію, що можуть з'являтися в будь-який час, та виникнення позаштатних ситуацій. Тому актуальною є задача формування такого розкладу виконання замовлень, за якого змінні завдання закріплюються за певними технологічними лініями, визначається чітка послідовність їх виконання, а сумарні витрати при цьому зводяться до мінімуму.

Методика розроблення

Проведемо формалізацію задачі та сформуємо критерії оптимальності.

Нехай I – множина змінних завдань, які необхідно виконати, J – множина технологічних ліній для виготовлення макаронних виробів та пакувальних машин, L – множина операцій, що об'єднуються в технологічний процес виготовлення та фасування готової продукції. Під операцією розуміємо процес виконання будь-якої стадії роботи на технологічній лінії або фасувальному апараті. Позначимо:

$i = \overline{1, m}$ – номер змінного завдання на виготовлення продукції на основі замовлень ($i \in I$);

$j = \overline{1, n}$ – номер технологічної лінії, на якій виготовляють макаронні вироби ($j \in J$);

$l = \overline{1, k}$ – номер технологічної операції ($l \in L$);

t_{ijl} – час виконання l -ї операції i -о завдання на j -й технологічній лінії;

e_{ijl} – витрати коштів за одиницю часу на виконання l -ї операції i -о завдання на j -й технологічній лінії;

g_{jui} – витрати коштів за одиницю часу на переналагодження j -ї лінії для виконання i -о змінного завдання, якщо до цього виконувалось u -е завдання;

g_{joi} – витрати коштів за одиницю часу на підготовку j -ї лінії для виконання i -о змінного завдання, якщо до цього на ній проводились ремонтно-профілактичні роботи або вона не експлуатувалась;

τ_{jui} – час переналагодження j -ї технологічної лінії на виконання i -о змінного завдання, якщо до цього виконувалось u -е завдання. Час налагодження лінії на виконання i -о змінного завдання $g_{uij} = 0$, якщо продукція в попередньому завданні була такою самою;

d_i – штраф за порушення виконання i -о завдання;

Tr_i – час виконання i -о завдання;

σ_{jil} – час налагодження j -ї технологічної лінії на виконання l -ї операції для виконання i -о завдання, при цьому сумарні витрати на налагодження лінії становитимуть $\sigma_{jil} * g_{joi}$;

c_{ij} – вартість перероблення чи утилізації отриманої некондиційної продукції при виконанні i -о завдання на j -й технологічній лінії;

q_{jui} – кількість некондиційної продукції, що з'являється під час зміни асортименту i -о завдання на j -й технологічній лінії;

v_{ij} – загальна кількість некондиційної продукції, отриманої при виготовленні i -о завдання на j -й технологічній лінії.

Змінні параметри математичної моделі позначимо через:

$Y = \{y_{ijl}, i \in I, l = \overline{1, k}, j \in J\}$, де y_{ijl} – початок виконання l -ї операції на j -й технологічній лінії для виконання i -о завдання;

$X = \{x_{ijl}, i \in I, l = \overline{1, k}, j \in J\}$, $x_{ijl} \in \{0, 1\}$, причому $x_{ijl} = 1$, якщо l -а операція i -о завдання виконуватиметься на j -й технологічній лінії, або ж $x_{ijl} = 0$, якщо ця операція не буде виконуватись на ній;

$Z = \{z_{ijl}, i \in I, l = \overline{1, k}, j \in J\}$, де z_{ijl} – порядковий номер виконання l -ї операції i -о завдання на j -й технологічній лінії, $z_{ijl} \in \{0, 1, \dots, N\}$, $i \in I, l = \overline{1, k}, j \in J$.

Для математичної моделі задачі вводимо наступні обмеження:

1. Кожна операція будь-якої роботи виконується на одній технологічній лінії:

$$\sum_{j \in J} x_{ijl} = 1, l = \overline{1, k}, i \in I \quad (1)$$

2. Будь-яка операція i -о завдання може розпочатись лише після завершення усіх операцій, які їй передують за технологією. Якщо $x_{ijl} = 1$ і $x_{ijl-1} = 1$, тоді

$$y_{ijl} \geq y_{ijl-1} + t_{ijl-1}, l = \overline{2, k_i} \quad (2)$$

3. Операція i -о завдання на j -й технологічній лінії може розпочатись лише після завершення виконання на ній операції u -о завдання. Якщо $x_{ijl} = 1$ і $x_{ujl} = 1$, тоді

$$y_{ijl} \geq y_{ujl} + t_{ujl} + \tau_{ujl}, l = \overline{1, k_i} \quad (3)$$

4. Перша операція може розпочатись лише після переналагодження технологічної лінії на цю роботу:

$$y_{ijl} \geq \sigma_{ijl}, \text{ якщо } z_{ijl} = 1, i \in I, l = \overline{1, k_i}, j \in J \quad (4)$$

5. Умови до змінних:

$$y_{ijl} \geq 0, x_{ijl} \in \{0, 1\}, z_{ijl} \in \{0, 1, \dots, N\}, i \in I, l = \overline{1, k_i}, j \in J \quad (5)$$

6. Загальний час виконання замовлень сформованого плану не повинен перевищувати встановлений термін Trf початку проведення профілактичних робіт з урахуванням часу підготовки до них Tr :

$$\sum t \leq Trf + Tr \quad (6)$$

Введемо наступні часткові критерії оптимальності:

1. Штрафні санкції за порушення директивних термінів, встановлених для виконання i -о завдання:

$$F_{ii} = d_i \max(0, y_{ijl} + t_{ijl} - Tr_i) \rightarrow \min \quad (7)$$

Обмеження критерію (7) визначається як мінімальні штрафи за порушення директивних термінів ($H_{ii} = 0$).

2. Сумарні витрати на підготовку та переобладнання j -ї технологічної лінії для виконання всіх змінних завдань:

$$F_{2j} = \sigma_{jil} g_{joi} + \sum_{u=1}^m \sum_{i=1}^m \tau_{jui} g_{jui} x_{jui} x_{jil} \rightarrow \min \quad (8)$$

де $\sum_{u=1}^m \sum_{i=1}^m \tau_{jui} g_{jui} x_{jui} x_{jil}$ – сумарні витрати на переналагодження j -ї технологічної лінії для усіх парних суміжних змінних завдань;

$x_{jui} = 1$, якщо на j -й технологічній лінії виконувалось змінне завдання u , або 0 в іншому випадку;

$x_{jil} = 1$, якщо на j -й технологічній лінії виконуватиметься змінне завдання i , або 0 в іншому випадку.

Обмеження критерію (8) визначається як сумарні мінімальні витрати на переналагодження j -ї технологічної лінії при виконанні усіх операцій на ній: $H_{2j} = \sigma_{jil} g_{joi} + \sum_{i=1}^m \tau_{ij} g_{ij}$.

3. Сумарні витрати на виконання усіх операцій для i -о завдання:

$$F_{3i} = \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^k t_{jil} x_{jil} e_{jil} \rightarrow \min \quad (9)$$

Обмеження критерію (9) визначається як значення сумарних мінімальних витрат на переналагодження j -ї технологічної лінії при виконанні усіх операцій на ній:

$$H_{3i} = \min_j \sum_{l=1}^k t_{ijl} e_{ijl}$$

4. Сумарні витрати на переробку та утилізацію отриманої некондиційної продукції при виконанні i -о завдання:

$$F_{4i} = c_i \left(\sum_{j=1}^n \left(\sum_{l=1}^m x_{jil} x_{jil} q_{jil} \right) + x_{ji0} v_{ij} \right) \rightarrow \min \quad (10)$$

Нижня границя критерію (10) визначається як вартість переробки некондиційної продукції, що виготовлялась при виконанні i -о завдання на j -й технологічній лінії:

$$H_{4i} = c_i \sum_{j \in J} x_{ijt} v_{ij}$$

Формуємо загальний критерій оптимальності як адитивну згортку часткових критеріїв:

$$F = \sum_{i \in I} F_{1i} + \sum_{j \in J} F_{2j} + \sum_{i \in I} F_{3i} + \sum_{i \in I} F_{4i} \rightarrow \min \quad (11)$$

Даний критерій дає змогу мінімізувати загальні витрати на виконання усіх замовлень на виготовлення продукції.

Враховуючи обмеження, часткові критерії та загальний критерій оптимальності, формуємо наступну задачу: побудувати такий розклад виконання m завдань для n технологічних ліній, який для кожного i -о завдання ($i=1, m$, $i \in I$) вказує номер технологічної лінії ($j=1, n$, $j \in J$) та час початку виконання кожної операції (y_{ijl}). При цьому слід зазначити, що оптимальним є такий розклад виконання замовлень, що задовольняє усім частковим критеріям та досягає мінімального значення за загальним критерієм оптимальності.

Дана задача відноситься до класу багатокритеріальних оптимізаційних задач. Вона складається з вхідних змінних параметрів, обмежень (1)-(6), часткових критеріїв (7)-(10) та загального критерію оптимальності (11), що відображає сумарні витрати на виконання усіх робіт сформованого розкладу та мінімізує їх.

Усі часткові критерії оптимальності можуть бути рівнозначними, або ж надаватись перевага деяким з них. При наданні переваги для пошуку оптимального розв'язку задачі часткові критерії оптимальності ранжуються за ступенем значимості, а в разі необхідності деякі з них взагалі можуть не враховуватись. В нашій ситуації усі часткові критерії оптимальності розглядаємо як рівнозначні, що дає змогу знаходити оптимальний розв'язок задачі за загальним критерієм оптимальності (11).

Для розв'язання даної задачі доцільно мати механізм, що дозволяє формувати різні варіанти розв'язків шляхом комбінації параметрів та вибирати найбільш підходящі з них.

В якості такого механізму використано генетичні алгоритми, які забезпечують проведення випадко-

вого підбору, комбінування і варіації шуканих параметрів з використанням механізмів, що нагадують біологічну еволюцію. Структура даних генетичного алгоритму складається з однієї або кількох хромосом [1,2].

В термінах теорії генетичних алгоритмів кожен варіант розв'язку задачі є хромосомою з набором генів, що відображають фрагменти розкладу (ФР). Один фрагмент хромосоми – це одна заявка в розкладі. Порядковий номер ФР відповідає номеру заявки. Кодуємо хромосому як вектор трьох цілих чисел, кожен елемент якого являється геном. Першому елементу відповідає порядковий номер заявки, другому – номер технологічної лінії (1..3), а третьому – номер пакувального апарату (1..15). При такому кодуванні хромосома складатиметься з $n*3$ елементів, де n – кількість замовлень, а набір хромосом утворюватиме варіанти розв'язку задачі.

Після визначення хромосоми формуємо початкову популяцію як циклічний процес схрещування індивідів і зміни поколінь за наступним алгоритмом:

- 1) список всіх заявок перемішується випадковим чином;
- 2) із сформованого списку вибирається перша заявка;
- 3) для вибраної заявки відшукується перша вільна технологічна лінія, на якій ця заявка може бути виконана. У ФР заноситься номер вибраної технологічної лінії, номер першої підходящої пакувальної машини та порядковий номер виконання завдання на ній;
- 4) для вибраної технологічної лінії збільшується лічильник черги робіт на виконання завдання;
- 5) якщо список заявок ще не порожній, то вибирається наступна заявка і для неї повторюються пункти 3,4.

Даний алгоритм виконується для формування кожної хромосоми у початковій популяції та являється варіантом розкладу виконання заявок. Кожні наступні варіанти об'єднуються в популяції, з яких відбирають хромосоми для подальшого схрещування.

Для створення нового покоління, тобто варіанта розкладу з кращими показниками, із сукупності хромосом вибираємо кращі для подальшої репродукції. Відбір хромосом здійснюємо в залежності від значення цільової функції, яка визначає ступінь придатності хромосоми для формування наступного покоління.

Процес відбору та репродукції хромосом здійснюємо таким чином: з поточної популяції випадково вибирається пара хромосом і з них визначається краща, причому функція відбору вказує на хромосому лише один раз, що дає можливість замінювати гірші хромосоми на кращі в наступній популяції. Щоб отримати нову популяцію, відібрані хромосоми попарно схрещуємо між собою. Після цього до популяції застосовуємо оператор мутації, тобто випадкову зміну однієї чи кількох позицій в хромосомі та визначаємо при цьому значення цільової функції. В нашій моделі мутаціям можуть підлягати порядковий номер виконання заявки на технологічній лінії та номер пакувальної машини.

Формування розкладу виконання замовлень

Варіанти сформованого розкладу виконання замовлень по технологічних лініях

* Варіант розкладу 1 * Варіант розкладу 2 Варіант розкладу 3

Сумарні витрати по варіанту 1 (грн): по штрафних санкціях 0; на переробку некондиційної продукції 115.

Автоматизована лінія Bühler 1			Автоматизована лінія Bühler 2			Автоматизована лінія Pavan		
№ п/п	№ замовлення	Термін виконання	Дата та час початку	Дата та час закінчення	Вид продукції	Об'єм, т	Вид пакування	Пакувальна машина
1	3456	13.05.2011	12.05.2011 11:45:00	12.05.2011 16:55:00	Ріжки особливі	7000	Плівка 0.8 кг	Tiesto
2	3462	13.05.2011	12.05.2011 17:00:00	13.05.2011 1:10:00	Ріжки особливі	12000	Мішок 10 кг	Упак 2
3	3461	13.05.2011	13.05.2011 1:30:00	13.05.2011 7:30:00	Вермішель	8500	Плівка 0.5кг	Tiesto
4	3452	14.05.2011	13.05.2011 7:40:00	13.05.2011 18:00:00	Ріжки	14000	Плівка 0.7 кг	Tiesto
5	3467	14.05.2011	13.05.2011 18:40:00	14.05.2011 8:00:00	Перо	16800	Мішок 20 кг	Упак 2
6	3463	15.05.2011	14.05.2011 8:30:00	14.05.2011 18:00:00	Равлик	13400	Плівка 0.8 кг	Tiesto
7	3470	15.05.2011	14.05.2011 18:00:00	14.05.2011 23:30:00	Равлик	6700	Мішок 10 кг	Упак 2
8	3454	15.05.2011	14.05.2011 23:55:00	15.05.2011 7:30:00	Колесо	10300	Плівка 1 кг	Tiesto
9	3466	16.05.2011	15.05.2011 7:30:00	15.05.2011 22:30:00	Колесо	30900	Мішок 20 кг	Упак 2

Редагувати варіант розкладу Порівняти варіанти розкладу

Відобразити сумарні витрати варіантів
☒ по штрафних санкціях
☒ на переробку некондиційної продукції
☐ на підготовку обладнання
☐ на виготовлення продукції
☐ загальні витрати

Прийняти до виконання розклад та сформулювати завдання по змінах

Вихід

Рис. 1. Приклад сформованого варіанту розкладу виконання замовлень

Таким чином, створивши початкову популяцію та помістивши її у створене штучне середовище і реалізувавши процеси селекції, схрещування й мутації, отримуємо ітераційний алгоритм пошуку оптимального розв'язку.

Приклад практичної реалізації даного алгоритму для складання розкладу виконання 45 заявок з використанням 3-х технологічних ліній та 15-и пакувальних апаратів подано на рис. 1.

З рисунка видно, що результатом є три варіанти розкладу, на що вказують сформовані закладки. Кожен варіант являє собою графік виконання замовлень по кожній технологічній лінії. На рисунку представлено розклад виконання замовлень на автоматизованій технологічній лінії Bühler 2, який містить усі необхідні параметри для його виконання. Робота з програмним продуктом повністю інтерактивна, є можливість переформувати розклад виконання замовлень, оцінити його за різними частковими кри-

теріями, відредагувати та сформулювати на його основі змінні завдання для кожної бригади.

Результати та висновки

Програмну реалізацію генетичного алгоритму формування оптимального розкладу виконання заявок на виготовлення макаронних виробів виконано в програмному середовищі Delphi 7. В якості СУБД обрано MS SQL Server 2005, в якому побудовано вітрину даних та використано її як інформаційне джерело для розв'язання задачі. У таблицях створеної вітрини даних зберігається початкова інформація про номери заявок, технологічних ліній, пакувальних апаратів, асортимент та об'єми виготовлення й пакування продукції [4].

Дану задачу включено до складу системи підтримки прийняття рішень для управління макаронним виробництвом на ВАТ «Макаронна фабрика» [3].

Література

- Holland, J. H. Adaptation in Natural and Artificial Systems [Text] / J. H. Holland. — Ann Arbor, MI : The University of Michigan Press, 1975. — 96 p.
- Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский; пер. с пол. И. Д. Рудинский. — М. : Горячая линия-Телеком, 2007. — 383 с. — ISBN 5-93517-103-1 (рус.).
- Грибков, С. В. Моделювання структури системи підтримки прийняття рішень для підприємств харчової галузі [Текст] / С. В. Грибков, Л. Г. Загоровська // Харчова промисловість. — 2007. — № 5. — С. 100–102.
- Грибков, С. В. Розроблення алгоритмів та методів завантаження інформації до сховища даних інформаційної системи ВАТ «Макаронна фабрика» [Текст] / С. В. Грибков, Л. Г. Загоровська // Восточно-європейський журнал передових технологій. — 2010. — Т. 44, №2/8. — С. 4–8.