

УДК 519.854.2

О.О. Мельник, канд. техн. наук

Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет», м. Ужгород, Україна

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЛГОРИТМУ СКЛАДАННЯ РОЗКЛАДІВ
ЗА КРИТЕРІЄМ СУМАРНОГО ВИПЕРЕДЖЕННЯ І ЗАПІЗНЕННЯ
ІЗ НАЛАГОДЖЕННЯМИ, ЩО ЗАЛЕЖАТЬ ВІД ПОСЛІДОВНОСТІ****Е.А. Мельник**, канд. техн. наук

Государственное высшее учебное заведение «Ужгородский национальный университет», г. Ужгород, Украина

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АЛГОРИТМА СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЙ
ПО КРИТЕРИЮ СУММАРНОГО ОПЕРЕЖЕНИЯ И ЗАПАЗДЫВАНИЯ
С НАЛАДКАМИ, КОТОРЫЕ ЗАВИСЯТ ОТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ****Olena Melnyk**, PhD in Technical Sciences

State University «Uzhhorod National University», Uzhhorod, Ukraine

**RESEACH OF CHARACTERISTICS OF THE ALGORITHM IN SCHEDULING
BY THE CRITERIA OF THE TOTAL EARLINESS-TARDINESS WITH
ONE DEVICE ADJUSTMENT DEPENDING ON THE SEQUENCE**

Розглянуто алгоритм розв'язання задачі мінімізації сумарного випередження і запізнення завдань на одному приладі з налагодженнями, залежними від послідовності, і оцінено його ефективність. Результати показали, що запропонований евристичний алгоритм генерує за прийнятний час розв'язки, достатньо близькі до оптимальних.

Ключові слова: складання розкладів, одноетапні задачі, налагодження обладнання, випередження, запізнення.

Рассмотрен алгоритм решения задачи минимизации суммарного опережения и запаздывания заданий на одном приборе с наладками, зависящими от последовательности, и оценена его эффективность. Результаты показали, что предложенный эвристический алгоритм генерирует за приемлемое время решения, достаточно близкие к оптимальным.

Ключевые слова: составление расписаний, одноэтапные задачи, наладка оборудования, опережение, запаздывание.

We consider the one machine scheduling problems of minimizing the total earliness and tardiness of the tasks with one device adjustment depending on the sequence. Proposed heuristic algorithms are empirically evaluated in terms of their effectiveness. The results show that they generate in acceptable solutions that are sufficiently close to optimal.

Key words: scheduling, one-stage problem, device adjustment, earliness, tardiness.

Постановка проблеми. Складанню розкладів відносно директивних строків приділяється значна увага в літературі. Принцип виробництва «точно у строк» установлює, що необхідна кількість товарів повинна бути вироблена або поставлена точно в заданий час. Виконання робіт із випередженням призводить до витрат на складування, запізнення робіт – до штрафів і, як наслідок, втрати доброзичливості клієнтів і репутації фірми.

Задача мінімізації сумарного випередження та запізнення під час виконання завдань одним приладом з налагодженнями (1-МВЗН), залежними від послідовності, може бути сформульована таким чином: множина з n незалежних завдань $J = \{j_1, j_2, \dots, j_n\}$ повинна бути призначена на виконання без переривань на одному приладі, який може працювати не більше ніж з одним завданням одночасно. Прилад та завдання передбачаються безупинно доступними з моменту часу нуль, а простої приладу не допускаються. Завдання j , де $j = 1, 2, \dots, n$, вимагає часу виконання p_j і в ідеалі повинно бути закінчене у свій директивний термін d_j . Для окремих завдань задано час налагодження s_{ij} . Це означає, що в розкладі, в якому завдання j виконується відразу після завдання i , повинен бути час налагодження s_{ij} одиниць часу між моментами завершення завдання i , позначеним через c_i , та часом початку завдання j , що дорівнює $c_j - p_j$. Упродовж періоду налагодження жодне інше завдання не може виконуватися приладом. Тривалості налагодження залежні від послідовності, тому що вони залежать як від i , так і від j . Мета полягає в тому, щоб знайти

розклад, який мінімізує сумарне випередження і запізнення всіх завдань:
$$\sum_{j=1}^n (E_j + T_j).$$

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для задачі мінімізації сумарного випередження і запізнення на одному приладі Бейкер і Скуддер [4] дають огляд упорядкування зі штрафами за випередження та запізнення, а Кенет і Шрідхаран [7] надають огляд щодо складання розкладів зі вставкою простою. Коулман [5] описує оптимальну процедуру для задач малої розмірності на одному приладі, коли між роботами є налагодження, що залежать від послідовності.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Більшість відомих напрацювань, присвячених проблемі розв'язання задач планування, пов'язаних з налагодженням приладів, передбачають одержання оптимального розв'язку на основі методів: гілок та границь, динамічного планування або частково цілочисельного програмування, здебільшого, для задач невеликої розмірності (до 20 завдань). Проте недостатньо досліджені питання розв'язання задач оптимізації одним приладом з налагодженнями евристичними методами та для великої кількості завдань.

У [3] запропоновано ефективний евристичний алгоритм розв'язання задачі 1-МВЗН, в основу якого покладено новий підхід до розв'язання задачі мінімізації сумарного випередження й запізнення на одному приладі (МВЗ), викладений у [1; 2].

Мета статті. Стаття присвячена дослідженню ефективності евристичного алгоритму, побудованого на основі методу, викладеного в [3]. Оцінювались: вплив розмірності задачі на час її розв'язання, вплив діапазону директивних строків R і фактора запізнення T , ефективність алгоритму в порівнянні з методом гілок і границь.

Виклад основного матеріалу. Алгоритм складання розкладів за критерієм 1-МВЗН із налагодженнями, що залежать від послідовності:

Блок 1. Побудова початкової послідовності. На множині $J = \{j_1, j_2, \dots, j_n\}$ без урахування налагоджень розв'язується задача МВЗ [1]. Отримуємо послідовність σ^R .

Блок 2. У послідовності σ^R для завдань, щодо яких задані налагодження приладу, включаємо значення налагоджень. Отримуємо послідовність σ^{R1} .

Блок 3. Локальний пошук кращого розв'язку. Локальний пошук алгоритму А4 включає дві процедури: процедуру А, що заснована на перестановках, та процедуру В, засновану на вставках.

Процедура А (окіл перестановок). Розглянемо послідовність σ^{R1} . Послідовно міняються місцями два чергові завдання, починаючи з першої позиції. Завдання на позиції 1 поступово міняється місцями із завданнями, що мають позиції 2, 3, ..., $n-1$. Нехай вже виконані перестановки для завдань на позиціях 1, 2, ..., $i-1$. Завдання на позиції i міняється із завданнями на позиціях $i+1, i+2, \dots, n$. Нехай σ_{ij} – послідовність, що отримана з поточної послідовності перестановкою завдань i та j , $i, i \leq j \leq n$. У цій послідовності відкоригуємо значення налагоджень. Значення функціоналу часткової послідовності становить:

$$F_{i,j}(SWAP) = |c_j - d_i| + |c_i - p_i + p_j - d_j| + \sum_{l=i+1}^{j-1} |c_l - p_i + p_j - d_l|.$$

Після кожної перестановки корегується в поточній послідовності значення налагоджень, які залежать від послідовності завдань, і визначається значення функціонала. Якщо це значення не краще поточного, завдання повертаються на свої позиції, але якщо значення функціоналу зменшується після перестановки, тоді поточна послідовність оновлюється, і процес починається із завдання в позиції $i-1$.

Процедура В (окіл вставок). Розглядається послідовність σ^{R1} з початку. Кожне чергове завдання i поступово вбудовується на позицію j в послідовності σ^{R1} , $i = \overline{1, n}$.

Нехай розглядається завдання, яке посідає позицію i . Поступово вбудовуємо його на позицію j , $j = \overline{1, n}$. У поточній послідовності корегуємо тривалість налагоджень і ви-

значаємо значення функціонала часткової послідовності i, \dots, j . Якщо $j < i$, використовується вираз: $F_{i,j}(EBSR) = |c_i - p_i + p_j - d_j| + \sum_{l=i+1}^{j-1} |c_l + p_j - d_l|$.

$$\text{Якщо } i < j: F_{i,j}(EFSR) = |c_j - d_i| + \sum_{l=i+1}^j |c_l - p_i - d_l|.$$

Якщо значення функціоналу не покращилося, повертаємо завдання на позицію i , інакше оновлюємо поточну послідовність. Процес продовжуємо, починаючи з позиції $i+1$.

Схема генерації даних, запропонована Фішером [6], використовувалася для тестування алгоритму на різних типах прикладів, тип задачі визначається комбінацією фактора запізнення T і діапазону директивних строків R . Для кожної задачі спочатку генеруються тривалості виконання і часи налагоджень із рівномірного розподілу із заданими границями. Потім обчислюються директивні строки з розподілу, рівномірного на $[p^*(1-T-R/2), p^*(1-T+R/2)]$, де p^* – сума всіх тривалостей. Значення T і R вибираються з множин $\{0,2; 0,4; 0,6; 0,8\}$ і $\{0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0\}$, відповідно, даючи по 20 задач кожного типу.

У табл. 1–4 представлено середньоарифметичний час розв'язання задач різної розмірності.

Таблиця 1

Середній час розв'язання задач для $n = 10$ (мс)

| T \ R | 0 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 |
|--------------|----------|------------|------------|------------|------------|----------|
| 0 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| 0,2 | 2,2 | 9,5 | 3,4 | 1,2 | 1,2 | 1,7 |
| 0,4 | 2,2 | 225,52 | 78,33 | 54,4 | 6,2 | 4,7 |
| 0,6 | 2,2 | 291,97 | 638,04 | 699,85 | 1092,96 | 1461,20 |
| 0,8 | 2,2 | 66,6 | 62,7 | 249,0 | 244,07 | 1220,14 |
| 1 | 2,2 | 5,5 | 8,8 | 9,7 | 26,5 | 168,2 |

Таблиця 2

Середній час розв'язання задач для $n = 15$ (мс)

| T \ R | 0 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 |
|--------------|----------|------------|------------|------------|------------|----------|
| 0 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 2,2 | 2,2 | 2,2 |
| 0,2 | 4,0 | 17,4 | 6,2 | 2,2 | 2,2 | 3,0 |
| 0,4 | 4,0 | 414,33 | 144,26 | 100,1 | 11,3 | 8,6 |
| 0,6 | 4,0 | 536,43 | 1175,66 | 1291,96 | 2018,11 | 2702,69 |
| 0,8 | 4,0 | 122,6 | 115,4 | 457,7 | 448,67 | 2247,5 |
| 1 | 4,0 | 10,0 | 16,2 | 17,8 | 49,1 | 311,6 |

Таблиця 3

Середній час розв'язання задач для $n = 20$ (мс)

| T \ R | 0 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 |
|--------------|----------|------------|------------|------------|------------|----------|
| 0 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 3,4 | 3,4 | 3,4 |
| 0,2 | 6,2 | 26,8 | 9,5 | 3,4 | 3,4 | 4,7 |
| 0,4 | 6,2 | 637,92 | 222,49 | 154,2 | 17,4 | 13,3 |
| 0,6 | 6,2 | 825,94 | 1813,89 | 1995,97 | 3118,29 | 4181,18 |
| 0,8 | 6,2 | 189,1 | 177,8 | 704,9 | 691,07 | 3466,77 |
| 1 | 6,2 | 15,5 | 25,0 | 27,6 | 75,9 | 482,5 |

Таблиця 4

Середній час розв'язання задач для $n = 25$ (мс)

| R \ T | 0 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 |
|--------------|----------|------------|------------|------------|------------|----------|
| 0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 4,7 | 4,7 | 4,7 |
| 0,2 | 8,6 | 37,5 | 13,3 | 4,7 | 4,7 | 6,5 |
| 0,4 | 8,6 | 891,53 | 311,37 | 215,6 | 24,4 | 18,5 |
| 0,6 | 8,6 | 1154,34 | 2539,16 | 2796,92 | 4370,12 | 5865,27 |
| 0,8 | 8,6 | 264,7 | 248,7 | 985,4 | 966,13 | 4852,03 |
| 1 | 8,6 | 21,7 | 35,0 | 38,6 | 106,5 | 677,3 |

Зведемо результати з табл. 1–4 у табл. 5. У колонці «Опт» показано час оптимального розв'язання задачі, отриманого алгоритмом гілок і границь. Утворюємо на основі таблиць 1–4 три комбінації параметрів R і T , що відображають для кожної комбінації f і n_f найбільш складні випадки задачі – комбінація I: $R=1,0$; $T=0,6$; комбінація II: $R=0,8$; $T=0,6$; комбінація III: $R=0,2$; $T=0,6$.

Таблиця 5

Середній час розв'язання t_{cp} порівняно з точним алгоритмом (с)

| Параметри задачі | | t_{cp} | | Параметри задачі | | t_{cp} | |
|------------------|-----------------------|----------|-------|------------------|-----------------------|----------|-------|
| n | Комбінація параметрів | Опт | A | n | Комбінація параметрів | Опт | A |
| 10 | I | 3,2 | 1,461 | 20 | I | 40,5 | 4,811 |
| 10 | II | 3,3 | 0,291 | 20 | II | 38,2 | 0,862 |
| 10 | III | 3,1 | 1,092 | 20 | III | 31,0 | 3,118 |
| 15 | I | 15,9 | 2,702 | 25 | I | 115,9 | 5,665 |
| 15 | II | 16,2 | 0,526 | 25 | II | 119,1 | 1,154 |
| 15 | III | 14,8 | 2,018 | 25 | III | 77,2 | 4,370 |

Результати табл. 5 показують, що досліджуваний алгоритм був ефективним. У середньому на розв'язання треба було менше, ніж 5,7 секунди для будь-якого набору з 20 задач. Середня кількість часу, необхідного для оптимального розв'язання алгоритмом гілок і границь, становила не більше 2 хвилин. Час, необхідний для оптимального розв'язання, швидко збільшувався під час зростання розмірності.

У табл. 6 показано середнє відхилення значення функціонала від оптимального у відсотках. Відсоток відхилення Δ обчислюється таким чином: $\Delta = (Z - Z_{opt}) \cdot 100 / Z_{opt}$, де Z_{opt} – сумарне випередження/запізнення розв'язку, зробленого алгоритмом гілок і границь, а Z – сумарне випередження/запізнення розв'язку, зробленого евристичним алгоритмом.

Таблиця 6

Середнє відхилення значення функціонала від оптимального

| Комбінація параметрів | I | II | III |
|-----------------------|-----|-----|-----|
| 10 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 15 | 0,1 | 0,1 | 0,0 |
| 20 | 0,8 | 0,7 | 1,2 |
| 25 | 7,0 | 5,0 | 9,0 |

Результати табл. 6 показують, що для всіх задач з розмірністю 10 алгоритм знайшов оптимальний розв'язок. Середній відсоток відхилення становив близько 2 % на всіх множинах задач і менше 1 % для 8 з 12 множин задач.

Висновки. Дослідження показали, що запропонований алгоритм дає змогу одержати розв'язки задачі, наближені до оптимальних з невеликим відхиленням.

Список використаних джерел

1. Згуровский М. З. Принятие решений в сетевых системах с ограниченными ресурсами : монография / М. З. Згуровский, А. А. Павлов. – К. : Наукова думка, 2010. – 573 с.
2. Павлов О. А. Дослідження властивостей та розв'язання задачі «Мінімізація сумарного штрафу як за випередження, так і за запізнення відносно директивних строків при виконанні незалежних завдань одним приладом» / О. А. Павлов, О. Б. Місюра, О. В. Мельников // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка : зб. наук. пр. – К. : ВЕК+, 2008. – № 48. – С. 3–6.
3. Складання розкладів сумарного випередження і запізнення із налагодженнями, що залежать від послідовності / Ф. Г. Ващук, О. А. Павлов, О. Б. Місюра, О. О. Мельник // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка : зб. наук. пр. – К. : ВЕК+, 2011. – № 53. – С. 192–194.
4. Baker K.R. Sequencing with earliness and tardiness penalties: a review / Baker K.R., Scudder G.D. // Operations Research. – 1990. – № 38 (1). – P. 22–36.
5. Coleman B.J. A simple model for optimizing the single machine early/tardy problem with sequence dependent setups / B. JAY Coleman // Production and Operations Management. – 1992. – Vol. 1 (2). – P. 225–228.
6. Fisher M.L. A dual algorithm for the one-machine scheduling problem / Marshall L. Fisher // Mathematical Programming. – 1976. – Vol. 11 (1). – P. 229–251.
7. Kanet J.J. Scheduling with inserted idle time: Problem taxonomy and literature review / Kanet J.J., Sridharan V. // Operations Research. – 2000. – № 48 (1). – P. 99–110.

УДК 528.4:528.3

О.І. Терещук, канд. техн. наук**І.О. Нисторьяк**, викладач

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**ДОСВІД ФУНКЦІОНУВАННЯ ПЕРМАНЕНТНОЇ GNSS-СТАНЦІЇ
«ЧЕРНІГІВ» (CNIV) У МЕРЕЖІ EPN****А.И. Терещук**, канд. техн. наук**И.А. Нисторьяк**, преподаватель

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**ОПЫТ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРМАНЕНТНОЙ GNSS-СТАНЦИИ
«ЧЕРНИГОВ» (CNIV) В СЕТИ EPN****Oleksii Tereshchuk**, PhD in Technical Sciences**Ivan Nystoriak**, teacher

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

**EXPIRIENCE OF FUNCTIONING OF THE PERMANENT GNSS-STATION
«CHERNIHIV» (CNIV) IN EPN NETWORK**

Стаття присвячена десятій річниці роботи перманентної GNSS-станції «Чернігів» (CNIV). Висвітлено історію розвитку станції, зокрема, внесення її до EPN – EUREF Permanent Network, зміну обладнання під час експлуатації та основні етапи становлення GNSS-мережі в Україні загалом.

Проаналізовано зміни координат за час роботи станції, кількість спостережень, вплив багатопроменевості та розглянуто координати станції у різних системах. Оцінено також комбіновані координати, швидкості їх зміни та значення тропосферної рефракції. Досліджено вплив та величину річних і сезонних тропосферних рефракцій на станції.

Зазначено, що станція «CNIV» віднесена до класу точності «А» через високий статус свого стабільного положення, похибка якого становить до 1 см у всіх епохах проведених спостережень. З огляду на це станція CNIV може використовуватися як довірна станція для EUREF ущільнення.

Ключові слова: перманентна станція, GPS, спостереження, GNSS, клас точності, CNIV.

Статья посвящена десятой годовщине работы перманентной GNSS-станции «Чернигов» (CNIV). Освещена история развития станции, в частности, внесение ее в EPN – EUREF Permanent Network, изменение оборудования при эксплуатации и основные этапы становления GNSS сети в Украине в целом.

Проанализированы изменения координат за время работы станции, количество наблюдений, влияние многолучевости и рассмотрены координаты станции в различных системах. Оценены также комбинированные координаты