

ЕВРИСТИЧНІ АЛГОРИТМИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ОДНОЕТАПНИХ ЗАДАЧ СКЛАДАННЯ РОЗКЛАДІВ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ БАГАТОРІВНЕВОЇ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ

Проаналізовано евристичні алгоритми розв'язання задач теорії розкладів за критерієм мінімізації сумарного випередження і запізнення з урахуванням налагодження приладів. Вирішено актуальне науково-прикладне завдання щодо удосконалення моделі багаторівневої системи планування з мережевим представленням технологічних процесів та обмеженими ресурсами шляхом включення до третього рівня моделі задач із налагодженням. Досліджено ефективність представлених алгоритмів порівняно з відомим точним методом. Наведено приклад практичного застосування побудованих алгоритмів.

Ключові слова: інформаційні технології, теорія розкладів, одноетапні задачі, системи планування, налагодження обладнання, критерій мінімізації сумарного випередження і запізнення.

Вступ. В умовах жорсткої ринкової конкуренції значну увагу приділяють інформаційним технологіям планування процесів для виконання завдань виробничого управління у складних організаційно-виробничих системах. Система планування має надавати можливість вибору критерію оптимальності відповідно до поточних ринкових потреб, причому важливого значення набувають економічні та виробничі критерії, пов'язані з максимізацією прибутку, мінімізацією витрат, мінімізацією штрафів за випередження та запізнення відносно директивних строків, виконання замовлень "точно в строк" з урахуванням різних обмежень та ін. Технології управління і планування мають забезпечувати найповніше завантаження устаткування, економію енергоресурсів завдяки ефективному використанню приладів, максимальне скорочення виробничого циклу виготовлення виробів тощо. У забезпеченні прибутковості підприємства важливу роль відіграє фактор часу: як тривалість виготовлення виробів, так і час налагодження приладів при переході від однієї операції до іншої.

Аналіз попередніх досліджень. Постановки задач планування у складних системах і методи їх розв'язання висвітлено у наукових працях провідних вітчизняних і зарубіжних вчених: В.С. Танаєва, В.С. Гордона, Я.М. Шафранського, М.З. Згуровського, О.А. Павлова, К.Р. Бейкера, Ф. Соурда, М. Пінедо, Дж. Шаллера та ін. [1-6]. Результати аналізу публікацій свідчать, що оптимальним для вирішення задачі планування в ієрархічній системі є об'єднання об'ємного і календарного планування за низкою найбільш поширених критеріїв з урахуванням технологічних вимог та особливостей виробництва. Зазначений підхід реалізували М.З. Згуровський та О.А. Павлов [2] у рамках єдиної багаторівневої системи планування з мережевим представленням технологічних процесів й обмеженими ресурсами. Однак у системі не розглядають задачі складання розкладів з урахуванням налагоджень обладнання як під час виконання завдань групами, так і окремих завдань. Враховуючи, що в окремих випадках під час планування тривалість налагодження приладу може значно перевищувати тривалість

виконання роботи, удосконалення багаторівневої системи з мережевим представленням технологічних процесів та обмеженими ресурсами є актуальною науково-прикладною задачею.

Бейкер К.Р. і Скуддер Г.Д. [6] дають детальний огляд задач і з випередженням і запізненням. Більшість відомих методів й алгоритмів розв'язання задач складання розкладів відносно директивних строків одним приладом з налагодженнями оснований на методі гілок і границь, методах динамічного або цілочисельного програмування і дають змогу розв'язати задачі планування лише для невеликої кількості завдань. Питання розв'язання задач оптимізації одним приладом з налагодженнями евристичними методами та для задач розмірності понад 20 досліджені недостатньо.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до тривірневої моделі планування, яку запропонували М.З. Згуровський та О.А. Павлов у [2], побудова розподілу робіт за ресурсами відбувається в три етапи. На першому етапі здійснюють побудову агрегованої моделі, з цією метою модель планування представляють у вигляді одного приладу.

На вхід другого рівня інформаційної системи поступає пріоритетно-впорядкована послідовність агрегованих робіт. Для кожної агрегованої роботи відома тривалість її виконання, ваговий коефіцієнт, директивний строк. Пріоритети агрегованих робіт, визначені на першому рівні, слугують додатковою інформацією, що дає змогу значно підвищити ефективність отриманих рішень. Побудовані на другому рівні моделі узгоджені плани виконання завдань за заданими критеріями оптимальності передаються на наступний рівень.

Процедури третього рівня відповідно до отриманого плану виконання агрегованих робіт мультиресурсами здійснюють побудову розподілу робіт за ресурсами (т. зв. "точне планування"). На виході третього рівня для кожної роботи визначається точний час початку її виконання та ресурс, який повинен цю роботу виконувати.

Для удосконалення цієї системи до третього рівня моделі включено алгоритми розв'язання двох задач планування:

Задача 1. Складання розкладів груп на одному приладі з часами налагодження сімейств.

Задача 2. Складання розкладів груп на одному приладі з часами налагодження сімейств, залежних від послідовності.

Мета полягає в тому, щоб знайти розклад, який мінімізує сумарне випередження і запізнення всіх завдань: $\sum_{j=1}^n (E_j + T_j)$, де: E_j – час випередження завдання з номером j ; T_j – час запізнення завдання j ; n – загальна кількість завдань.

У статті [7] запропоновано евристичні алгоритми розв'язання задачі 1: А1 – у разі, коли простої обладнання дозволені; А2 – для випадку заборонених простоїв. У роботі [8] побудовано алгоритми А3 і А4 розв'язання задачі 2.

На основі результатів проведених статистичних досліджень ефективності запропонованих алгоритмів [9-11] утворено три комбінації діапазону директив-

них строків R і фактора запізнення T , що відображають для кожної комбінації числа сімейств f і кількості завдань у кожному сімействі n_f найскладніші випадки задач – комбінація I: $R=1,0$; $T=0,6$; комбінація II: $R=0,8$; $T=0,6$; комбінація III: $R=0,2$; $T=0,6$. Проаналізовано якість розв'язків, одержаних за допомогою алгоритмів A1-A4, на основі порівняння з точним розв'язком, що дає метод гілок і границь. У табл. 1, 2 показано середнє відхилення значення функціоналу від оптимального у відсотках. Частка відхилення Δ обчислюється за формулою: $\Delta = (Z - Z_{opt}) \cdot 100 / Z_{opt}$, де Z_{opt} – сумарне випередження/запізнення розв'язку за алгоритмом гілок і границь, а Z – сумарне випередження/запізнення розв'язку, отриманого одним з розроблених евристичних алгоритмів (A1-A4).

Табл. 1. Середнє відхилення значення функціоналу від оптимального для алгоритмів A1, A2, %

Комбінація параметрів		I	II	III	I	II	III
f	n_f	Алгоритм A1			Алгоритм A2		
2	3	0,00	0,00	0,00	7,33	2,37	1,01
2	4	1,34	1,26	0,18	12,78	10,42	1,79
2	5	2,03	1,57	0,12	15,95	10,26	1,23
3	3	2,67	1,34	0,08	13,54	13,50	1,84
3	4	2,25	1,33	0,19	13,44	11,41	1,93
3	5	2,46	1,46	0,30	14,76	8,92	3,03

Табл. 2. Середнє відхилення значення функціоналу від оптимального для алгоритмів A3, A4, %

Комбінація параметрів	I	II	III	I	II	III
	Алгоритм A3			Алгоритм A4		
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	4,1	5,0	2,5	0,1	0,1	0,0
20	8,9	7,4	12,3	0,8	0,7	1,2
25	21,3	20,4	18,1	7,0	5,0	9,0

Результати табл. 1 показують, що для задач з $f=2$, $n_f=3$ алгоритм A1 знайшов оптимальний розв'язок для всіх комбінацій параметрів. Середній частка відхилення для алгоритму A1 становив близько 1 % на всіх множинах задач, для алгоритму A2 – близько 8 %. Результати табл. 2 показують, що для всіх задач з розмірністю 10 алгоритми A3 і A4 знайшли оптимальний розв'язок. Середній частка відхилення для алгоритму A3 становив близько 8,3 % на всіх множинах задач, для алгоритму A4 – близько 2 %.

Отже, запропоновані методи дають змогу отримати розв'язки, наближені до оптимальних з невеликим відхиленням, зокрема для отримання розв'язків задач 1-2 з розмірністю до 500 завдань.

Приклад реалізації тривірневої моделі планування

Постановка задачі. Задано множину завдань $J = \{j_1, j_2, \dots, j_n\}$ та їх директивні строки. Кожне завдання j_k , $k = \overline{1, n}$, складається з n_i операцій, $i = \overline{1, m}$, для яких відомо тривалість виконання p_{ki} , $i = \overline{1, m}$, $k = \overline{1, n}$. Частковий порядок на множині операцій, який визначається технологією виконання завдань, задано

мережею. Кожна наступна операція може розпочатися тільки по завершенню попередніх операцій. Для окремих приладів перед виконанням кожної операції задано тривалість налагодження. Усі завдання доступні в момент часу нуль. Прості приладів не допускаються, переривання завдань заборонені. Прилад, що потребує налагодження, виконує не більше однієї операції одночасно, і не може виконувати жодної іншої, поки виконується налагодження. Мета полягає в знаходженні розкладу, який мінімізує сумарне випередження та запізнення всіх завдань: $\sum_{j=1}^n (E_j + T_j)$.

На рис. 1 представлено мережеву модель виконання операцій, де "МВЗН" – прилад, на якому операції виконуються за критерієм мінімізації сумарного випередження і запізнення з налагодженням (МВЗН); "МСЗ" – прилад, на якому операції виконуються за критерієм мінімізації сумарного запізнення відносно директивних строків (МСЗ).

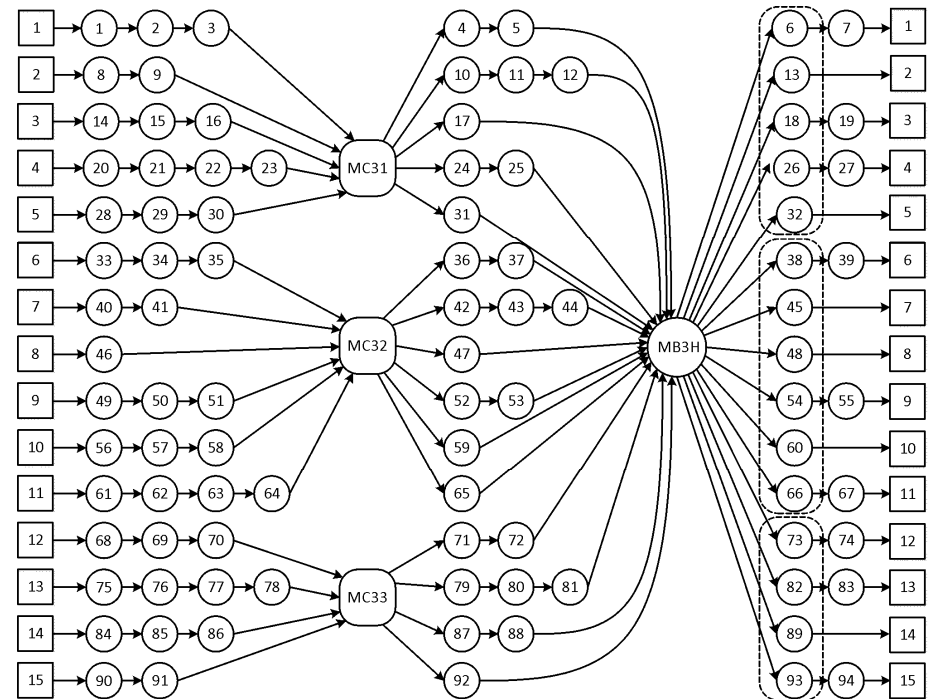


Рис. 1. Мережева модель виконання операцій

Тривалість виконання операцій наведено у табл. 3. Задано директивні строки: для виробу №1-120; 2-130; 3-170; 4-180; 5-200; 6-310; 7-340; 8-360; 9-400; 10-450; 11-480; 12-600; 13-650; 14-670; 15-700. Тривалість налагоджень приладу "МВЗН" перед виконанням кожної операції для операцій № 5, 12, 17, 25, 31 становить 40; для № 37, 44, 47, 53, 59, 65-80; для № 72, 81, 88, 92-100.

Табл. 3. Тривалість виконання операцій

№ завд.	№ операції	Тривалість виконання	№ завд.	№ операції	Тривалість виконання	№ завд.	№ операції	Тривалість виконання
1	1	10	6	33	10	12	68	10
	2	10		34	10		69	10
	3	10		35	10		70	10
	4	20		36	20		71	20
	5	15		37	26		72	30
	6	5		38	5		73	10
	7	10		39	10		74	10
2	8	15	7	40	15	13	75	7
	9	15		41	15		76	8
	10	11		42	10		77	8
	11	9		43	10		78	7
	12	20		44	32		79	5
3	13	5	8	45	15	14	80	5
	14	9		46	30		81	35
	15	10		47	28		82	15
	16	11		48	10		83	20
	17	24		49	10		84	10
4	18	10	9	50	10	15	85	10
	19	11		51	10		86	10
	20	8		52	20		87	20
	21	8		53	30		88	25
	22	7		54	10		89	30
5	23	7	10	55	10	15	90	15
	24	20		56	10		91	15
	25	11		57	10		92	10
	26	10		58	10		93	20
	27	10		59	30		94	20
5	28	10	11	60	40			
	29	11		61	7			
	30	9		62	8			
	31	24		63	8			
	32	10		64	7			
				65	40			
				66	14			
				67	10			

Розглянемо алгоритм складання розкладу виконання завдань для випадку, коли складання розкладу починається з кінця. У цьому разі ефективність планування залежить від порядку виконання завдань на останньому етапі, коли всі наступні операції для різних завдань незалежні одна від одної, що дає змогу однозначно визначити їх директивні строки виконання.

Загальна схема розв'язання задачі:

1. Визначення директивних строків та моментів початку виконання операцій.

2. Розв'язання задачі 1.

2.1. Формування сімейств операцій, що потребують налагодження.

2.2. Побудова розкладу виконання операцій алгоритмом A2.

2.3. Визначення директивних строків і моментів початку виконання операцій, що виконуються алгоритмом МСЗ [2].

2.4. Розподіл цих операцій між паралельними трьома приладами, реалізація для кожного приладу алгоритму МСЗ.

2.5. Корегування моментів початку виконання завдань.

На рис. 2 представлено отриманий план виконання завдань з прив'язкою до приладів.

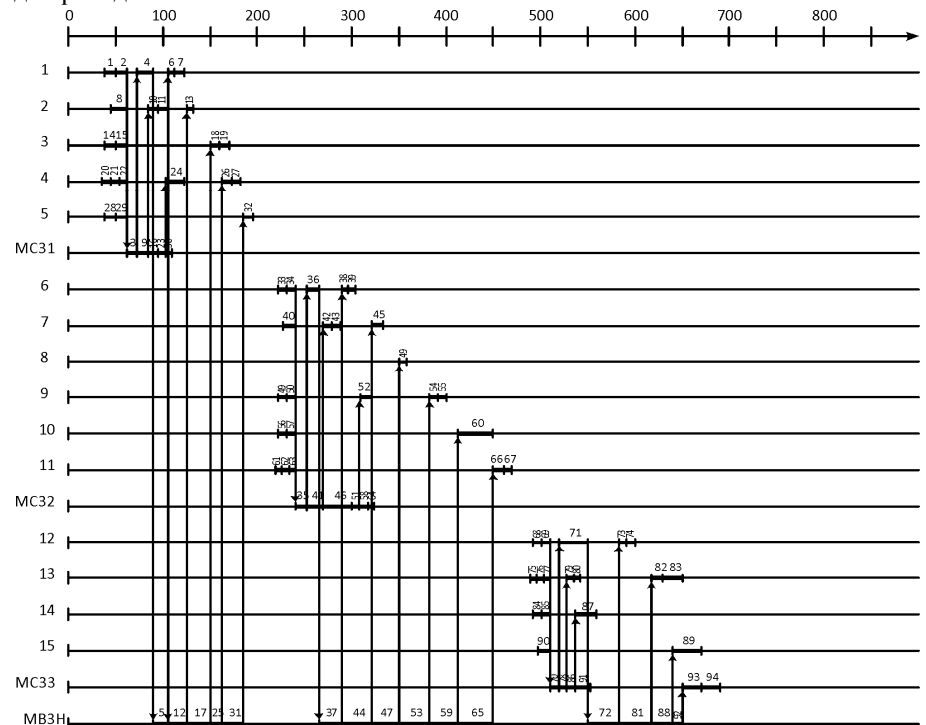


Рис. 2. Діаграма Гантта: план виконання операцій

Висновки. Багаторівнева система планування у складних системах, вдосконалена за рахунок включення задач з урахуванням налагоджень приладів, може бути застосована для вирішення широкого класу прикладних задач планування.

Література

1. Танаев В.С. Теория расписаний. Одностадийные системы / В.С. Танаев, В.С. Гордон, Я.И. Шафранский. – М. : Изд-во "Наука", 1984. – 384 с.
2. Згуровский М.З. Принятие решений в сетевых системах с ограниченными ресурсами : монография / М.З. Згуровский, А.А. Павлов. – К. : Изд-во "Наук. думка". – 2010. – 573 с.
3. Sourd F. Earliness-tardiness scheduling with setup considerations / F. Sourd // Computers & Operations Research. – 2005. – Vol. 32, № 7. – Pp. 1849-1865.
4. Pinedo M. Scheduling: Theory, Algorithms and Systems / Michael Pinedo // New Jersey: Prentice Hall. – 2002. – 586 p.

5. Schaller J. Single machine scheduling with family setups to minimize total earliness and tardiness / Jeffrey E. Schaller, Jatinder N.D. Gupta // European Journal of Operational Research. – 2008. – Vol. 187, № 3. – Pp. 1050-1068.

6. Baker K.R. Sequencing with earliness and tardiness penalties: a review / K.R. Baker, G.D. Scudder // Operations Research. – 1990. – № 38(1). – Pp. 22-36.

7. Ващук Ф.Г. Складання розкладів груп для одного приладу із налагодженнями за критерієм мінімізації сумарного випередження і запізнення / Ф.Г. Ващук, О.А. Павлов, О.Б. Місюра, О.О. Мельник // Вісник Національного технічного університету України "ХПІ". – Темат. вип.: "Системний аналіз, управління та інформаційні технології". – Харків: Вид-во НТУ "ХПІ". – 2011. – № 32. – С. 8-18.

8. Ващук Ф.Г. 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 "ХПІ": зб. наук. праць. – Сер.: Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – К.: Вид-во "Век+". – 2011. – № 53. – С. 192-194.

9. Ващук Ф.Г. Дослідження ефективності алгоритму складання розкладів сумарного випередження і запізнення із налагодженнями, що залежать від послідовності / Ф.Г. Ващук, О.О. Мельник // Бионика интеллекта. Информация, язык, интеллект. – Харьков: Изд-во ХНУРЭ. – 2012. – № 1(78). – С. 49-52.

10. Мельник О.О. Дослідження властивостей алгоритмів складання розкладів груп для одного приладу із налагодженнями за критерієм сумарного випередження і запізнення / О.О. Мельник // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: зб. наук. праць. – 2012. – № 2 (173). – С. 241-246.

11. Мельник О.О. Дослідження властивостей алгоритму складання розкладів за критерієм сумарного випередження і запізнення із налагодженнями, що залежать від послідовності / О.О. Мельник // Технічні науки та технології: наук. журнал / Черніг. нац. технол. ун-тет. – 2015. – № 1 (1). – С. 126-130.

Мельник Е.А. Эвристические алгоритмы решения одноэтапных задач составления расписаний для усовершенствования модели многоуровневой системы планирования

Проанализированы эвристические алгоритмы решения задач теории расписаний по критерию минимизации суммарного опережения и запаздывания с учетом наладки приборов. Решена актуальная научно-практическая задача усовершенствования модели многоуровневой системы планирования с сетевым представлением технологических процессов и ограниченными ресурсами за счет включения в третий уровень модели заданных с наладками приборов. Исследована эффективность представленных алгоритмов в сравнении с известным точным методом. Приведен пример практического применения разработанных алгоритмов.

Ключевые слова: информационные технологии, теория расписаний, одноэтапные задачи, системы планирования, наладка оборудования, критерий минимизации суммарного опережения и запаздывания.

Melnyk O.O. Heuristic Algorithms for Resolving of One-stage Scheduling Tasks in Improvement of Multilevel Planning System

This article is devoted to heuristic algorithms for resolving of one-stage scheduling tasks according to the criterion of minimizing the total earliness and tardiness, taking into account the equipment adjustment. We resolve the actual scientific and practical objective regarding the improvement of multilevel planning system with network representation of technological processes and limited resources by means of inclusion to the third level the model of tasks with adjustment. The effectiveness of represented algorithms was researched comparing to the well-known exact method. The example of practical application of created algorithms is represented.

Keywords: information technologies, scheduling theory, one-stage problem, planning systems, device adjustment, criteria of minimizing of the total earliness-tardiness.

УДК 004.056.5:655.25

Доц. М.А. Назаркевич, д-р техн. наук;
аспір. О.А. Троян – НУ "Львівська політехніка"

МЕТОД ЗАХИСТУ ДОКУМЕНТІВ НА ОСНОВІ ЕФЕКТУ МУАРУ

В інформаційній безпеці держави важливу роль відіграє захист друківаних документів. Розроблено спеціальні графічні побудови, на основі яких створено елементи з ефектом муару, що підвищують ефективність і надійність захисту. Розглянуто можливість поліпшити результати захисту за допомогою використання ефекту муару для підвищення ефективності захищеності документів. Цей метод зможе забезпечити високий рівень захисту інформації в друкованому або електронному вигляді, не залишаючи можливості фальсифікації навіть на сучасних копіювальних пристроях. Технологія захисту передбачає створення захисних елементів на основі виникнення муарних решіток у разі спроби фальсифікації документу. Технологію розроблено на етапі підготовки друкованих та електронних документів до друку.

Ключові слова: захист інформації, захисний елемент, друк, муар.

Вступ. Захист інформації на сьогодні набуває вагомого значення на державному рівні¹. Інформація в електронному чи друкованому вигляді потребує новітніх захищених способів від фальсифікації. На теперішньому етапі розвитку інформаційних технологій стає дедалі легше сфальсифікувати будь-яку документацію. Отже, щоб підвищити рівень захисту, потрібно розробляти нові методи, відтворення яких потребує багато часу та зусиль. Щоб захист був ефективним, він має задовольняти критерії надійності та економічності. Чим вищий ступінь захисту, тим тяжче її підробити. Сучасні технології дають змогу підробити буквально все, але тоді виникає питання чи вартує підробка затрачених зусиль та коштів. Основна мета захисту – зробити підробку нерентабельною. Зрозуміло, що зростання якості захищеності документів веде до підвищення вартості фальсифікації. Отже, розглянувши різні випадки захисту документів, можна прийти до висновку, що розробляти захищений документ потрібно з урахуванням максимального захисту та рентабельності.

Мета роботи – розробити технологію захисту для документів на паперових та електронних носіях.

Об'єкти досліджень – друковані та електронні документи (бланки, посвідчення, документи, що потребують захисту).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що захищений документ має володіти властивостями:

- *конфіденційності* – бути захищеним від несанкціонованого ознайомлення;
- *цілісності* – бути захищеним від несанкціонованого спотворення, руйнування або знищення;
- *доступності* – бути захищеним від несанкціонованого блокування [1].

На електронний чи друкований документ можуть здійснюватися такі загрози: фальсифікація документа; втрата деякої інформації; заміна деякої інформації; копіювання паперового носія; оцифрування даних; заміна документу. Тому можна ідентифікувати такі загрози: часткова підробка; повна підробка; фальсифікація документу; фальсифікація персоналізованих атрибутів і реквізитів документа; крадіжка.

¹ Публікація містить результати досліджень, проведених за грантової підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом.