

О. Г. Жданова¹
В. М. Клименко¹
М. О. Сперкач¹

СКЛАДАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНО ЕФЕКТИВНИХ КАЛЕНДАРНИХ ПЛАНІВ ДЛЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Розглянуто розробку методу підвищення ефективності функціонування виробничих систем за рахунок складання оптимальних або близьких до оптимальних за енергетичним критерієм календарних планів. Підхід дозволяє скласти розклад, в якому використана енергія буде мінімальною. Питання енергозбереження є дуже важливим. Існує багато сфер промисловості, для виробничих потужностей яких, наявна кількість енергії є недостатньою, тому необхідно оптимізувати виробництво задля мінімізації використаної енергії. Як відомо, задачі, в яких необхідно мінімізувати витрати енергії, привертають величезну увагу дослідників з усього світу. Ця зацікавленість пов'язана з бурхливим зростанням промисловості та їх виробничих потужностей, а також зі стрімким розвитком комп'ютерних технологій, які дозволяють прискорювати розв'язання задач за рахунок використання додаткової енергії. Але високі швидкості зростання виробництва призводять до надмірного використання енергії, що в свою чергу сприяє збільшенню витрат підприємств. Тому виникає необхідність у складанні енергетично ефективних розкладів роботи виробництва, що допоможе зменшити фінансові витрати та запобігти глобальній світовій проблемі надмірного використання невідновлюваних енергетичних ресурсів. У роботі зазначено актуальність виявленої проблеми та сформульовано мету її дослідження. Проведено огляд та аналіз існуючих рішень вирішення виявленої проблеми, запропонованих світовими науковцями. Сформульовано постановку задачі та проведено дослідження властивостей задачі. Представлено класифікації задач за значенням середньої тривалості робіт, дисперсії тривалості робіт та дисперсії директивних термінів. Розроблено алгоритми розв'язання задачі. Сформовано підкласи задач для перевірки ефективності роботи алгоритму та порівняння результатів з алгоритмом для паралельних машин з визначеним часом надходження та директивними термінами. Наведено результати досліджень ефективності запропонованого методу та приклад розв'язання задачі.

Ключові слова: енергетично ефективна задача, складання розкладів, невідновлюваний ресурс, календарний план, паралельні пристрої, мінімізація використання ресурсу, директивний термін.

Вступ

Проблема зменшення кількості використання енергії є актуальною вже багато десятиліть. Державні програми стимулюють населення до економії енергії та сприяють використанню відновлюваних енергетичних ресурсів. Підприємства шукають енергоефективні пристрої та технології, для зменшення кількості використаної енергії.

У виробництві, для стрімкого розвитку та нарощування виробничих потужностей, підприємству необхідно не лише енергоефективне обладнання, а й застосовувати ефективне планування в процесі складання розкладів функціонування виробництва.

Вагомий внесок у дослідження цієї проблематики внесли такі відомі вчені як Ф. Яо, А. Демерс і С. А. Шенкер [1], які запропонували свій метод оптимізації кількості використаної енергії шляхом вибору оптимальних швидкостей виконання робіт на одній машині. У роботі А. С. Анічкін та В. А. Семенов [2] дали детальний опис моделі ресурсів, які використовуються під час складання розкладів та моделі виконання робіт. Значну частину моделей і методів управління проектами

становлять задачі побудови календарних планів реалізації проекту, що пов'язані переважно з розподілом обмежених ресурсів. Задачі розподілу ресурсів на мережах належать до складних задач з багатьма екстремумами, саме це питання розглянув Ю. О. Верес у рамках свого дослідження [3].

Також у своїй дисертації А. В. Кононов [4] описує алгоритми розв'язання енергетично ефективних задач, таких як: задача з однією машиною та перериваннями, з однією машиною — наближений алгоритм, з паралельними машинами (детерміновані та динамічні). І. Н. Лушакова у роботі [5] вперше розглянула задачу вибору оптимальних швидкостей приладів в двохстадійній системі з нефіксованим маршрутами за умови, що в процесі обслуговування деяких вимог декількома приладами використовується більше половини запасу відновлюваного ресурсу. Д. І. Архипов, А. А. Лазарев, Г. В. Тарасов зробили дослідження в області задачі визначення завантаження ресурсів при пошуку нижніх оцінок загального часу виконання робіт проекту з урахуванням обмеження на ресурси [6].

Проте, на сьогоднішній день розробка та дослідження ефективності алгоритмів складання розкладів для паралельних машин в оперативно-календарному плануванні досліджена не повною мірою. Тому автори проводять дослідження з цієї проблематики.

Метою роботи є розроблення системи для підвищення ефективності функціонування виробничих систем за рахунок складання оптимальних або близьких до оптимальних за енергетичним критерієм календарних планів виконання робіт з мінімізацією загальної кількості використаної енергії паралельними пристроями.

Постановка задачі

Задано множину робіт $J = \{J_1, \dots, J_n\}$, роботи цієї множини мають бути виконані на будь-якій з паралельних машин з множини $M = \{M_1, \dots, M_m\}$.

Для роботи J_j ($j = 1, 2, \dots, n$) маємо час її надходження r_j , директивний термін d_j та тривалість її виконання W_j . У рамках виконання роботи можна змінювати її швидкість за рахунок зміни кількості енергії, що споживають машини.

Тривалість роботи залежить від швидкості, з якою вона виконується. Вибір швидкості виконання кожної роботи $S(T)$ визначається під час складання розкладу.

Нехай машина працює в інтервалі часу $[t_0, t_1]$. Кількість використаної енергії, дорівнює

$$E_A = \int_{t_0}^{t_1} (S(T))^\alpha dt, \quad (1)$$

де $\alpha > 1$ — деяка задана константа (в умовах енергетичної задачі використовуємо $\alpha = 3$).

Для кожної роботи необхідно визначити машину, на якій вона буде виконуватись та інтервал часу, а також швидкість її виконання. Розклад необхідно скласти таким чином, щоби він був допустимим відносно директивних термінів та часу надходження, також загальна кількість використаної енергії має бути мінімальною. Наведемо алгоритми розподілу робіт між машинами та енергетичного розміщення робіт. У роботі [9] наведено опис дослідження задачі.

Алгоритм розподілу робіт між машинами

Крок 1. Визначимо послідовність моментів $t_0 > t_1 > \dots > t_k$, що відповідають часу надходження роботи та її директивному терміну.

Крок 2. Знайдемо інтервали $I(p, q) = [t_p, t_q]$ для всіх $0 \leq p < q \leq k$.

Крок 3. Виділимо роботи, які належать до інтервалів. Робота J_j належить інтервалу $I(p, q)$ за умови, що $[r_j, d_j] \in I_{p,q}$

Крок 4. Визначимо інтервал з найбільшою щільністю $A(I_{p,q})$.

$$A(I_{p,q}) = \frac{\sum_{J_j \in A(I_{p,q})} W_j}{|I_{p,q}|}, \quad (2)$$

де $|I_{p,q}|$ — величина інтервалу.

Крок 5. Серед робіт, що належать до цього інтервалу, вибираємо роботу з найбільшою тривалістю виконання W_j .

Крок 6. Призначимо виконання цієї роботи машині, в якій цей інтервал незаповнений, або має найменшу щільність.

Крок 7. Видаляємо роботу з переліку тих, що необхідно виконати. Якщо в переліку залишилися ще роботи, тоді повертаємось до Кроку 4.

Крок 8. Отримаємо масив усіх машин та робіт, які на них виконуються.

Алгоритм енергетичного розміщення робіт

Крок 1. Вибираємо машину з невизначеним розкладом виконання робіт.

Крок 2. Аналогічно попередньому алгоритму визначаємо інтервали та їх щільність, виконуємо Кроки 1—4.

Крок 3. Визначимо роботи, які належать до цього інтервалу.

Крок 4. Якщо до інтервалу належить лише одна робота J_j , виконаємо її в цьому інтервалі зі швидкістю що дорівнює 1, переходимо до Кроку 6.

Крок 5. Якщо до інтервалу належить більше однієї роботи, вибираємо роботу з найбільшою тривалістю та перевіряємо можливі доступні для неї інтервали:

ЯКЩО існують інтервали з більшою величиною інтервалу, переходимо до наступної за тривалістю роботи в досліджуваному інтервалі;

ІНАКШЕ розміщуємо роботу в досліджуваному інтервалі.

Виконуємо такі дії, поки не переглянемо всі роботи вказаного інтервалу.

Крок 6. Визначимо швидкість виконання робіт в досліджуваному інтервалі

$$S_{p,q} = \frac{\sum_{J_j \in A(I_{p,q})} W_j}{|I_{p,q}|}. \quad (3)$$

Крок 7. Видалимо інтервал та роботи, що були визначені для виконання, з переліку на визначення. Якщо в переліку інтервалів машини, ще є невизначені інтервали, тоді переходимо до Кроку 2.

Крок 8. Розраховуємо кількість енергії, що необхідно для виконання робіт на машині M_i , за формулою (1). Якщо є ще невизначені з роботами машини, повертаємось до Кроку 1.

Крок 9. Визначаємо кількість енергії затрачену на виконання всіх робіт у складеному розкладі

$$E_{all} = \sum_{i=1}^m E_i. \quad (4)$$

Класифікація задач

Для дослідження ефективності алгоритму класифіковані типи задач за законом розподілу тривалостей та законом розподілу директивних термінів. Кожен розподіл має математичне сподівання та дисперсію. Вважається, що випадкові величини «тривалість роботи» та «директивний термін» мають рівномірний розподіл.

Відомо, що випадкова величина X рівномірно розподілена, якщо вона має таку функцію щільності ймовірностей [7]

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & \text{якщо } x \in [a; b], \\ 0, & \text{якщо } x \notin [a; b]. \end{cases}$$

Умовний запис рівномірно розподіленої випадкової величини $x — X \sim U[a; b]$, математичне сподівання дорівнює $M(X) = \frac{b+a}{2}$, дисперсія — $D(X) = \frac{(b-a)^2}{12}$.

Рівномірно розподілену випадкову величину $x: X \sim U[a; b]$ можна задавати й іншим способом, задавши середнє значення $c = \frac{a+b}{2}$ та значення напівінтервалу $f = \frac{b-a}{2}$, що співвідноситься з дисперсією як $f = 3\sqrt{D(X)}$, тому його можна вважати мірою розкиду випадкової величини.

Класифікація задач відбувається за такими параметрами: середнім значенням тривалості роботи, дисперсією тривалості та дисперсією директивних термінів. Детальніша класифікація викладена в роботі [8].

Першим параметром класифікації є середнє значення тривалості, оцінювання тривалості \bar{p} робіт будемо виконувати з огляду на те, як вони залежать від середніх значень директивних термінів \bar{d} . Підклас « S_p » має інтервал значень $\bar{p} \in [0,01\bar{d}; 0,05\bar{d}]$ для « M_p » — $\bar{p} \in [0,06\bar{d}; 0,1\bar{d}]$ та для інтервалу « L_p » — $\bar{p} \in [0,11\bar{d}; 0,15\bar{d}]$, $d \in [0,6\bar{d}; 0,14\bar{d}]$. Всі крайні точки інтервалів підбрані з урахуванням експериментів.

Іншою важливою класифікацією є дисперсія тривалості робіт \bar{p} . Вона характеризує ступінь розкиду значень тривалостей робіт відносно середнього значення. Значення напівінтервалу f_p для розподілу тривалостей робіт будемо задавати як відсоток від середнього значення тривалостей \bar{p} . Для підкласу « S_{fp} » інтервал значень становить $p \in [0,9\bar{p}; 0,11\bar{p}]$, для « M_{fp} » — $p \in [0,05\bar{p}; 0,15\bar{p}]$ та для інтервалу « L_{fp} » — $p \in [0,1\bar{p}; 0,19\bar{p}]$.

Останнім параметром класифікації є ступінь розсіювання директивних термінів. Визначимо значення напівінтервалу f_d для розподілу директивних термінів, як відсоток від середнього значення директивних термінів \bar{d} . Підклас « S_{fd} » співвідноситься з інтервалом $d \in [0,8\bar{d}; 0,12\bar{d}]$, підклас « M_{fd} » — $d \in [0,6\bar{d}; 0,14\bar{d}]$ для « L_{fd} » інтервал значень становить $d \in [0,4\bar{d}; 0,16\bar{d}]$.

Для проведення експериментальних досліджень виділено 27 підкласів задач в залежності від середнього значення тривалості робіт, дисперсії тривалостей та дисперсії директивних термінів.

Кодування підкласів задач детально подано в роботі [9] та виконано таким чином: код задач $X/Y/Z$, де X — середня тривалість, Y — дисперсія тривалості, Z — дисперсія директивних термінів.

Для дослідження властивостей алгоритму проведено по 100 експериментів (загальна кількість експериментів 2700) для різної кількості робіт в задачах (від 4 до 7), різної кількості машин (від 2 до 5) та для різних підкласів задач, результатами яких було відношення кількості задач, де розроблений алгоритм дав розклад з меншою кількістю використаної енергії, ніж алгоритм для паралельних машин з визначеним часом надходження та директивними термінами.

Для перевірки роботи алгоритму складання розкладу розроблений алгоритм генерації індивідуальних задач, який генерує набори робіт, значення тривалості виконання та директивних термінів яких визначають відповідні значення дисперсій.

Окремо для різної кількості робіт, машин та класу задач отримали різне значення відношення, що дозволяє дослідити тенденцію зміни ефективності алгоритму складання енергетично ефективного розкладу.

На рис. 1 та рис. 2 показані деякі результати, отримані під час перевірки ефективності алгоритмів.

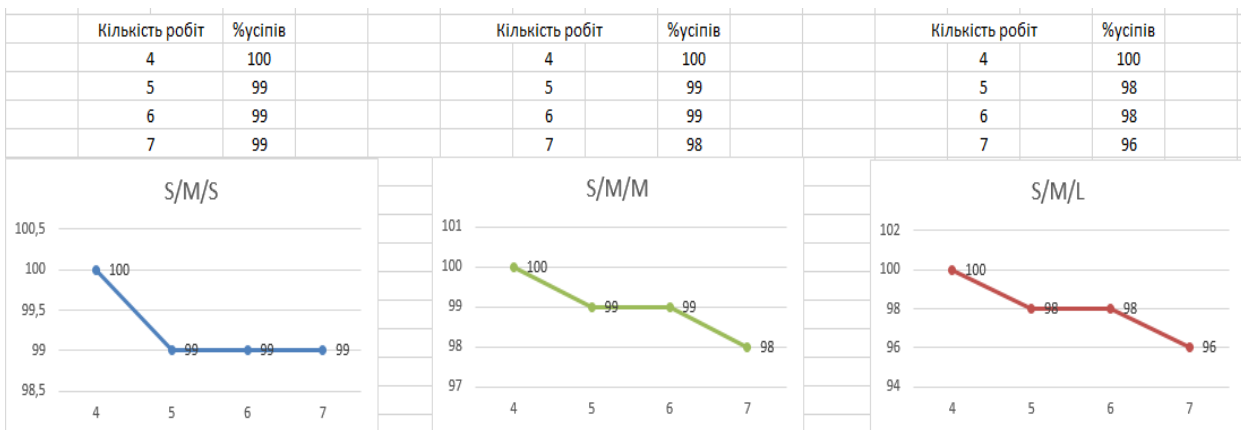


Рис. 1. Результати експериментів для задач класів $S/M/S$ — $S/M/L$

Зі збільшенням кількості робіт якість складеного розкладу зменшується, проте при пропорційному збільшенні робіт та машин, якість розкладу залишається майже без змін. У порівнянні з алгоритмом для паралельних машин з визначеним часом надходження та директивними термінами прослідковується тенденція поліпшення результатів складених розкладів, в 95 % випадків отримано кращий

результат, тобто загальна кількість використаної енергії була меншою. Також прослідковується зменшення якості складеного розкладу зі збільшенням дисперсії тривалості робіт.

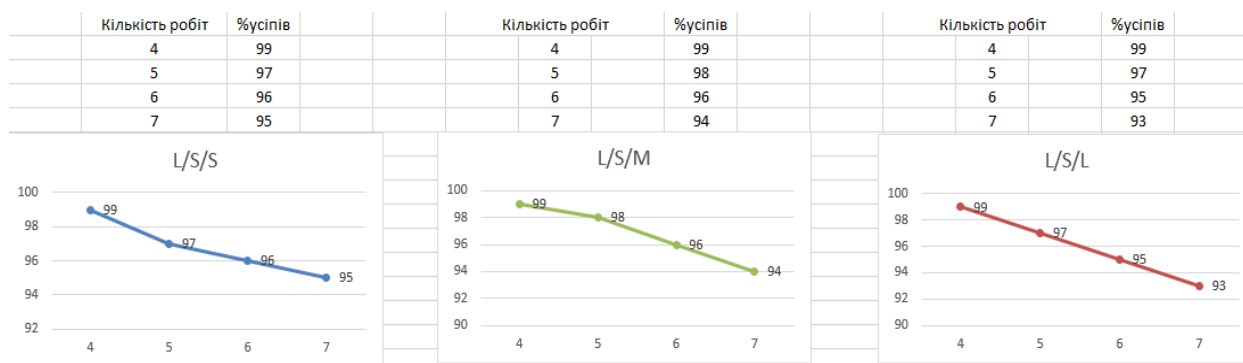


Рис. 2. Результати експериментів для задач класів $L/S/S$ — $L/S/L$

Експериментальні дослідження підтвердили ефективність роботи алгоритму, тому його можна вважати ефективним в рамках задачі, що розглядається.

Приклад розв'язання задачі

Маємо 19 робіт, кожна з яких має час надходження r_j , директивний термін d_j та об'ємом W_j та 3 машини на яких вони можуть виконуватись. Вхідні дані подані в табл. 1.

У рамках виконання роботи ми можемо змінювати її швидкість за рахунок зміни кількості енергії, що використовується на машинах. Тривалість роботи залежить від швидкості, з якою вона виконується. Вибір швидкості роботи кожної машини $S(T)$ визначається під час складання розкладу і може змінюватись в часі.

Таблиця 1

Вхідні дані

№ P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
r_j	3	3	4	4	4	7	5	12	7	11	12	14	15	17	25	19	23	11	13
d_j	12	17	16	12	11	20	12	30	17	18	19	28	22	30	30	37	31	18	34
W_j	7	15	18	8	15	11	16	11	31	34	27	6	21	9	37	11	16	17	15

Спочатку необхідно розподілити роботи між машинами таким чином, щоб щільність інтервалів була мінімальною. Першим кроком визначаємо всі інтервали, які є у вхідних даних.

В результаті маємо 22 інтервали: (3; 4), (4; 5), (5; 7), (7; 11), (11; 12), (12; 13), (13; 14), (14; 15), (15; 16), (16; 17), (17; 18), (18; 19), (19; 20), (20; 22), (22; 23), (23; 25), (25; 28), (28; 30), (30; 31), (31; 34), (34; 37).

Після визначення інтервалів розраховуємо щільність інтервалів $A(I_{p,q})$ за формулою (2).

Визначаємо інтервал з найбільшою щільністю та роботу, що належить цьому інтервалу, з найбільшим об'ємом. Після цього закріплюємо виконання роботи за машиною, в якій цей інтервал є не заповнений, або має найменшу щільність. Видаляємо розміщену роботу із загального переліку робіт, та повторюємо вищевказані дії, доки всі роботи не будуть закріплені за машинами. Розподіл робіт між машинами подано в табл. 2.

Таблиця 2

Результати розподілу робіт між машинами

№ M	1	2	2	3	1	1	3	3	2	1	1	2	3	1	1	2	3	3	2
№ P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
R_j	3	3	4	4	4	7	5	12	7	11	12	14	15	17	25	19	23	11	13
D_j	12	17	16	12	11	20	12	30	17	18	19	28	22	30	30	37	31	18	34
W_j	7	15	18	8	15	11	16	11	31	34	27	6	21	9	37	11	16	17	15

Після того як всі роботи розподілені між машинами необхідно визначити в яких інтервалах часу та з якою швидкістю вони будуть виконуватись. Для цього необхідно застосувати алгоритм енергетичного розміщення робіт на машинах. На кожній з машин, аналогічно попередньому алго-

ритму визначаємо інтервал з найбільшою щільністю. Якщо на цей інтервал припадає лише одна робота, тоді виконуємо її в ньому, але якщо робіт більше ніж одна, тоді вибираємо роботу з найбільшим об'ємом та перевіряємо можливі інтервали виконання для неї. Після визначення допустимих інтервалів для роботи з найбільшим об'ємом, розміщуємо її в інтервалі з найменшою щільністю і переходимо до наступної після неї за розміром роботи та виконуємо аналогічні дії. Повторюємо цю послідовність операцій для всіх робіт, що були закріплені за цією машиною. В результаті розміщення робіт в інтервалі визначаємо їх швидкість виконання $S_{p,q}$ за формулою (3). Таким чином отримано розклад, показаний на рис. 3.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32			
1 маш.				1[s=7]	5[s=2.14]			6[s=11]			10[s=6.8]			11[s=13.5]			14[s=1.5]			15[s=7]															
2 маш.				2[s=5]			3[s=2.57]			9[s=10.33]			12[s=6]	19[s=7.5]			16[s=1]																		
3 маш.				4[s=8]	7[s=2.67]			18[s=17]			8[s=3.67]			13[s=3]			17[s=2]																		

Рис. 3. Результат розміщення робіт на машинах з інтервалами та швидкостями виконання

Для розрахунку кількості використаної енергії, застосуємо формулу 1. Тобто для роботи під номером 5 кількість використаної енергії складає $E_5 = 2,14^3 \cdot 7 \approx 68,6$ од.

Визначаємо кількість використаної енергії на машинах: для першої машини кількість енергії складає 9970,76 од., для другої — 4775,4 од., для третьої — 5940,5 од.

Загальна кількість витраченої енергії визначається за формулою (4). Розв'язуючи задачу, визначили, що загальна кількість енергії, використаної під час виконання робіт на трьох паралельних машинах, складає 20868,9 од. Отриманий результат є оптимальним, адже кількість енергії, яка необхідна при початковому розподілі робіт зменшилась вдвічі.

Висновки

Розглянуто алгоритм складання енергетично ефективних розкладів для паралельних машин. Описано постановку проблеми та висвітлено її зв'язки з важливими проблемами сьогодення. Виконано аналіз вже існуючих результатів вирішення цієї проблеми. Сформульовано мету дослідження та постановку задачі, проведено дослідження властивостей задачі. Розроблено алгоритми розв'язання задачі. Сформовано підкласи задач для перевірки ефективності роботи алгоритму. Наведено результати досліджень ефективності запропонованого методу та приклад розв'язання задачі. Також для перевірки роботи алгоритму використано порівняння з алгоритмом для паралельних машин з визначеним часом надходження та директивними термінами. В ході порівняння визначено поліпшення результатів у 95 % експериментальних досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] F. Yao, A. Demers, and S. A. Shenker, "Scheduling model for reduced CPU energy," in *36th Annual Symposium on Foundation of Computer Science (FOCS 1995)* Milwaukee, Wisconsin, 1995, pp. 374-382.
- [2] А. С. Аничкин, и В. А. Семенов, «Современные модели и методы теории расписаний,» Труды ИСП РАН, том 26, № 3, с. 5-50, 2014.
- [3] Ю. О. Верес, «Розподіл обмежених ресурсів в управлінні проектами,» *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»,* № 685, с. 33-44, 2010.
- [4] А. В. Кононов, «Актуальные задачи теории расписаний: вычислительная сложность и приближенные алгоритмы.» дис. канд. физ-мат. наук., федер. гос. учрежд. ин-та. математики им. С. Л. Соболева, Новосибирск, Россия, 2014.
- [5] И. Н. Лушакова, «Задачи теории расписаний для системы с нефиксированными маршрутами и ресурсными ограничениями.» дис. канд. физ-мат. наук., Белорусский гос. ун-т., Минск, 1992.
- [6] Д. И. Архипов, А. А. Лазарев, и Г. В. Тарасов, «Определение загрузки ресурсов при поиске нижних оценок для задачи RCPSP,» *Прикладная математика и вопросы управления,* № 3, с. 35-46, 2017.
- [7] А. Емелин, *Copyright mathprof.ru 2010-2019. Равномерное распределение вероятностей.* [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://mathprof.ru/ravnomernoe_raspredelenie_veroyatnostei.html. Дата обращения: Июнь 08, 2019.
- [8] Д. О. Волошин, В. М. Клименко, О. Г. Жданова, М. О. Сперкач, и О. А. Халус, «Дослідження задачі визначення максимально пізнього моменту початку виконання робіт з мінімізацією сумарного випередження відносно директивних термінів виконання робіт,» в *МОДС 2019 Тези доповідей,* с. 398-401.
- [9] В. М. Клименко, О. Г. Жданова, М. О. Сперкач, О. А. Халус, «Дослідження задачі визначення енергетично ефективних розкладів для паралельних машин,» Третя всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених та студентів «Інформаційні системи та технології управління», Київ, с. 97-101, 2019.

Жданова Олена Григорівна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації і управління, e-mail: zhdanova.elena@hotmail.com ;

Клименко Вадим Михайлович — студент факультету інформатики та обчислювальної техніки, e-mail: vklimenko06@gmail.com ;

Сперкач Майя Олегівна — канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації і управління, e-mail: sperkachmaya@gmail.com .

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

O. H. Zhdanova¹
V. M. Klymenko¹
M. O. Sperkach¹

Planning Energy Efficient Schedules for the Functioning of Production Systems

¹National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

The work is devoted to the development of a method for increasing the efficiency of production systems by drawing up schedules that are optimal or close to optimal according to the energy criterion. The approach allows to create a schedule in which the amount of energy used will be minimal. For the world, the issue of energy conservation is very important. There are many areas of industry for the production capacities of which the existing amount of energy is not enough; therefore, it is necessary to optimize production to minimize the amount of energy that is used. As you know, tasks in which it is necessary to minimize energy costs attract huge attention of researchers from around the world. This interest is associated with the rapid growth of industry and their production capacities, as well as with the rapid development of computer technology, which allows accelerating the solution of problems through the use of additional energy. But high production growth rates lead to excessive use of energy, which in turn contributes to increased costs for enterprises. Therefore, there is a need for energy-efficient production schedules, this will help reduce financial costs and prevent the global problem of excessive use of non-renewable energy resources. The paper considers the relevance of the identified problem and formulates the purpose of its study. A review and analysis of existing solutions have been proposed by world scientists to solve the identified problem. The statement of the problem is given and the properties of the problem are studied. Classifications of tasks by the average duration of work, the variance of the duration of work and the variance of the policy dates are presented. Algorithms for solving the problem are developed. Subclasses of tasks are formed to check the efficiency of the algorithm and a comparison of the results with the algorithm for parallel machines with a certain arrival time and directive dates. An example of solving the problem is presented. The results of studies of the effectiveness of the proposed method are presented.

Keywords: energy efficient task, schedule creation, non-renewable resource, calendar plan, parallel machines, minimization of total resource usage, deadline.

Zhdanova Olena H. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Automated Systems of Information Processing and Control, e-mail: zhdanova.elena@hotmail.com ;

Klymenko Vadym M. — Student of the Department of Informatics and Computer Engineering, e-mail: vklimenko06@gmail.com ;

Sperkach Maiia O. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Automated Systems of Information Processing and Control, e-mail: sperkachmaya@gmail.com

Е. Г. Жданова¹
В. М. Клименко¹
М. О. Сперкач¹

Составление энергетически эффективных календарных планов для функционирования производственных систем

¹Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Разработан метод повышения эффективности функционирования производственных систем за счет составления оптимальных или близких к оптимальным по энергетическим критериям календарных планов. Подход позволяет составить расписание, в котором количество использованной энергии будет минимальным. На сегодня вопрос сохранения энергии является очень важным. Существует много сфер промышленности, для производственных мощностей которых, существующее количество энергии недостаточно, поэтому необходимо оптимизировать производство для минимизации количества используемой энергии. Как известно, задачи, в которых необходимо минимизировать затраты энергии, привлекают огромное внимание исследователей со всего мира. Данная заинтересованность связана с бурным ростом промышленности и производственных мощностей, а также со стремительным развитием компьютерных технологий, позволяющих ускорять решение задач за счет использования дополнительной энергии. Но высокие скорости роста производства приводят к чрезмерному использованию энергии, что в свою очередь способствует увеличению расходов предприятий. Поэтому возникает необходимость в составлении энергетически эффективных расписаний работы производства, это поможет уменьшить финансовые затраты и предотвратить глобальную мировую проблему чрезмерного использования невозобновляемых энергетических ресурсов. В работе рассмотрены актуальность выявленной проблемы и сформулированы цель ее исследования. Проведен обзор и анализ существующих решений выявленной проблемы, предложенных учеными всего мира. Сформулирована постановка задачи и проведено исследование свойств задачи. Представлены классификации задач по значению средней продолжительности работ, дисперсии продолжительности работ и дисперсии директивных сроков. Разработаны алгоритмы решения задачи. Сформированы подклассы задач для проверки эффективности работы алгоритма и сравнения результатов с алгоритмом для параллельных машин с определенным временем поступления и директивными сроками. Приведены результаты исследований эффективности предложенного метода и пример решения задачи.

Ключевые слова: энергетически эффективная задача, составление расписаний, не возобновляемый ресурс, календарный план, параллельные устройства, минимизация использования ресурса, директивный срок.

Жданова Елена Григорьевна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, e-mail: zhdanova.elena@hotmail.com ;

Клименко Вадим Михайлович — студент факультета информатики и вычислительной техники, e-mail: vklimenko06@gmail.com ;

Сперкач Майя Олеговна — канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, e-mail: sperkachmaya@gmail.com