

УДК 658.011.56

: . I . Dmag_ph кандидат технических наук, доцент
Ижевский государственный технический университетОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЗАГРУЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ С УЧЕ-
ТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ РАБОТ*KnhjfmehbZ fZl_fZlbq_kdZy ft^ev aZZqb hilbfZevghc aZjmadb hfjmhZgby k mq_lhf g_hi-
j_e_gghklb ijhhebl_evghklb hi_jZpbc .AZZqZ j_rZ_lky k ijbf_g_gb_f lg_lbq_kdhlh ZeljbjlfZ .**Ключевые слова:** математическая модель, продолжительность операции, генетические алгоритм

Рассматривается задача выбора оборудования и составления оптимального производственного расписания при заданных технологических маршрутах многономенклатурного производства на машиностроительных предприятиях. В условиях реального производства нормативные сроки выполнения операций обработки деталей на каком-либо типе оборудования могут не выполняться. Отклонение возможно как со знаком плюс, так и со знаком минус. Появление отклонений может быть связано с техническим состоянием оборудования, с квалификацией и физическим состоянием работника, с другими производственными факторами. Для обеспечения бесперебойного производства при планировании загрузки оборудования определенными видами работ необходимо учитывать неопределенность продолжительности времени для каждой технологической операции.

Увеличение продолжительности операций, по сравнению с нормативными значениями, характеризует технологические производственные процессы с отрицательной стороны. Для доведения состояния производства до нормативного состояния и для поддержания его на должном уровне требуются некоторые материальные затраты. Материальные затраты также необходимы и для модернизации производства, уменьшающего затраты времени технологических операций, т. е. повышающего производительность труда. Поэтому целесообразно планировать организацию работ с позиции оптимальности по критерию суммарной эффективности производства, учитывающего сроки проведения работ, стоимость применяемого оборудования и затраты на модернизацию и поддержание производства.

Математическая постановка задачи

Имеется набор деталей $d_i, i = \overline{1, m}$, который проходит обработку на нескольких типах оборудования $e_j, j = \overline{1, n}$. Задана продолжительность времени обработки i -й детали на j -м оборудовании $\tau_{ij}, i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$. Для каждой детали определена последовательность прохождения обработки на имеющихся видах оборудования, т. е. задан технологический маршрут как перестановка $\theta_i = \langle \theta_i^1, \dots, \theta_i^n \rangle$. Требуется составить график обработки деталей, оптимальный по какому-либо критерию. В качестве критериев будем рассматривать время обработки последней детали, стоимость оборудования и затраты на модернизацию и поддержание производства.

Нормативная продолжительность времени обработки i -й детали на j -м оборудовании $\tau_{ij}, i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$ может иметь нижнюю BL_j и верхнюю BR_j границы. Сни-

© Кузнецов А. П., 2011

* Статья подготовлена в рамках работ по гранту Президента Российской Федерации по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации НШ-64570.2010.8.

жение времени обработки, т. е. увеличение BL_{ij} и уменьшение BR_{ij} связано с материальными затратами некоторой функциональной зависимостью $Z_M = F(BL, BR)$.

Обозначим $\overline{t_{ij}}$ время завершения обработки i -й детали на j -м оборудовании t_{ij} , $i = \overline{1, m}$; $j = \overline{1, n}$. Это время также будет в некотором интервале неопределенности. Требуется найти последовательности обработки деталей на каждом виде оборудования (перестановок $\langle S \rangle^j = S_i^j$), обеспечивающих минимум времени полной обработки с соблюдением всех технологических маршрутов $\max_i t_{i0_n} \rightarrow \min$.

Парк оборудования может содержать несколько единиц одинакового оборудования. В этом случае необходимо поставить задачу загрузки оборудования с определением оптимального количества единиц оборудования каждого типа. Большое количество единиц оборудования уменьшает время полного цикла обработки деталей, но увеличивает затраты и снижает эффективность использования оборудования. Введем обозначения:

$N_j, j = \overline{1, n}$ – количество единиц оборудования j -го типа;

$C_j, j = \overline{1, n}$ – стоимость одной единицы оборудования;

$\sum_{j=1}^n C_j N_j$ – суммарные затраты.

Целевая функция, характеризующая производственное расписание с выбором количества единиц оборудования, принимает вид

$$f(\langle S \rangle^j, N_j) = \alpha \max_i t_{i0_n} + \sum_{j=1}^n C_j N_j \rightarrow \min,$$

где α – коэффициент, устанавливающий стоимостный эквивалент единицы времени производственного процесса.

Третья составляющая критерия эффективности содержит затраты на снижение времени технологических операций

$$Z_M = F(\mathbf{BL}, \mathbf{BR}), \tag{1}$$

где $\mathbf{BL} = (BL_{ij})$, $\mathbf{BR} = (BR_{ij})$, $i = \overline{1, m}$; $j = \overline{1, n}$ – отклонения от нормативных значений продолжительности (i, j) -й операции.

Окончательный вид целевой функции:

$$f(\langle S \rangle^j, N_j, \Delta T) = \alpha \max_i t_{i0_n} + \sum_{j=1}^n C_j N_j + F(\mathbf{BL}, \mathbf{BR}) \rightarrow \min, \tag{2}$$

где $\Delta T = (\mathbf{BL}, \mathbf{BR})$.

Неопределенность величин, входящих в функцию (2), будем описывать с применением нечетких чисел.

Если целевая функция является нечеткой или множество переменных нечеткое, то приходим к задаче нечеткого программирования [1]. Для определенности примем представление нечетких чисел с треугольной функцией принадлежности

$a = (a^0; \Delta_l a; \Delta_r a)$. Для нечетких чисел задаются правила сложения, умножения и деления [2]:

$$a_1 \pm a_2 = (a_1^0 \pm a_2^0; \Delta_l a_1 + \Delta_l a_2; \Delta_r a_1 + \Delta_r a_2),$$

$$a_1 \cdot a_2 = (a_1^0 \cdot a_2^0; \Delta_l a_1 \cdot a_2^0 + \Delta_l a_2 \cdot a_1^0; \Delta_r a_1 \cdot a_2^0 + \Delta_r a_2 \cdot a_1^0),$$

$$a_1 : a_2 = \left(\frac{a_1^0}{a_2^0}, \frac{\Delta_l a_1 \cdot a_2^0 + \Delta_l a_2 \cdot a_1^0}{(a_2^0)^2}, \frac{\Delta_r a_1 \cdot a_2^0 + \Delta_r a_2 \cdot a_1^0}{(a_2^0)^2} \right).$$

Для значения функции от нечеткого числа определим правило:

$$f(a) = \left(f(a^0); \frac{\partial f(a^0)}{\partial a} \Delta_l a; \frac{\partial f(a^0)}{\partial a} \Delta_r a \right).$$

Для сравнения значений целевых функций нечеткие числа приводятся к четким с помощью центроидного метода. Для треугольного вида функций принадлежности приведение нечеткого числа $z = (z^0; \Delta_l z; \Delta_r z)$ к четкому осуществляется следующим образом:

$$\hat{z} = z^0 + \frac{\Delta_r z - \Delta_l z}{3}.$$

Функцию затрат (1) определим в виде

$$F(\Delta T) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m Kc_i \frac{\tau_{ij}}{\left(1 + \frac{\Delta \tau_{ij}}{\tau_{ij}}\right)^{\beta_i}}, \quad (3)$$

$$\text{где } |\Delta \tau_{ij}| = \begin{cases} BL_{ij} & | \Delta \tau_{ij} < 0 \\ BR_{ij} & | \Delta \tau_{ij} > 0 \end{cases}.$$

Для решения применяется метод оптимизации, основанный на генетическом алгоритме и описанный в работах [3, 4]. Отметим, что хромосома в нашей задаче содержит три части:

- 1) перестановки целых чисел, соответствующие последовательности обработки деталей на каждом типе оборудования;
- 2) целые переменные, соответствующие количеству оборудования каждого типа;
- 3) вещественные переменные, соответствующие отклонениям времени обработки $\Delta \tau_{ij}$ от нормативных значений τ_{ij} .

Каждая часть хромосомы скрещивается с применением перестановочного, целочисленного и вещественных операторов.

Результаты расчетов

Для составления расписания взят набор из девяти деталей, обрабатываемых на десяти видах оборудования. Номенклатура изделий и типы оборудования приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Набор обрабатываемых деталей

1	Плунжер верхний
2	Цилиндр
3	Плунжер нижний
4	Втулка
5	Вал ЦНС
6	Вал промышленный РН-2300
7	Вал ведущий РН-2300
8	Вал ведущий Ц2НШ-750
9	Вал промышленный Ц2НШ-750

Таблица 2. Применяемое оборудование

<i>j</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Работы	отрезные	термические	токарные	сверлильные	слесарные	токарные	фрезерные	шлифовальные	зубо-резные	токарные
Тип	8Г663Ф2	–	СА-562С100	2С132	–	1М63Н	ВМ-127М	3М175	5К32А	СА 1150
<i>N_j</i>	1	1	4	1	1	1	4	1	1	1

Технологические маршруты деталей и продолжительность обработки приведены в табл. 3, 4.

Таблица 3. Технологические маршруты деталей

1	1	2	3	–	–
2	1	2	3	–	–
3	1	4	2	3	–
4	1	5	3	–	–
5	1	2	6	7	8
6	9	1	2	10	7
7	9	1	2	10	7
8	9	1	2	10	7
9	9	1	2	10	7

Таблица 4. Продолжительность обработки

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,03	0,1	2,26	–	–	–	–	–	–	–
2	0,025	0,1	2,26	–	–	–	–	–	–	–
3	0,02	0,1	2,26	0,01	–	–	–	–	–	–
4	0,025	–	0,4	–	0,49	–	–	–	–	–
5	0,102	0,33	–	–	–	25,76	3,43	10,81	–	–
6	0,086	0,4	–	–	–	–	0,3	–	2,05	3,86
7	0,062	0,4	–	–	–	–	0,5	–	5,45	5,5
8	0,062	0,4	–	–	–	–	0,5	–	3,25	2,57
9	0,097	0,4	–	–	–	–	0,4	–	2,68	1,39

Вид функции затрат (3) представлен на рис. 1 при $K_c = 1$.

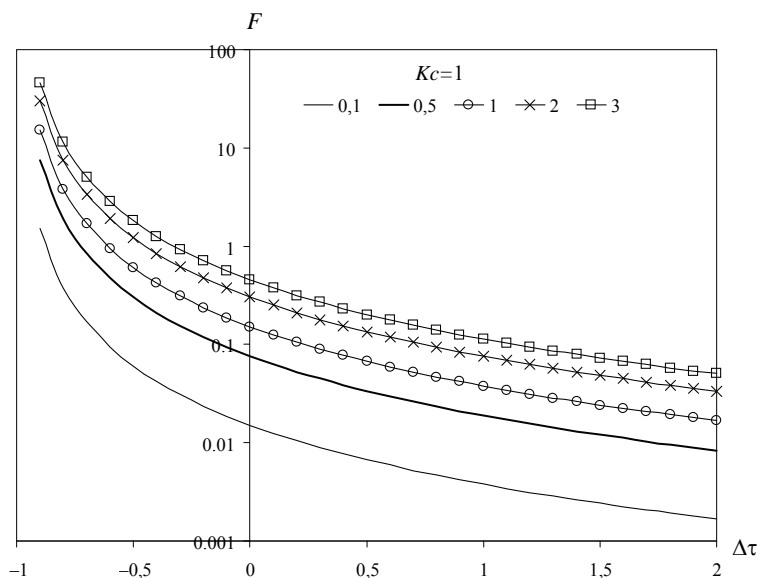


Рис. 1. Функция затрат на модернизацию и поддержание состояния технологического процесса

Функция представлена для значений $\tau = 0,1; 0,5; 1; 2; 3$. Величина функции резко возрастает при сокращении времени технологических операций и имеет малое значение при увеличении времени обработки.

Типичный вид функций принадлежности для нечетких чисел приведен на рис. 2.

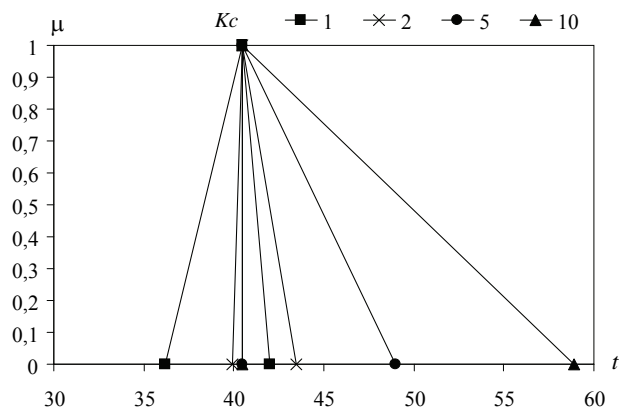


Рис. 2. Функции принадлежности чисел, соответствующих временам завершения работ

В результате решения оптимизационной задачи (2) получены очередности обработки деталей (табл. 5).

Табл. 5. Очередность обработки деталей на оборудовании

1	2	3(1)	3(2)	3(3)	4	5	6	7(1)	7(2)	7(3)	8	9	10
1	4	4	—	—	5	5	6	4	—	—	2	7	4
5	1	—	7	—	6	9	2	—	7	—	7	4	9
7	5	—	2	—	3	1	5	—	8	—	5	1	6
3	3	—	3	—	2	2	1	—	1	—	1	6	8
6	9	—	9	—	1	3	4	—	—	3	9	9	1
8	8	—	5	—	8	6	7	—	—	2	8	5	2
9	6	—	6	—	7	7	8	—	—	6	6	8	5
4	7	—	—	8	9	4	9	—	—	9	4	2	7
2	2	—	—	1	4	8	3	—	—	5	3	3	3

Верхняя строка табл. 5 содержит номера типов оборудования. Для оборудования с номерами 3 и 7 получены оптимальные количества комплектов оборудования – три. Поэтому для этих номеров очередность обработки содержится в трех столбцах.

Соответствующие времена прохождения операций приведены в табл. 4.

Табл. 6. Времена прохождения технологических операций

0,00	0,03	0,00	0,00	0,13	0,07	0,00	2,39	1,11	—	—	—	—	—	—	1/2/3
0,00	13,64	0,01	0,00	15,29	0,02	0,00	17,55	1,09	—	—	—	—	—	—	1/2/3
0,00	5,53	0,01	0,00	5,64	0,06	0,00	19,81	0,58	0,00	5,54	0,00	—	—	—	1/4/2/3
0,00	13,61	0,01	0,00	14,50	0,17	0,00	14,10	0,19	—	—	—	—	—	—	1/5/3
0,00	0,13	0,03	0,00	0,46	0,09	9,30	26,22	0,00	0,88	29,65	0,00	2,51	40,46	0,00	1/2/6/7/8
0,03	7,59	0,00	0,00	14,79	0,04	0,00	19,54	0,05	0,00	7,50	0,63	0,08	19,24	0,00	9/1/2/10/7
0,00	5,51	0,02	0,04	15,19	0,00	0,00	27,81	0,09	0,00	5,45	1,72	0,63	27,31	0,00	9/1/2/10/7
0,00	13,49	0,05	0,00	14,39	0,19	0,00	28,31	0,05	0,00	13,43	2,27	0,00	21,81	0,70	9/1/2/10/7
0,00	13,59	0,02	0,08	13,99	0,00	0,00	19,94	0,05	0,00	10,18	0,67	0,00	15,38	0,55	9/1/2/10/7

В последнем столбце табл. 6 приведены технологические маршруты для деталей. Влияние функции затрат (3) на характеристики процесса показано на рис. 3.

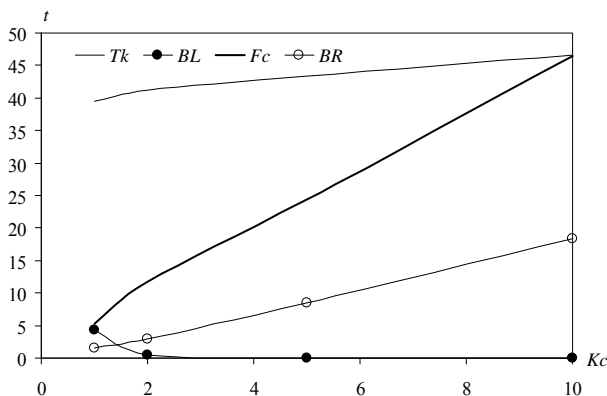


Рис. 3. Влияние функции затрат на характеристики процесса

На рис. 3 показана зависимость параметров: времени окончания работ (T_k), левой и правой границ (BL , BR) от величины коэффициента K_c . Также приведены значения самой функции затрат F_c . Зависимость $F_c(K_c)$ не совсем линейная, так

как оказывают влияние значения границ нечетких интервалов. Для больших значений функции затрат приходится идти на увеличение времени обработки деталей.

Влияние коэффициента α , устанавливающего стоимостный эквивалент единицы времени производственного процесса на продолжительность работ, показана на рис. 4.

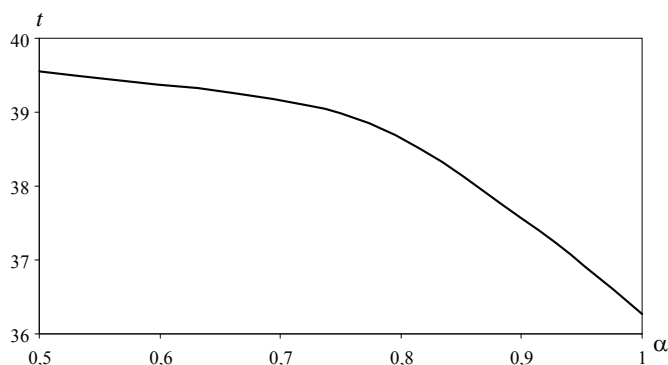


Рис. 4. Влияние стоимостного эквивалента единицы времени производственного процесса на продолжительность работ

На рис. 4 получен ожидаемый результат: большая стоимость времени обработки приводит к сокращению этого времени при оптимальном планировании.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости комплексного учета факторов при синтезе структур-стратегий с целью максимальной эффективности использования оборудования при минимальных материальных затратах. Генетический алгоритм оптимизации позволяет осуществлять решение подобных задач.

Список литературы

1. Азизов Х. И. Исследование операций : учеб. – 3-е изд., перераб. и доп. – Киев : Выща шк., 1988. – 552 с.
2. Омджигу В. Проблемы неопределенности в задачах нефти и газа. – М. ; Ижевск : Ин-т компьютер. исслед., 2004. – 320 с.
3. Оптимизация технологической составляющей при синтезе структур-стратегий производственных систем машиностроения / А. И. Коршунов, А. П. Кузнецов, В. А. Тененёв и др. // Интеллектуал. системы в пр-ве. – 2010. – № 2. – С. 17–30.
4. Омджигу В. : . Применение генетических алгоритмов с вещественным кроссовером для минимизации функций большой размерности // Интеллектуал. системы в пр-ве. – 2006. – № 1. – С. 93–107.

A. P. Kuznetsov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

Optimum Planning of Equipment Loading with Regard to Indeterminacy of Work Duration

The mathematical model of an optimum equipment loading with regard to indeterminacy of work duration is presented. The problem is solved with application of genetic algorithm.

Keywords: mathematical model, duration of operation, genetic algorithm

Получено: 25.04.11