

УДК 004.942

DOI: 10.22213/2410-9304-2024-1-48-55

Задача производственного планирования с неопределенностью времени выполнения работ

С. И. Великий, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

М. М. Горохов, ФКУ НИИ ФСИН России, Москва, доктор физико-математических наук, профессор,

ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В. А. Тенев, доктор физико-математических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Планирование является непременным условием повышения эффективности любого производства и его производительности. Основные задачи при планировании заключаются в минимизации времени и суммарных затрат. Эффективность использования оборудования зависит от организации работы отдельных видов станочного парка при производстве многономенклатурных изделий. Квалифицированное планирование позволяет сократить издержки, связанные с перемещением и складированием сырья и комплектующих.

Одной из важных проблем является составление производственного расписания для следующей схемы производственного процесса. Имеется несколько видов оборудования или машин. Машин могут работать параллельно. Может быть несколько машин одинакового типа. Оборудование служит для обработки некоторых изделий или деталей различных типов. Каждая деталь для определенного типа машины имеет продолжительность времени обработки. Кроме того, согласно технологии производственного процесса, для каждой детали существует очередность прохождения операций на том или ином типе машин. В конкретный момент времени одна машина может обрабатывать только одну деталь. Дополнительным условием может быть ограниченность места, где детали ожидают своей очереди на обработку.

В статье поставлена задача планирования графика выполнения заданного количества работ различного содержания на заданной последовательности машин различных типов. Под машиной понимается любое устройство, применяемое для выполнения технологической операции, связанной с работой. Каждое изделие или работа имеет индивидуальную последовательность прохождения технологических операций. Учитывается возможность параллельной обработки партий комплектующих, предназначенных для сборки разных изделий, и допускается неопределенность по времени выполнения задания. Для решения задачи минимизации конечного времени применяется генетический алгоритм с представлением хромосомы в виде сети Петри. Проведенные расчеты показали, что неопределенности приводят к увеличению сроков выпуска изделий.

Ключевые слова: составление производственного расписания; генетический алгоритм; сети Петри; задача оптимизации.

Введение

Актуальность исследования. Планирование является непременным условием повышения эффективности любого производства и его производительности. Основные задачи при планировании заключаются в минимизации времени и суммарных затрат. Эффективность использования оборудования зависит от организации работы отдельных видов станочного парка при производстве многономенклатурных изделий. Квалифицированное планирование позволяет сократить издержки, связанные с перемещением и складированием сырья и комплектующих.

Одной из важных проблем является составление производственного расписания для следующей схемы производственного процесса. Имеется несколько видов оборудования или машин. Машин могут работать параллельно. Может быть несколько машин одинакового типа. Оборудование служит для обработки некоторых изделий или деталей различных типов. Каждая деталь для определенного типа машины имеет продолжительность времени обработки. Кроме того, согласно технологии производственного процесса, для каждой детали существует очередность прохождения операций на том или ином типе машин. В конкретный момент времени одна машина может обрабатывать только одну деталь. Дополнительным условием может быть ограниченность места, где детали ожидают своей очереди на обработку.

Для решения задач планирования производства, которые, как правило, являются комбинаторными, имеется большое разнообразие вычислительных алгоритмов. Класс эвристических методов предполагает применение некоторых эвристик для выбора вариантов, дающих локально-оптимальное решение. В статье [1] рассматривается проблема планирования независимых производственных заданий с зависящим от последовательности выполнения работ временем настройки оборудования с целью минимизировать время изготовления. Для задачи оптимизации по Парето используется двухцелевая эвристика. Начальное распределение работ задается случайным образом. Для сравнения недоминируемых вариантов решений, полученных для каждой исходной последовательности, рассмотрены два метода, основанные на вычислении Евклидовой метрики и процентной ошибки. Правило наибольшего времени обработки часто используется для решения задачи планирования с минимальным интервалом времени [2]. Согласно правилу, все задания упорядочиваются в порядке невозрастания времени их обработки. Правило наименьшего времени обработки с сортировкой по возрастанию применяется для решения задач планирования с минимальным общим временем выполнения [3, 4].

Классическими методами решения задач планирования можно считать метод ветвей и границ. Это метод точного решения NP-трудных (недетермини-

рованных полиномиальных) задач оптимизации [5]. Алгоритм перебирает возможные решения задачи, сохраняя подзадачи в древовидной структуре. Узлы в дереве генерируют дочерние узлы путем разделения пространство решений на более мелкие области, которые можно решать с помощью ветвления. Вводятся правила для отсекаания неоптимальных областей. В работе [6] рассмотрен комбинированный алгоритм на основе объединения метода ветвей и границ с методом направленного случайного поиска.

Широкое распространение при решении комбинаторных оптимизационных задач получили эволюционные алгоритмы, в частности генетические алгоритмы. Специфика генетических алгоритмов при решении комбинаторных задач производственного планирования состоит в представлении операторов скрещивания и мутации. Тип оператора отбора (рулетка или турнир) не имеет особого влияния на процесс оптимизации. В работах [7, 8] в качестве хромосомы берется матрица. Строка представляет виды оборудования, а столбец содержит номер обрабатываемого изделия.

Хромосома содержит информацию о последовательности выполнения задания на каждой машине на каждой производственной станции. При скрещивании случайным образом при заданной вероятности выбирается сечение обмена (номер столбца) участками хромосом – предков. Оператор мутации выполняет модификацию хромосомы, инвертируя порядок генов.

В семействе эволюционных алгоритмов существуют другие подходы к производственному планированию. Например, в [9] представлен эволюционный дискретный алгоритм светлячка (EDFA) для решения реальной проблемы производственной системы: планирование набора заданий на одной машине с учетом ненулевой даты выпуска, времени установки, технического обслуживания с целью минимизировать максимальное время выполнения работ. Известно применение для решения задач оптимизации алгоритм муравьиной колонии. В случае сложных задач комбинаторной оптимизации реализуется метаэвристический подход к решению на основе поиска по дереву [10]. В [11] предложен гибридный алгоритм SOS-ACO, который сочетает в себе поиск симбиотических организмов (SOS) и оптимизацию колонии муравьев (ACO) для расчета оптимальной последовательности сборки. Приведены некоторые значения параметров ACO, а остальные адаптивно оптимизируются SOS. По сравнению с алгоритмом ACO гибридный алгоритм SOS-ACO находит оптимальные или почти оптимальные последовательности сборки за меньшее количество итераций.

При наличии неопределенности время обработки может быть неопределенной переменной. В [12] предложен алгоритм минимизации времени обработки на доверительном уровне с применением генетического алгоритма в сочетании с правилом кратчайшего времени обработки. Хромосома построена на основе последовательности работ на машине. В статье [13] рассмотрено планирование стохастического потока заданий с неопределенным временем обработки. Генетический алгоритм используется для ре-

шения стохастической задачи производственного планирования на основе статистических характеристик и проверке гипотез.

В работе [14] рассмотрена задача выбора оборудования и составления оптимального производственного расписания при заданных технологических маршрутах изделий машиностроения. Для решения поставленной задачи применялся генетический алгоритм, такой же алгоритм взят за основу при решении задачи о производственном планировании с неопределенностью времени выполнения работ, но с тем отличием, что рассматривается возможность параллельной обработки партий комплектующих, предназначенных для сборки разных изделий. Отличительной особенностью используемого алгоритма является представление хромосомы в виде сети Петри [15] и алгоритм оператора скрещивания.

Цель исследования заключается в планировании графика выполнения заданного количества работ различного содержания на заданной последовательности машин различных типов.

Математическая модель и алгоритм решения

Под машиной понимается любое устройство, применяемое для выполнения технологической операции, связанной с работой. Каждое изделие или работа имеет индивидуальную последовательность прохождения технологических операций (технологический маршрут). Кроме того, допускается неопределенность во времени выполнения задания.

Обозначим:

M – множество машин мощностью $m = |M|$;

J – множество работ мощностью $n = |J|$;

$P = (p_{ij}), i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$ – заданная последовательность выполнения i -го задания на j -м оборудовании;

$T = (T_{ij}), i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$ – продолжительность технологической операции;

$D = (d_{ij}), i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$ – допустимое отклонение по времени выполнения задания;

$\tau_k, k = 1, K$ – отрезок времени для выполнения сборочных работ k -й партии;

t_{ij} – текущее время выполнения задания.

Задача состоит в определении очередности выполнения заданий на каждом оборудовании, обеспечивающей экстремум заданного критерия. Рассмотрим минимум времени полной обработки соблюдением всех технологических маршрутов

$$t_{iN} \rightarrow \min,$$

где индекс N означает номер машины, на котором завершается технологический маршрут i -го задания.

Достижимая маркировка сети определяет непротиворечивый полный цикл обработки деталей.

Учет неопределенности времени выполнения задания на каждой машине осуществляется использо-

ванием в алгоритме расчета нечетких алгебраических операций. Продолжительность технологической операции представлена в виде нечеткого числа. Для нечетких чисел с треугольной функцией принадлежности $a = (a^0; \Delta_l a; \Delta_r a)$, где a^0 – центр числа; $\Delta_l a$ – левая часть; $\Delta_r a$ – правая часть, задаются правила сложения, умножения и деления [16]:

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

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

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

Для продолжительности технологической операции принято

$$T_{ij} = (T_{ij}^0; 0; d_{ij}),$$

то есть рассматривается неопределенность, связанная с превышением заданного значения T_{ij}^0 .

Результаты расчетов

В качестве примера рассмотрим следующую задачу. Имеется 8 типов оборудования ($m = 8$), на которые поступают 9 заданий ($n = 9$). Оборудование третьего и шестого типов состоит из двух машин.

Задания (комплектующие) предназначены для двух изделий: пять видов комплектующих для первого изделия и четыре для второго.

Также имеется участок для сборки изделий. Заданы нормативы по времени обработки каждого типа комплектующих на каждом типе оборудования T_{ij} , представленные в табл. 1.

Таблица 1. Нормативы по времени обработки

Table 1. Processing time standards

		М							
Комплектующие	0.030	0.10	2.26	1.00	0.10	1.00	0.50	0.5	
	0.025	0.10	2.26	2.00	2.00	2.00	2.00	1.0	
	0.020	0.10	2.26	2.00	2.00	2.00	0.10	1.0	
	0.025	3.00	0.40	0.49	2.00	2.00	0.20	0.5	
	0.102	0.33	1.00	1.00	5.76	3.43	1.00	1.0	
	0.086	0.40	10.00	1.00	1.00	0.30	2.05	0.0	
	0.062	0.40	1.00	10.00	1.00	0.50	5.45	0.0	
	0.062	0.40	1.00	20.00	10.00	0.50	3.25	0.0	
	0.097	0.40	10.00	1.00	1.00	0.40	2.68	0.0	

Для каждого задания детали составлен технологический маршрут: очередность обработки на разных

типах оборудования. Последовательность номеров машин для каждого задания приведены в табл. 2.

Таблица 2. Последовательность номеров машин для каждого задания

Table 2. Sequence of machine numbers for each task

Задания	5	2	3	1	6	7	4	8
	1	2	3	5	6	7	4	8
	1	4	2	5	6	7	3	8
	1	5	3	4	6	7	2	8
	1	2	6	5	3	4	7	8
	5	1	2	7	3	4	6	
	5	1	2	7	3	4	6	
	7	1	2	6	3	4	5	
	5	1	2	7	3	4	6	

Допустимое отклонение по времени выполнения задания $d_{ij} = T_{ij} \Delta$ считается пропорциональным времени обработки с коэффициентом.

При $\Delta = 0,1$ получены следующие результаты. Оптимальная хромосома (сеть Петри) показана на рис. 1.

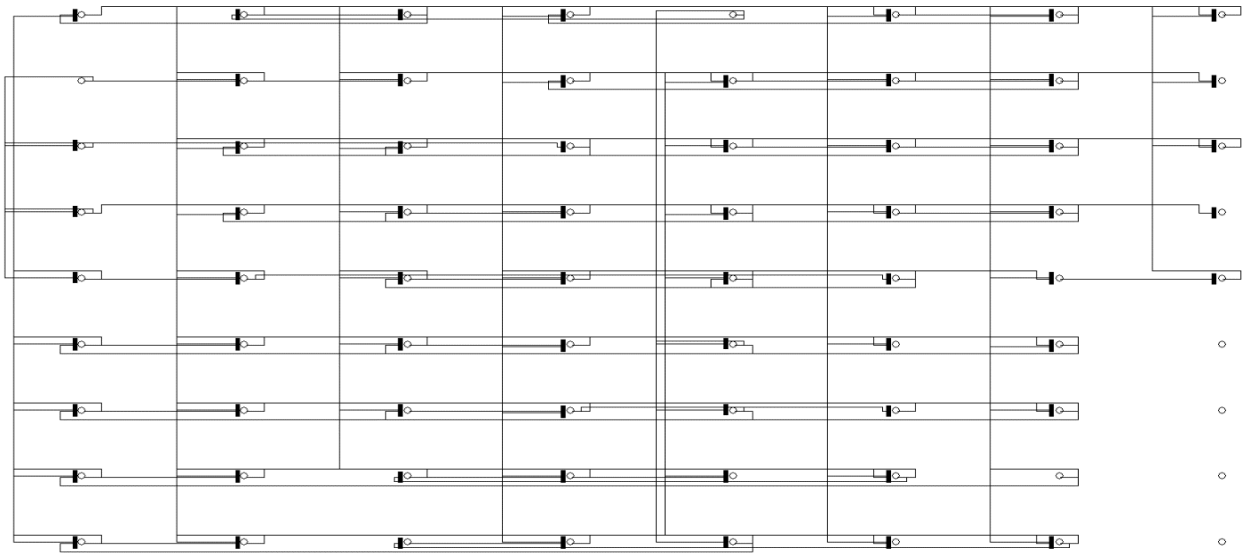


Рис. 1. Оптимальное решение в виде сети Петри
 Fig. 1. Optimal solution in the form of a Petri net

Во входных позициях нет входных дуг. У конечных состояний нет выходных дуг. Этой сети соответствует табл. 3, определяющая последовательность обработки деталей на каждой машине.

Таблица 3. Последовательность номеров заданий для каждой машины
 Table 3. Sequence of job numbers for each machine

Машины							
2	1	1	3	1	5	8	5
3	2	2	4	6	8	6	3
4	5	4	8	7	1	7	8
5	3	5	2	9	2	9	4
6	6	6	5	4	3	1	9
7	7	9	1	2	4	3	
8	8	3	7	3	7	4	
9	9	7	9	5	9	2	
1	4	8	6	8	6	5	

Диаграмма Ганта приведена на рис. 2.

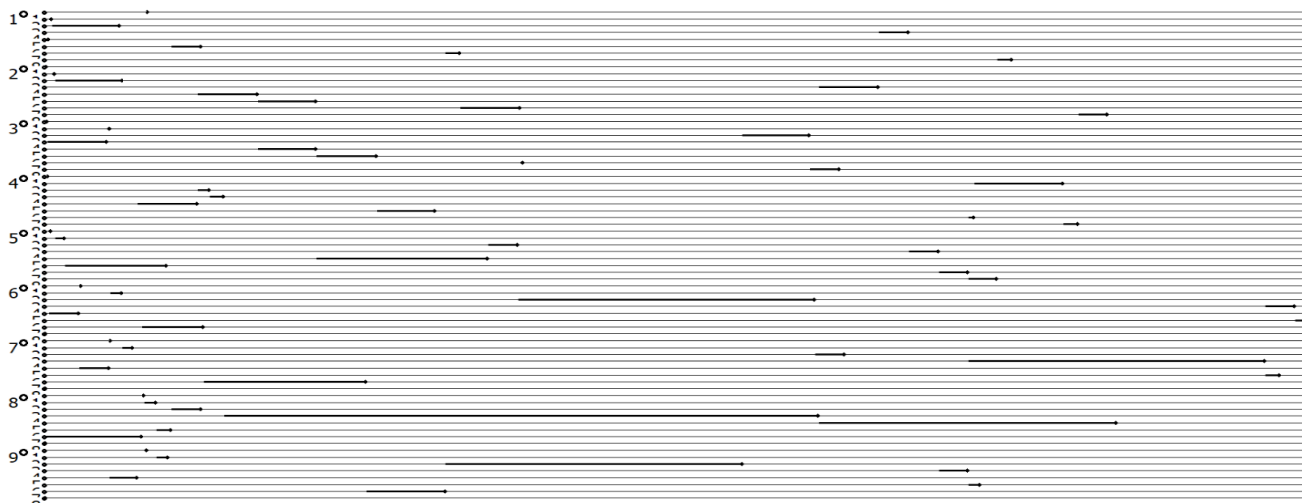


Рис. 2. Диаграмма Ганта для полученного расписания
 Fig. 2. Gantt chart for the resulting schedule

Как следует из карты Ганта, пять видов комплектующих для первого изделия завершили обработку раньше комплектующих для второго изделия. Начиная со времени $t_{48} = 56,7$ (время завершения последнего задания для первого изделия) комплектующие поступают на сборку первого изделия.

Таблица 4. Время выполнения операций

Table 4. Operation execution time

0.02583	0.04733	0.07467	0.108	0.18573	0.2204	0.3304	0.6814	1.18807	1.3136
2	3	4	1	5	1	2	5	6	6
1	1	1	5	1	2	2	2	5	1
2.24077	2.36577	2.48227	2.57133	2.95133	3.12117	3.61933	3.87767	4.136	4.3084
3	7	3	7	1	6	7	9	8	8
4	5	2	1	3	2	2	5	7	1
4.51903	4.66367	5.0604	5.54373	5.7328	6.3328	6.65013	7.20013	7.5768	7.96013
9	1	8	5	9	8	2	4	6	4
1	1	2	6	2	6	3	5	7	3
8.20547	8.3908	9.02047	10.36713	11.52347	12.9368	13.24013	15.24847	15.96847	17.01013
8	5	4	2	4	3	6	7	3	7
3	4	4	5	6	5	1	7	6	3
19.1378	19.79213	20.76313	21.98847	23.20713	24.0358	24.84347	25.8978	33.4788	36.90513
9	4	1	5	6	5	2	4	9	8
7	7	7	5	3	3	7	2	3	4
38.8048	40.1178	41.6508	43.61713	44.58347	45.65313	47.03613	48.5358	50.5688	51.9738
9	9	5	5	8	3	1	5	2	3
4	6	4	7	3	7	8	8	4	3
53.68013	55.11847	56.71347	61.05313	67.41947	69.30247	71.20213	72.9118		
2	3	4	8	7	7	6	6		
8	8	8	5	4	6	4	6		

В табл. 4 приведены результаты расчетов текущего времени прохождения операций.

В первой строке находится время t_{ij} ; во второй строке номер задания; в третьей строке номер машины. Затем строки чередуются в этой последовательности.

Для сравнения проведены сравнительные расчеты для $\Delta = 0$ без учета возможной задержки при выполнении работ.

Сравнительный график работ приведен на рис. 3.

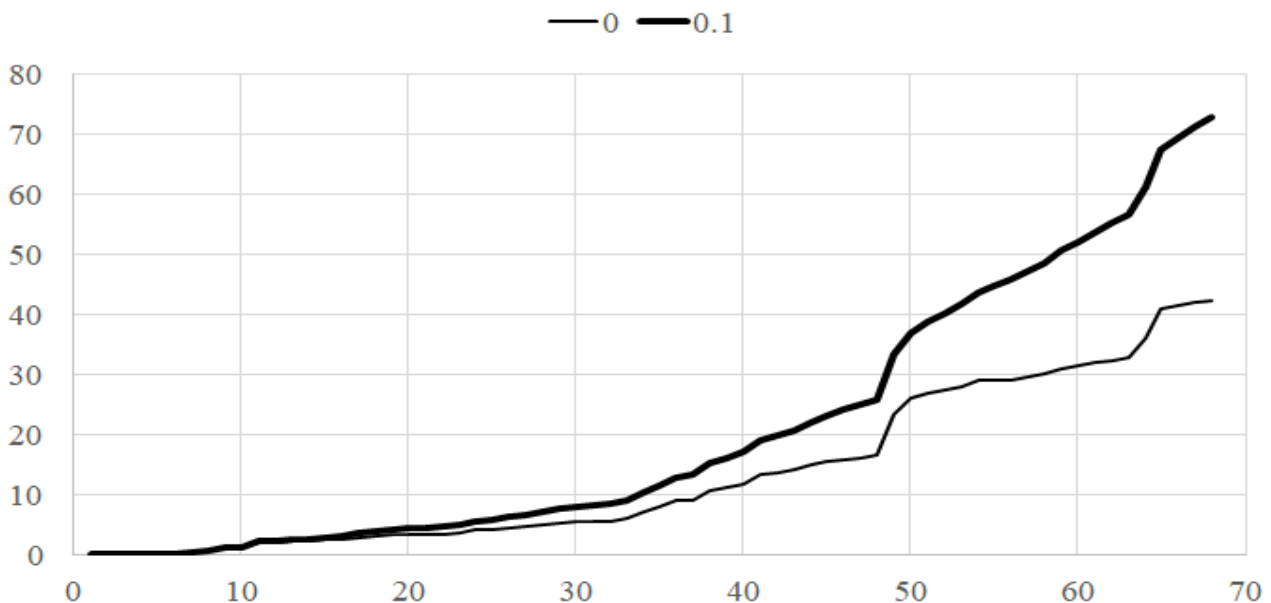


Рис. 3. Время обработки: тонкая линия $\Delta = 0$; жирная линия $\Delta = 0,1$

Fig. 3. Processing time: fine line 0; thick line 0,1

Из графика следует, что конечное время завершения работ при учете возможной задержки при обработке существенно увеличивается. Поэтому более строгое выполнение заданий сокращает сро-

ки изготовления изделий. На рис. 4, 5 приведены номера работ и машин на этапах обработки для двух вариантов $\Delta = 0$ и $\Delta = 0,1$.

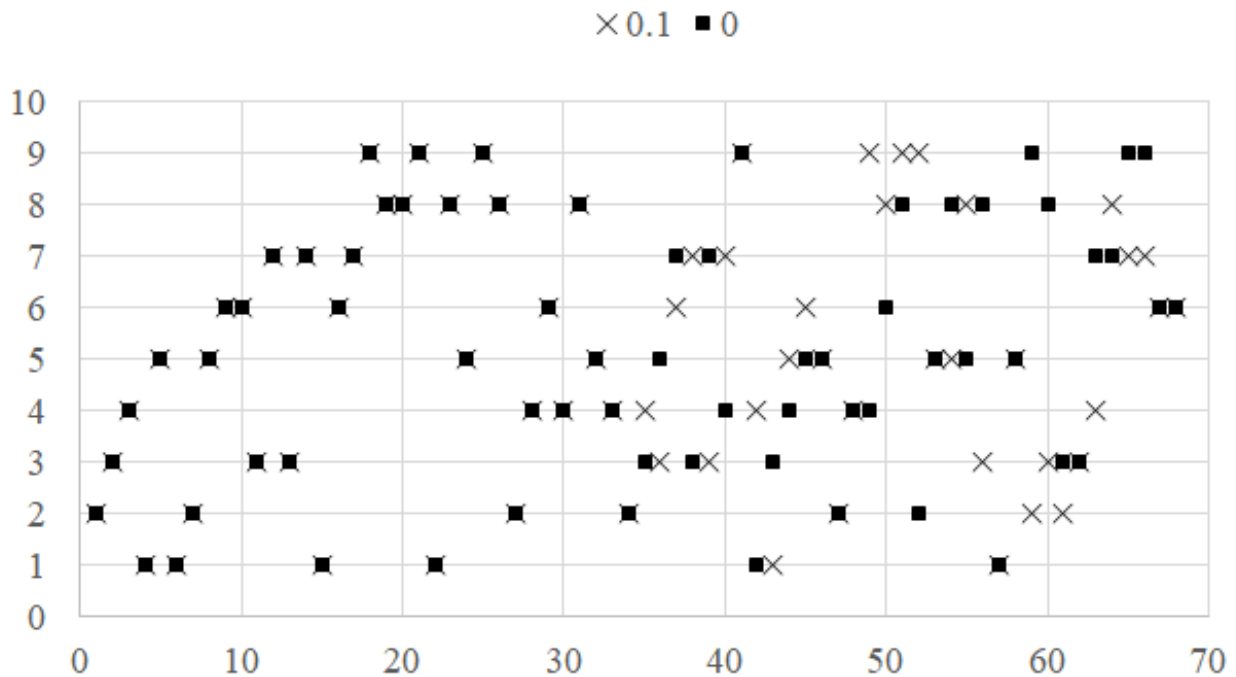


Рис. 4. Последовательность номеров заданий

Fig. 4. Job number sequence

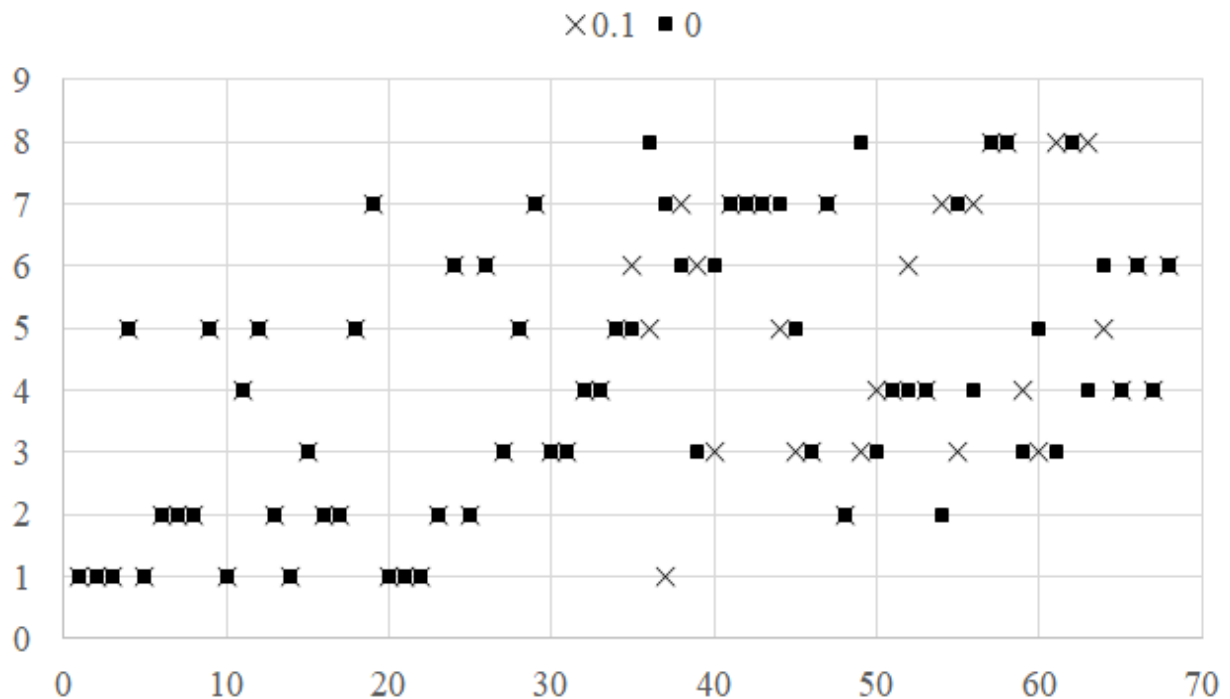


Рис. 5. Последовательность номеров машин

Fig. 5. Mashines number sequence

Примерно до середины процесса обработки очередность обработки деталей на машинах остается

одинаковой. Затем оптимальные последовательности начинают отличаться.

Заключение

Сформулирована задача планирования производственного процесса с учетом неопределенности по времени выполнения работ и предложен алгоритм для решения этой задачи. Учет неопределенности приводит к увеличению сроков выпуска изделий.

Библиографические ссылки

1. Mousavi S. M., Zandieh M. & Amiri, M. An efficient bi-objective heuristic for scheduling of hybrid flow shops. *Int J Adv. Manuf. Technol.* 54, 287–307 (2011). <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2930-x>
2. Biao W., Yao E. Lower bounds and modified LPT algorithm for k-partitioning problems with partition matroid constraint, *Appl. Math.* 23 (2008), 1–8.
3. Tan Z., Chen Y., Zhang A. On the exact bounds of SPT for scheduling on parallel machines with availability constraints, *Int. J. Prod. Econ.* 146 (2013), 293–299.
4. Zhang A., Wang H., Chen Y., Chen G. Scheduling jobs with equal processing times and a single server on parallel identical machines, *Discrete Appl. Math.* 213 (2016), 196–206.
5. David R. Morrison, Sheldon H. Jacobson, Jason J. Sauppec, Edward C. Sewell. Branch-and-bound algorithms: A survey of recent advances in searching, branching, and pruning. *Discrete Optimization* 19 (2016) 79–102. doi.org/10.1016/j.disopt.2016.01.005.
6. Куцелап К. А., Вороненко В. П., Шалдов А. Э. Составление производственного расписания с использованием алгоритма направленного случайного поиска // *Известия ТулГУ. Технические науки.* 2015. Вып. 12. Ч. 1. С. 14–22. ISSN 2071-6168.
7. Dean J. S. (2008). Staff Scheduling by a Genetic Algorithm with a TwoDimensional Chromosome Structure. Parkville: Park University, Information and Computer Science Department, p. 15.
8. Harwin Kurniawan, Tanika D. Sofianti, Aditya Tirta Pratama, Prianggada Indra Tanaya. Optimizing Production Scheduling Using Genetic Algorithm in Textile Factory // *Journal of System and Management Sciences.* 2014. Vol. 4, No. 4, pp. 27-44. ISSN 1816-6075.
9. Mustafa A. Qamhan, Ammar A. Qamhan, Ibrahim M. Al-Harkan and Yousef A. Alotaibi. Mathematical Modeling and Discrete Firefly Algorithm to Optimize Scheduling Problem with Release Date, Sequence-Dependent Setup Time, and Periodic Maintenance // *Mathematical Problems in Engineering* Volume 2019, Article ID 8028759, 16 pages, doi.org/10.1155/2019/8028759.
10. Blum C. ACO applied to group shop scheduling: a case study on intensification and diversification, *Proceedings of ANTS 2002*, vol. 2463 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp.14-27, 2002.
11. Zunpu Han, Yong Wang & De Tian. Ant colony optimization for assembly sequence planning based on parameters optimization. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 2021, Vol. 16, Issue 2: 393 - 409 DOI: doi.org/10.1007/s11465-020-0613-3.
12. Jiayu Shen, Yuanguo Zhu. A Single Machine Scheduling with Periodic Maintenance and Uncertain Processing Time / *International Journal of Computational Intelligence Systems* Vol. 13(1), 2020, pp. 193–200.
13. L. Wang, Liang Zhang. D.-Z. Zheng. A class of hypothesis-test-based genetic algorithms for flow shop scheduling with stochastic processing time. January 2005 *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 25(11):1157-1163. DOI: [10.1007/s00170-003-1961-y](https://doi.org/10.1007/s00170-003-1961-y).
14. Оптимизация технологической составляющей при синтезе структур-стратегий производственных систем машиностроения / А. И. Коршунов, А. П. Кузнецов,

В. А. Тененёв, А. В. Тененёва, Б. А. Якимович // *Интеллектуальные системы в производстве.* 2010. № 2 (16). С. 17–30. ISSN 1813-7911.

15. *Котов В. Е.* Сети Петри : монография. М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. 160 с.

16. *Алтунин А. Е., Семухин М. В.* Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях : монография. Тюмень : Изд-во ТГУ, 2000. 352 с.

References

1. Mousavi S.M., Zandieh M. & Amiri M. An efficient bi-objective heuristic for scheduling of hybrid flow shops. *Int J Adv. Manuf. Technol.* 54, 287–307 (2011). <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2930-x>.
2. Biao W., Yao E. Lower bounds and modified LPT algorithm fork-partitioning problems with partition matroid constraint, *Appl. Math.* 23 (2008), 1–8.
3. Tan Z., Chen Y., Zhang A. On the exact bounds of SPT for scheduling on parallel machines with availability constraints, *Int. J. Prod. Econ.* 146 (2013), 293–299.
4. Zhang A., Wang H., Chen Y., Chen G. Scheduling jobs with equal processing times and a single server on parallel identical machines, *Discrete Appl. Math.* 213 (2016), 196–206.
5. David R. Morrison, Sheldon H. Jacobson, Jason J. Sauppec, Edward C. Sewell. Branch-and-bound algorithms: A survey of recent advances in searching, branching, and pruning. *Discrete Optimization* 19 (2016) 79–102. doi.org/10.1016/j.disopt.2016.01.005.
6. Kucelap K.A., Voronenko V.P., Shallov A. Je. [Production scheduling using directed random search algorithm]. *Izvestiya TulGU. Tehnicheskie nauki.* 2015. Vol. 12. Ch. 1. Pp. 14-22. ISSN 2071-6168 (in Russ.)
7. Dean J. S. (2008). Staff Scheduling by a Genetic Algorithm with a TwoDimensional Chromosome Structure. Parkville: Park University, Information and Computer Science Department, p. 15.
8. Harwin Kurniawan, Tanika D. Sofianti, Aditya Tirta Pratama, Prianggada Indra Tanaya. Optimizing Production Scheduling Using Genetic Algorithm in Textile Factory. *Journal of System and Management Sciences.* Vol. 4 (2014). No. 4, pp. 27-44. ISSN 1816-6075.
9. Mustafa A. Qamhan, Ammar A. Qamhan, Ibrahim M. Al-Harkan and Yousef A. Alotaibi. Mathematical Modeling and Discrete Firefly Algorithm to Optimize Scheduling Problem with Release Date, Sequence-Dependent Setup Time, and Periodic Maintenance. / *Mathematical Problems in Engineering* Volume 2019, Article ID 8028759, 16 pages, doi.org/10.1155/2019/8028759.
10. Blum C. ACO applied to group shop scheduling: a case study on intensification and diversification, *Proceedings of ANTS 2002*, vol. 2463 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp.14-27, 2002.
11. Zunpu Han, Yong Wang & De Tian. Ant colony optimization for assembly sequence planning based on parameters optimization. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 2021, Vol. 16, Issue 2: 393-409. DOI: doi.org/10.1007/s11465-020-0613-3.
12. Jiayu Shen, Yuanguo Zhu. A Single Machine Scheduling with Periodic Maintenance and Uncertain Processing Time / *International Journal of Computational Intelligence Systems* Vol. 13(1), 2020, pp. 193-200.
13. Wang L., Liang Zhang. Zheng D.-Z. A class of hypothesis-test-based genetic algorithms for flow shop scheduling with stochastic processing time. January 2005 *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 25(11):1157-1163. DOI: [10.1007/s00170-003-1961-y](https://doi.org/10.1007/s00170-003-1961-y).

14. Korshunov A.I., Kuznecov A.P., Tenenkov V.A., Tenenkov A.V., Jakimovich B.A. [Optimization of the technological component in the synthesis of structures-strategies of mechanical engineering production systems]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2010. No. 2. Pp. 17-30. ISSN 1813-7911 (in Russ.).

15. Kotov V. E. *Seti Petri* [Seti Petri]. Moscow: Nauka Publ., Glavnaja redakcija fiziko-matematicheskoy literatury, 1984. 160 p. (in Russ.).

16. Altunin A.E., Semuhin M.V. *Modeli i algoritmy priyatiya reshenii v nechetkikh usloviyakh* [Models and algorithms for decision making in fuzzy conditions]. Tjumen': Izd-vo TGU, 2000. 352 p. (in Russ.).

* * *

Production Planning Problem with Work Completion Time Uncertainty

S. I. Velikiy, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

M. M. Gorokhov, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Chief Researcher, Federal State Institution Research Institute of the Federal Penitentiary Service Russia, Moscow, Russia; Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

V. A. Tenenev, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

Planning is a prerequisite for improving the industrial efficiency of any production. The main tasks in planning are to minimize time and total costs. The efficiency of equipment utilization depends on workflow management of certain types of machine fleet in the production of multi-item products. Skilled planning reduces costs of raw material and component relocation and stacking.

One of the important issues is the production scheduling for the following process flow. There are several types of equipment or machines. Machines can operate in parallel. There may be several machines of the same type. The equipment is used to process some items or parts of various types. Each part takes specific time to be processed on a particular machine type. In addition, according to the manufacturing process technology, there is a sequence of operations on a particular machine type for each part. A machine can process only one part at a time. Limited stacking place for the parts to be processed may become an extra condition.

The article sets the scheduling task for a given number of different contentworks processing on a given sequence of machines of different types. A machine refers to any device used to perform a process operation related to the operation. Each product or work has an individual sequence of technological operations. The possibility of component parallel processing in batches intended for the assembly of different products is taken into account with time uncertainty in the task is allowed. To solve the problem of minimizing finite time, a genetic algorithm is used with the representation of the chromosome in the form of a Petri network. The calculations showed that uncertainties lead to an increase in the release time of products.

Keywords: production schedule; genetic algorithm; Petri nets; optimization problem.

Получено: 21.12.23

Образец цитирования

Великий С. И., Горохов М. М., Тенев В. А. Задача производственного планирования с неопределенностью времени выполнения работ // Интеллектуальные системы в производстве. 2024. Т. 22, № 1. С. 48–55. DOI: 10.22213/2410-9304-2024-1-48-55.

For Citation

Velikiy S.I., Gorokhov M.M., Tenenev V.A. [Production planning problem with uncertainty of work completion time]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2024, vol. 22, no. 1, pp. 48-55. DOI: 10.22213/2410-9304-2024-1-48-55.