

ДВУХСТАДИЙНЫЕ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ

Ю.А. Зак

Аннотация. Сформулирована задача построения расписаний двухстадийной обработки множества изделий на двух расположенных в последовательную цепочку системах машин в одной и той же и одинаковой для всех изделий последовательности. Число машин на каждой стадии обработки может быть различным. Ни одна из выполняемых операций не допускает прерываний в процессе ее выполнения. Учтены также потери времени на постобработку после завершения первой стадии изготовления. В качестве критерия оптимальности рассмотрено выполнение всего комплекса работ в кратчайшие сроки. Получены оценки нижней границы оптимальной последовательности обработки изделий, обеспечивающие выполнение всех работ на двух стадиях обработки в кратчайшие сроки. Предложены алгоритмы точного и приближенного решения задачи методами ветвей и границ и динамического программирования, а также эвристический алгоритм полиномиальной сложности получения приближенных решений. Алгоритмы решения проиллюстрированы на числовом примере. Полученные результаты могут найти широкое применение в системах календарного планирования работы производственных участков и цехов машиностроительного и приборостроительного производства, а также в процессах деревообработки, электронной и легкой промышленности.

Ключевые слова: двухстадийные расписания, flow-shop-problem, оптимальные последовательности, метод ветвей и границ, динамическое программирование, эвристический алгоритм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конвей Р. В., Максвелл В. Л., Миллер Л. В. Теория расписаний. – М.: Наука, 1975. – 359 с. [Konvey, R.W., Maxwell, W.L., Miller, L.W. Teorija raspisanij. – М.: Nauka, 1975. – 359 s. (In Russian)]
2. Танаев В.С., Сотсков Ю.Н., Струсевич В.А. Теория расписаний. Многостадийные системы. – М.: URSS, 1989. – 328 с. [Tanajev, V.S., Sotskov, Yu.N., Strusevitch, V.A. Teorija raspisanij. Mnogostadijnije sistemi. – М.: URSS, 1989. – 328 s. (In Russian)]
3. Зак Ю.А. Прикладные задачи теории расписаний и маршрутизации перевозок. – М.: URSS, 2012. – 394 с. [Zack, Yu.A. Prikladnije zadachi teorii raspisanij i marshrutisazii perevosok. – М.: URSS, 2012. – 394 s. (In Russian)]
4. Зак Ю.А. Решение обобщенной задачи Джонсона с ограничениями на сроки выполнения заданий и времени работы машин. Ч. 1. Точные методы решения. // Проблемы управления. – 2010. – № 3. – С. 17–25. Ч. 2. Приближенные методы // Проблемы управления. – 2010. – № 4. – С. 12–19. [Zack, Yu.A. Reshenijeobobchennoj zadachi Dczonsona s ogranichenijam na sroki vipolnenija zadaniij i vremena raboti mashin. Ch. 1. Tochnije metodi reshenija. // Control Sciences. – 2010. – No. 3. – S. 17–25. Ch. 2; Pribliczennije metodi. – 2010. – No. 4. – S. 12–19. (In Russian)]
5. Brucker, P. Scheduling Algorithms. – Berlin, Heidelberg und New-York: Springer-Verlag, 1998. – 312 p.
6. Domschke, W., Scholl, A., Voß, S. Produktionsplanung. Ablauforganisatorische Aspekte. – Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2005. – 456 p.
7. Ho, J.C., Chang, Y.-L. A New Heuristic for the n -job, M -machine Problem // European Journal of Operational Research. – 1991. – Vol. 52, iss. 2. – P. 194–202.
8. Ogbu, F.A., Smith, D.K. The Application of the Simulated Annealing Algorithm to the Solution of the $n/m/C_{\max}$ Flow-shop Problem // Computer & Operations Research. – 1990. – Vol. 17. – P. 243–253.
9. Ogbu, F.A., Smith, D.K. Simulated Annealing for the Permutation Flow-shop Problem // OMEGA. – 1991. – P. 64–67.
10. Hundal, T.S., Rajgopal, J. An Extension of Palmer's Heuristic for the Flow-shop Scheduling Problem // International Journal of Production Research. – 1988. – Vol. 26. – P. 1119–1124.
11. Garey, M. R., Johnson, D.S., & Sethi, R. The Complexity of Flowshop and Jobshop Scheduling // Mathematics of Operations Research. – 1976. – Vol. 1, iss. 2. – P. 117–129.

12. Лушакова И.Н., Струсевич В.А. Двухстадийные системы с нефиксированными маршрутами и ресурсными ограничениями // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1989. – Т. 29, № 9. – С. 1393–1407. [*Lushakova, I.L., Strusevitch, V.A. Dwuchstadijnije sistemi s nefiksirovannimi marshrutami i resursnimi ogranichenijami // Zhurnal vichislitelnoj matematiki i matematicheskoj fiziki. – 1989. – Vol. 29, No. 9. – S. 1393–1407. (In Russian)*]
13. Зак Ю.А. Построение двухстадийных расписаний обработки изделий на одной машине. – Системні дослідження та інформаційні технології. – Київ. – 2018. – № 4. – С. 19–36. [*Zack, Yu.A. Postrojenije dvuchstadijnych raspisanij obrabotki izdelij na odnoj mashine // Sistemi doslidzhennya ta informazijni tehnologii. – 2018. – No. 4. – P. 19–36. (In Russian)*]
14. Johnson, S. M. Optimal Two-and Three-stage Production Schedules with Setup Times Included // Naval Research Logistics Quarterly. – 1954. – Vol. 1, iss. 1. – P. 61–68.
15. Henry, H.Y.K., Yu, L.Ch. A Two Stage Heuristic Algorithm for the Integrated Aircraft and Crew Schedule Recovery Problems // Computer & Industrial Engineering. – 2015. – Vol. 87. – P. 436–453.
16. Guerreschim, G.G., Park, Jo. Two-step Approach to Scheduling Quantum Circuits // Quantum Science and Technology. – 2018. – Vol. 3, No. 4. – P. 212–219.
17. Yin, Ai-H., Zhao, Xi-P. A Two-step Approach for Solving the Flexible Job Shop Scheduling Problem // The 2009 IEEE Int. Conf. on Granular Computing, GrC, Lushan Mountain, Nanchang, China, 17–19 August, 2009.
18. Seenner, F., Mey, H. Multi-stage Simultaneous Lot-sizing and Scheduling for Flow Line Production // OR Spectrum. – 2013. – Vol. 35, No. 1. – P. 33–73.

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.А. Лазаревым.

Поступила в редакцию 15.02.2019, после доработки 31.07.2019.

Принята к публикации 31.07.2019.

Зак Юрий Александрович – д-р техн. наук, науч. эксперт и консультант, г. Аахен, Германия, ✉ yuriy_zack@hotmail.com.

TWO-STAGE PLANNING TASKS FOR THE FLOW LINE

Yu.A. Zack

✉ yuriy_zack@hotmail.com

Abstract. The problem is formulated of constructing schedules of the two-stage processing of large number of products on two machine systems arranged into a sequential chain, keeping the same sequence for all products. The number of machines at each stage of processing can be different. None of the operations performed allows for interruptions during its execution. Post-processing time losses after completion of the 1st stage of manufacturing are also taken into account. As the optimality criterion, the implementation of the whole range of work in the shortest possible time is considered. Estimates are obtained of the lower bound of the optimal sequence of products processing, ensuring the implementation of all works at two stages of the processing in the shortest possible time. Algorithms are proposed of the exact and the approximate solution of the problem by the branch and bound method and the dynamic programming method, as well as a heuristic algorithm of polynomial complexity for obtaining the approximate solutions. The decision algorithms are illustrated with a numerical example. The results obtained can be widely used in work scheduling systems for the production sectors and workshops of machine-building and instrument-making production, as well as for the processes in woodworking, electronics and light industry.

Keywords: two-stage schedules, flow-shop-problem, optimal sequences, branch and bound method, dynamic programming, heuristic algorithm.