



ОТКРЫТАЯ НАУКА
издательство

Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала: <http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.942:658.51

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ПАРТИИ ИЗДЕЛИЙ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ

Ветров С.Ю.

*ФГБОУ ВО "МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)", Москва, Россия, (125993,
Москва, Волоколамское ш., д. 4), e-mail: vetrov241201@yandex.ru*

В статье рассматривается задача оптимизации планирования производства партии изделий в условиях ограниченных производственных ресурсов. Предложена математическая модель, учитывающая технологические зависимости между деталями, ограничения на использование цехов и необходимость минимизации общего времени производства. Модель основана на комбинаторной оптимизации и включает в себя такие параметры, как время изготовления деталей, их распределение по цехам и соблюдение приоритетов сборки. Особое внимание уделено учету параллельного производства и предотвращению конфликтов при назначении ресурсов. Решение задачи направлено на повышение эффективности производственного процесса за счет рационального распределения работ по времени и цехам. Результаты работы имеют широкое практическое применение в машиностроении, приборостроении и других отраслях с многоуровневыми производственными процессами.

Ключевые слова: Оптимизация производства, планирование партии изделий, ограниченные ресурсы, математическая модель, комбинаторная оптимизация, технологические зависимости, распределение ресурсов, минимизация времени производства.

OPTIMIZATION OF PRODUCT BATCH PLANNING IN CONDITIONS OF LIMITED PRODUCTION RESOURCES

Vetrov S.Y.

*MOSCOW AVIATION INSTITUTE (NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY), Moscow, Russia,
(125993, Moscow, Volokolamskoye shosse, 4), e-mail: vetrov241201@yandex.ru*

The article considers the problem of optimization of planning of production of a batch of products under conditions of limited production resources. A mathematical model that takes into account technological dependencies between parts, limitations on the use of shops and the need to minimize the total production time is proposed. The model is based on combinatorial optimization and includes such parameters as manufacturing time of parts, their distribution over shops and observance of assembly priorities. Special attention is paid to accounting for parallel production and avoiding conflicts in resource assignment. The solution of the problem is aimed at improving the efficiency of the production process through rational distribution of work by time and shops. The results of the work have a wide practical application in mechanical engineering, instrument making and other industries with multilevel production processes.

Keywords: Production optimization, batch planning, limited resources, mathematical model, combinatorial optimization, technological dependencies, resource allocation, minimization of production time.

Введение

Задача планирования производства конечного изделия и партии изделий представляет собой сложную задачу комбинаторной оптимизации. Она включает в себя учет технологических зависимостей между деталями, ограничений на использование ресурсов

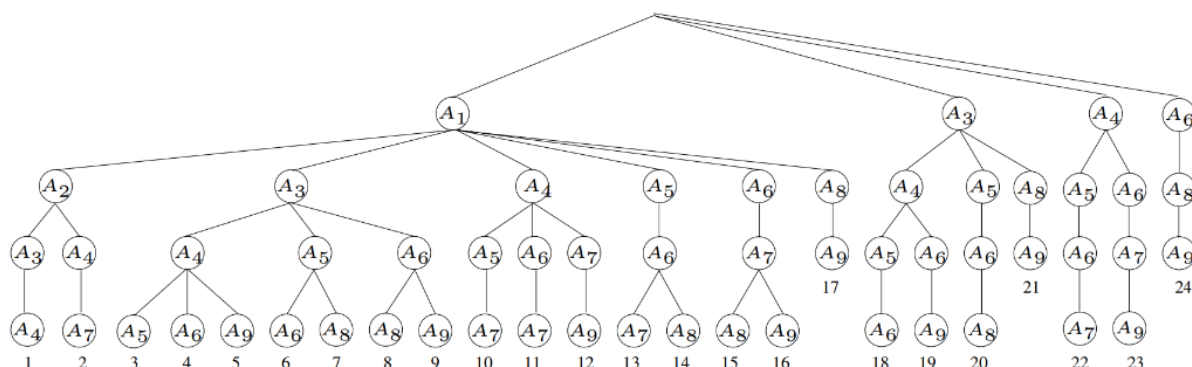
(цехов) и минимизацию общего времени производства. Рассмотрим подробно математическую модель этой задачи, её основные компоненты и целевую функцию.

Постановка задачи

Имеется древовидная структура деталей, где каждая деталь может состоять из других деталей. Верхний уровень дерева содержит одну конечную деталь (изделие), которая является результатом сборки всех нижележащих деталей. Каждая деталь имеет время изготовления и производится в определенном цехе. Учитываются следующие условия:

1. Технологические зависимости: Производство верхней детали возможно только после завершения всех её дочерних деталей.
2. Ограничения по цехам: Детали, производимые в одном цехе, не могут изготавливаться одновременно.
3. Ограниченные ресурсы: Количество цехов и их возможности ограничены.
4. Параллельное производство: Детали из разных изделий одной партии не могут производиться одновременно в одном цехе.

Цель состоит в том, чтобы найти оптимальный порядок выполнения работ, распределить детали по цехам и минимизировать общее время производства всей партии.



Математическая модель

Обозначения

- N : множество всех деталей, включая конечное изделие.
- $N_r \subset N$: множество деталей, производимых в цехе r .
- R : множество всех цехов.
- K : количество изделий в партии.
- p_{ik} : время изготовления детали i в изделии k .
- S_{ik} : время начала изготовления детали i в изделии k .
- $C_{ik} = S_{ik} + p_{ik}$: время завершения изготовления детали i в изделии k .
- $P(i)$: родительская деталь для детали i .
- x_{ikr} : бинарная переменная, равная 1, если деталь i из изделия k производится в цехе r , и 0 иначе.
- δ_{ijk} : бинарная переменная, равная 1, если деталь i из изделия k производится раньше детали j из изделия k в одном цехе, и 0 иначе.
- T : общее время производства всей партии.

Ограничения

1. Соблюдение иерархии деталей (технологические зависимости)

Производство детали возможно только после завершения всех её дочерних компонентов:

$$S_{ik} \geq C_{jk}, \quad \forall i \in N, j \in P(i), k \in K.$$

Это ограничение отражает логику процесса производства: невозможно начать сборку верхней детали, пока не будут готовы все её составляющие [1]. Например, если деталь А состоит из деталей В и С, то производство А может начаться только после завершения В и С.

2. Ограничение работы цехов (одновременное производство)

Детали, изготавливаемые в одном цехе, не могут изготавливаться одновременно:

$$S_{ik} \geq C_{jk} \cdot \delta_{ijk} + (1 - \delta_{ijk})M, \quad \forall i, j \in N_r, i \neq j, k \in K, r \in R,$$

$$S_{jk} \geq C_{ik} \cdot (1 - \delta_{ijk}) + \delta_{ijk}M, \quad \forall i, j \in N_r, i \neq j, k \in K, r \in R,$$

где М — большое число, используемое для устранения наложений работ.

Это ограничение гарантирует, что в рамках одного цеха не будет происходить одновременное выполнение двух операций. Например, если цех r производит детали X и Y, то одна из них должна быть завершена до начала другой [2].

3. Ограничение цехов (выбор цеха для каждой детали)

Каждая деталь должна быть назначена ровно в один цех:

$$\sum_{r \in R} x_{ikr} = 1, \quad \forall i \in N, k \in K.$$

Если деталь i производится в цехе r, то её время должно соответствовать ограничениям цеха:

$$S_{ik} \geq 0, \quad \forall i \in N, k \in K.$$

Это ограничение обеспечивает корректное распределение деталей по цехам, исключая возможность назначения одной детали сразу в несколько цехов.

4. Ограничение параллельного производства изделий

В одном цехе детали из разных изделий не могут производиться одновременно [3]:

$$S_{ik} \geq C_{jl} \quad \text{или} \quad S_{jl} \geq C_{ik}, \quad \forall i, j \in N_r, k \neq l, r \in R.$$

Это ограничение важно для партийного производства, когда несколько изделий собираются одновременно. Например, если цех r производит детали для изделий А и В, то он не может одновременно обрабатывать две детали из разных изделий.

5. Определение общего времени производства партии

Общее время производства — это максимальное время среди всех изделий:

$$T \geq C_{\text{root},k}, \quad \forall k \in K,$$

Здесь $C_{\text{root},k}$ — время завершения производства конечного изделия k. Общее время T определяется как момент, когда последнее изделие в партии будет полностью собрано.

Целевая функция

Минимизация общего времени производства:

$$\min T.$$

Целевая функция направлена на поиск такого распределения работ по времени и цехам, при котором общее время производства партии будет минимальным. Это особенно важно для повышения эффективности производства и снижения затрат [4].

Особенности модели

1. Учет ограниченных ресурсов

Ресурсы (цеха) являются ключевым ограничивающим фактором в задаче. Каждый цех имеет ограниченную пропускную способность, что накладывает дополнительные ограничения на планирование. Например, если цех может выполнять только одну операцию за раз, это существенно влияет на порядок выполнения работ.

2. Технологические зависимости

Технологические зависимости между деталями усложняют задачу планирования. Например, если деталь А зависит от деталей В и С, то любое изменение в сроках производства В или С автоматически влияет на сроки производства А. Это требует тщательного анализа и учета всех зависимостей.

3. Параллельное производство

Параллельное производство позволяет ускорить процесс изготовления партии изделий. Однако оно ограничено количеством доступных цехов и их возможностями. Например, если в партии 10 изделий, а доступно только 3 цеха, то необходимо грамотно распределить нагрузку между цехами, чтобы минимизировать общее время.

4. Комбинаторная сложность

Задача относится к классу NP-трудных задач, так как количество возможных вариантов распределения работ экспоненциально растет с увеличением числа деталей, изделий и цехов. Это делает её сложной для решения вручную, особенно для больших размерностей [5].

Пример практического применения

Рассмотрим пример с производством партии из 5 изделий, каждое из которых состоит из 3 деталей (А, В, С). Детали А и В производятся в цехе 1, а деталь С — в цехе 2. Время изготовления каждой детали составляет 2 часа. Задача заключается в том, чтобы определить оптимальный порядок выполнения работ и минимизировать общее время производства.

1. Шаг 1: Составляем математическую модель с учетом всех ограничений.

2. Шаг 2: Используем методы оптимизации (например, линейное программирование или эвристические алгоритмы) для нахождения решения.

3. Шаг 3: Анализируем результаты и корректируем план производства при необходимости.

Результатом будет оптимальный график производства, который позволит изготовить все 5 изделий за минимальное время [6].

Методы решения

Для решения задачи планирования производства можно использовать следующие подходы:

1. Линейное программирование: Подходит для небольших размерностей задачи, когда количество переменных и ограничений невелико.

2. Эвристические алгоритмы: Например, генетические алгоритмы или муравьиные колонии, которые позволяют находить приближенные решения для больших задач.

3. Метаэвристики: Такие методы, как имитация отжига или поиск с запретами, помогают улучшить качество решения за счет глобального поиска.

4. Специализированное программное обеспечение: Современные системы планирования производства (например, ERP-системы) часто включают встроенные инструменты для решения подобных задач.

Заключение

Представленная математическая модель позволяет решать задачу планирования производства конечного изделия и партии изделий с учетом технологических зависимостей, ограниченных ресурсов и минимизации общего времени производства. Эта задача относится к классу задач комбинаторной оптимизации и требует применения современных методов решения, таких как линейное программирование, эвристические алгоритмы или метаэвристики.

Правильное планирование производства играет ключевую роль в повышении эффективности производства, снижении затрат и сокращении времени выполнения заказов.

Список литературы

1. Построение математических моделей целочисленного линейного программирования. — Текст: электронный//nsc.ru: [сайт].—URL: http://old.math.nsc.ru/~alekseeva/Textbooks/textbook_model_building.pdf.
2. Планирование производственных операций. — Текст : электронный // Habr : [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/articles/672466/>.
3. Задача планирования производства. — Текст : электронный // studfile : [сайт]. — URL: <https://studfile.net/preview/6265539/page:3/>.
4. Модификация генетического алгоритма для решения задачи календарного планирования с ограниченными ресурсами. — Текст : электронный // donntu : [сайт]. — URL: <https://masters.donntu.ru/2018/fknt/strelnikov/library/article6.htm?ysclid=m8emgwgktm375778124>.
5. Выбор решения с учетом ограничений на ресурсы. — Текст : электронный // studfile : [сайт]. — URL: <https://studfile.net/preview/1097702/page:48/>.
6. Распределение производственных ресурсов в задачах объемного планирования в условиях неполноты данных. — Текст : электронный // cyberleninka : [сайт]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspredelenie-proizvodstvennyh-resursov-v-zadachah-obemnogo-planirovaniya-v-usloviyah-nepolnoty-dannyh>.

References

1. Construction of mathematical models of integer linear programming. — Text : electronic // nsc.ru: [website]. — URL: http://old.math.nsc.ru/~alekseeva/Textbooks/textbook_model_building.pdf.
2. Planning of production operations. — Text : electronic // Habr : [website]. — URL: <https://habr.com/ru/articles/672466/>.
3. The task of production planning. — Text : electronic // studfile : [website]. — URL: <https://studfile.net/preview/6265539/page:3/>.
4. Modification of the genetic algorithm to solve the problem of scheduling with limited resources. — Text : electronic // donntu : [website]. — URL:

<https://masters.donntu.ru/2018/fknt/strelnikov/library/article6.htm?ysclid=m8emgwgktm375778124>.

5. Choosing a solution based on resource constraints. — Text : electronic // studfile : [website]. — URL: <https://studfile.net/preview/1097702/page:48/>.
 6. Allocation of production resources in volume planning tasks in conditions of incomplete data. — Text : electronic // cyberleninka : [website]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspredelenie-proizvodstvennyh-resursov-v-zadachah-obemnogo-planirovaniya-v-usloviyah-nepolnoty-dannyh>.
-