

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра «Прикладная математика и фундаментальная информатика»

РЕФЕРАТ

по дисциплине

«ОПТИМИЗАЦИЯ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ»

на тему

«Задача календарного планирования»

Студента Шмидт Антона Владиславовича

Группы ИВТ-244

Факультета информационных технологий и компьютерных систем

Направление подготовки бакалавров: 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

Работу проверила:

Заозерская Л.А.

доцент, канд. физ.-мат. наук

Омск 2025

Оглавление

| | |
|--|----|
| Введение | 3 |
| 1. Понятийный аппарат и системные компоненты..... | 4 |
| 2. Классификация и математическая постановка задач | 5 |
| 2.1. Одностадийные системы..... | 5 |
| 2.2. Поточковые линии (Flow Shop)..... | 5 |
| 2.3. Многомаршрутные системы (Job Shop) | 5 |
| 2.4. Целевые функции | 5 |
| 3. Математические сложности и барьеры | 7 |
| 4. Методы решения: от классики до нейросетей | 8 |
| 4.1. Точные алгоритмы..... | 8 |
| 4.2. Алгоритмические эвристики..... | 8 |
| 4.3. Интеллектуальные метаэвристики | 8 |
| 5. Практическая реализация и программные комплексы | 10 |
| 6. Учет неопределенности и рисков | 11 |
| Заключение | 12 |
| Список используемой литературы | 13 |

Введение

В современной инженерной и управленческой мысли время рассматривается не просто как физическая величина, а как наиболее дефицитный и невозполнимый ресурс. Эффективное использование этого ресурса лежит в основе дисциплины планирования. Если стратегическое планирование определяет вектор развития организации на годы вперед, а тактическое — распределяет объемы работ по месяцам, то календарное планирование (оперативное управление) отвечает за микроуровень: за секунды, минуты и часы работы конкретного оборудования и людей.

Проблема календарного планирования возникла в тот момент, когда мануфактурное производство сменилось индустриальным. С усложнением машин и ростом количества операций человеческий мозг перестал справляться с поиском наилучшей последовательности действий «на глаз». Ошибки в очередности приводили к тому, что дорогостоящие станки простаивали в ожидании деталей, а готовая продукция пылилась на складах, не находя сбыта из-за нарушения логистических цепочек. Сегодня, в эпоху цифровой трансформации и Индустрии 4.0, значимость этой задачи только возросла, так как современные системы требуют мгновенной реакции на изменения рыночного спроса.

1. Понятийный аппарат и системные компоненты

Для того чтобы построить качественную модель планирования, необходимо четко определить объекты, которыми мы оперируем. В теории расписаний принято выделять три базовых элемента: требования (работы), ресурсы (приборы) и технологические ограничения.

Работы (Jobs) — это неделимые на данном уровне планирования единицы деятельности. Каждая работа характеризуется набором параметров. Прежде всего, это длительность выполнения p_i (processing time). Однако в реальных условиях работа часто не может быть начата в любой момент: у нее есть время появления в системе r_i (release date) — например, дата поставки сырья. Также у каждой работы есть директивный срок d_i (due date) — момент, к которому она должна быть завершена согласно контракту.

Ресурсы (Machines) — это активные элементы системы, которые выполняют работы. Важнейшим свойством ресурса является его производительность и доступность. В простых моделях мы считаем, что ресурс может выполнять только одну работу в конкретный момент времени. В более сложных — учитываем время переналадки (setup time), которое требуется станку для перехода от одного типа изделия к другому.

Связующим звеном выступает технологический маршрут. Это жесткая последовательность операций, которую должно пройти изделие. Нарушение этой последовательности физически невозможно: нельзя покрасить деталь, которая еще не была отлита в форме. Именно комбинация этих факторов — временных параметров, ограниченности ресурсов и технологических связей — превращает календарное планирование в одну из самых сложных комбинаторных задач.

2. Классификация и математическая постановка задач

Научный подход требует строгой классификации типов систем. В зависимости от того, как организовано движение работ через ресурсы, выделяют несколько фундаментальных моделей.

2.1. Одностадийные системы

Это базовый уровень, где имеется один или несколько параллельных ресурсов. Здесь нет проблемы маршрута, важна лишь очередность. Основная сложность возникает, когда ресурсы «неидентичны»: один станок работает быстрее другого, или определенный мастер обладает уникальной квалификацией для конкретной задачи. Математически это выражается через коэффициенты эффективности ресурсов.

2.2. Поточковые линии (Flow Shop)

В этой модели все работы проходят через все станки в строго одинаковом порядке. Представьте себе автомобильный конвейер: сначала сварка кузова, затем покраска, затем сборка. Если одна машина задерживается на покраске, вся линия начинает «захлебываться». Оптимизация здесь направлена на то, чтобы минимизировать суммарное время прохождения всех изделий через всю цепочку (C_{max}).

2.3. Многомаршрутные системы (Job Shop)

Это наиболее реалистичная и сложная модель для машиностроения. Здесь каждое изделие (заказ) имеет свой уникальный путь. Одному изделию нужны станки А, Б и В, а другому — только В и А. В таких системах возникают конфликты: два разных заказа одновременно претендуют на один и тот же станок. Решение задачи Job Shop — это поиск такого компромисса, при котором суммарные простои всех станков будут минимальны.

2.4. Целевые функции

Как понять, что составленный план — хороший? Для этого используются формальные критерии:

1. $Makespan (C_{max})$ — общее время выполнения всего портфеля заказов. Чем оно меньше, тем выше пропускная способность предприятия.

2. Максимальное запаздывание (L_{max}) — показатель того, насколько сильно мы нарушаем сроки. Это критично для поддержания репутации.
3. Суммарное время нахождения в системе — минимизация этого показателя позволяет сократить объем незавершенного производства (деньги, «замороженные» в деталях на станках).

3. Математические сложности и барьеры

Основная трудность календарного планирования заключается в том, что оно относится к классу NP-трудных задач. Чтобы понять масштаб проблемы, достаточно представить 10 работ, которые нужно распределить на одном станке. Количество возможных последовательностей — это $10!$ (факториал), что составляет более 3,6 миллионов вариантов. Если работ будет 20, количество вариантов превысит возможности любого современного компьютера для полного перебора.

В многостадийных системах количество вариантов растет экспоненциально. Это заставляет исследователей отказываться от поиска «идеального» (глобально оптимального) решения в пользу «достаточно хорошего» (субоптимального), которое можно найти за разумное время. Здесь на авансцену выходят методы оптимизации и принятия решений, которые позволяют «отсекать» заведомо плохие варианты.

4. Методы решения: от классики до нейросетей

За десятилетия развития науки было разработано множество подходов к решению задач расписаний. Их можно разделить на три большие группы.

4.1. Точные алгоритмы

Метод ветвей и границ является классикой. Его суть заключается в системном переборе вариантов, организованном в виде дерева. Если на каком-то этапе мы понимаем, что текущая ветвь решения уже хуже, чем лучший из найденных ранее вариантов, мы «отсекаем» эту ветвь и не тратим на нее время. Это позволяет найти точный оптимум, но для систем с сотнями работ метод становится слишком тяжеловесным.

4.2. Алгоритмические эвристики

В условиях реального времени часто применяются простые правила приоритетов.

- Алгоритм Джонсона — это элегантное решение для задачи Flow Shop на двух станках. Он позволяет найти идеальный порядок работ за доли секунды, просто сравнивая длительности операций.
- Метод критического пути (CPM) помогает выделить те задачи, задержка которых неминуемо приведет к сдвигу срока завершения всего проекта.

Однако в сложных системах простые правила часто противоречат друг другу. Например, выполнение коротких задач первым уменьшает очередь, но может привести к огромному штрафу за срыв срока по одной крупной, но важной задаче.

4.3. Интеллектуальные метаэвристики

Когда классика бессильна, на помощь приходят методы, имитирующие природные процессы.

- Генетические алгоритмы создают «популяцию» различных планов. Затем они «скрещивают» лучшие планы между собой, проводят «мутации» (случайные изменения порядка работ) и в результате естественного отбора через сотни поколений получают высокоэффективный график.
- Муравьиные алгоритмы имитируют поиск кратчайшего пути муравьями по

запаховым следам (феромонам). В планировании это помогает найти наиболее рациональные маршруты движения деталей по цеху.

5. Практическая реализация и программные комплексы

Теоретические модели находят свое воплощение в специализированном программном обеспечении. Современное предприятие использует трехуровневую структуру:

1. ERP-системы — занимаются общим учетом ресурсов и долгосрочным планированием.
2. APS-системы (Advanced Planning and Scheduling) — именно здесь живут сложные алгоритмы, о которых говорилось выше. Они строят детальные расписания с точностью до секунды.
3. MES-системы — контролируют исполнение плана в реальном времени и фиксируют отклонения.

Основная проблема внедрения заключается в качестве данных. Если нормативное время обработки детали на станке составляет 10 минут, а на практике из-за износа оборудования оно занимает 15, любой, даже самый гениальный математический план окажется невыполнимым. Поэтому календарное планирование сегодня неразрывно связано с промышленным интернетом вещей (IIoT), который предоставляет точные данные с датчиков.

6. Учет неопределенности и рисков

В теоретических моделях мы часто предполагаем, что мир статичен. Но на практике случаются поломки станков, сотрудники уходят на больничный, а поставщики задерживают металл. Поэтому современная задача календарного планирования трансформируется в задачу проактивного и реактивного планирования.

Проактивный подход подразумевает создание «защитных буферов» времени в расписании. Реактивный же подход заключается в мгновенном пересчете (решедулинге) всего графика при возникновении инцидента. Это требует колоссальных вычислительных мощностей, так как план должен быть обновлен быстрее, чем рабочие успеют совершить ошибку, следуя старому графику.

Заключение

Задача календарного планирования прошла путь от простых бумажных карточек до сложнейших нейросетевых моделей. Сегодня мы понимаем, что универсального алгоритма, идеально решающего любую задачу планирования, не существует. Успех зависит от правильного сочетания математической модели, выбранного критерия оптимизации и качества исходных данных.

Основные выводы:

- Календарное планирование является фундаментом операционной эффективности, позволяя превратить хаос разрозненных задач в упорядоченный поток.
- Сложность задачи требует отказа от простых решений в пользу гибридных методов, сочетающих точную математику и эвристический поиск.
- Будущее отрасли лежит в области самообучающихся систем, которые смогут учитывать не только жесткие нормативы, но и накопленный опыт выполнения аналогичных работ в прошлом.

Развитие методов оптимизации в этой сфере не только повышает прибыль предприятий, но и делает жизнь людей более предсказуемой и организованной, минимизируя потери самого ценного, что у нас есть — времени.

Список используемой литературы

1. Конвей В. Л., Максвелл В. Л., Миллер Л. В. Теория расписаний. Перевод с англ. — М.: Наука, 1975. — 360 с. (Фундаментальный базис).
2. Лазарев А. А. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. — М.: МГУ, 2011. — 272 с.
3. Танаев В. С., Сотсков Ю. Н., Струсович В. А. Теория расписаний. Многостадийные системы. — М.: Наука, 1989. — 328 с.
4. Григорьев И. В., Ткаченко Л. И. Оптимизационные методы в задачах планирования производства. — М.: Юрайт, 2022. — 190 с.
5. Pinedo M. L. Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems. 5th Edition. — Springer, 2016.
6. Garey M. R., Johnson D. S. Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness. — W. H. Freeman, 1979. (О сложности алгоритмов).
7. Шкурба В. В. Задачи планирования и методы их решения. — Киев: Наукова думка, 1982.
8. Колобов А. А. Промышленная логистика: Логистически-ориентированное управление. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997.
9. Брукер П. Теория расписаний. — М.: Физматлит, 2006.
10. Левитин Г. Л. Генетические алгоритмы в задачах оптимизации расписаний. — М.: Энергоатомиздат, 2001.