УДК 658.513.3

Методы планирования работ на предприятиях со сборкой изделий на конвейерах

Ермолова Мария Алексеевна ermolovama@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Рассмотрены методы планирования и построения расписаний работ для машиностроительных предприятий, на которых сборка выпускаемой продукции производится на конвейерах. Эти методы основаны на использовании принципов агрегирования информации, состоящей в объединении деталей в группы по принципу прохождения ими одинаковых производственных подразделений предприятия. Это позволяет сводить решение задач построения расписаний большой размерности, к решению задач построения расписаний существенно меньшей размерности. Рассмотрены ограничения, а также подходы к решению задач для случаев сборки готовых изделий на одном или нескольких конвейерах.

***Ключевые слова*:** *планирование, построение расписаний, агрегирование, конвейерная сборка, спрос на продукцию*

Введение. Одной из задач разработки методов планирования производственных расписаний в механообрабатывающей отрасли является удовлетворение потребительского спроса на продукцию, выпускаемую предприятием. Применение таких подходов позволяет значительно сократить сроки выполнения заказов и повысить общую эффективность работы компаний.

На сегодняшний день существует множество методов планирования для отдельных производственных участков [1–3], однако из оптимальных планов для отдельных систем не всегда удается создать даже удовлетворительные планы для работы всего предприятия в целом [4–6].

Для решения задач, связанных с построением расписаний обработки комплектующих на уровне предприятий, был предложен подход [4], который основывается на методах агрегирования информации. Эти методы позволяют преобразовать решение задач планирования работы большой размерности в последовательное решение задач меньшей размерности.

В докладе представлены методы, которые позволяют разрабатывать планы и расписания работ на предприятиях, занимающихся сборкой готовых изделий на одном или нескольких конвейерах, принимая во внимание спрос на готовую продукцию и затраты на ее хранение.

Постановка задачи. Информация и данные об узлах, агрегатах и технологии их изготовления аналогичны той, что описана в [5]. Для каждого изделия известен маршрут его обработки и сборки, который включает времена и последовательность обработки каждой комплектующей детали на всем доступном оборудовании, а также времена его переналадки для их обработки.

Сборка производимых изделий осуществляется на одном или нескольких конвейерах из деталей, изготовленных в цехах предприятия, а также из комплектующих, закупленных у сторонних поставщиков.

Одним из ключевых требований в организации производств с конвейерной сборкой является необходимость отсутствия или минимизации дефицита производимых изделий. Для выполнения этого требования целесообразно создавать запасы изделий каждого типа во время их производства, чтобы использовать их в период, когда выпуск таких изделий приостановлен и производятся изделия других типов.

Планирование и расписания работ должны учитывать рыночный спрос, стоимость хранения запасов и расходы на переналадки конвейеров. Эти планы и расписания должны быть согласованы между различными производственными подразделениями предприятия и иметь возможность детализации до уровня заданий на каждом рабочем месте.

Последовательность обработки комплектующих и сборки узлов, агрегатов и изделий должна быть выбрана таким образом, чтобы минимизировать производственные затраты и по возможности удовлетворить текущий спрос на выпускаемые изделия.

Принципы планирования и построения расписаний работ. Сборку изделий любого типа, которые собираются на конвейерах, обычно, начинают, когда на каждое рабочее место конвейера будет доставлено одно и то же количество комплектов деталей, узлов и агрегатов, предназначенных для сборки выпускаемых изделий.

С целью обеспечения удовлетворения спроса на производимые изделия необходимо определить объем выпускаемой партии изделий каждого типа.

Для обеспечения последовательного изготовления изделий L типов и наличия их на складе, времена между началом смежных выпусков изделий каждого типа t_s предлагается сделать одинаковыми и определять в соответствии с [7] с помощью соотношения

$$t_s = \max\left\{\sqrt{\frac{2\sum_{i=1}^{L} c_{si}}{\sum_{i=1}^{L} c_i \bar{r}_i\left(1-\frac{\bar{r}_i}{p_i}\right)}}, \frac{\sum_{i=1}^{L}\tau_i}{1-\sum_{i=1}^{L}\frac{\bar{r}}{p_i}}\right\},$$

где $\bar{r}_i$ — величина среднего спроса на изделия i-го типа (i = 1, …, L) в течение интервала планирования T.

Величины q_i и q_i, обозначающие количество изделий в производимой партии и количество изделий из этой партии, которое отправляется на склад, определяются с помощью соотношений

$$q_i = (p_i - \bar{r}_i)t_{1i},\ q_i = \bar{r}_i t_s = p_i t_{1i},\ i = 1, \ldots, L.$$

Имея данные об объемах выпускаемой продукции, можно приступить к задаче планирования работ. Для создания расписаний, необходимых для производства комплектующих, предлагается использовать концепцию агрегирования информации. Эта концепция заключается в группировке деталей

таким образом, чтобы все детали в каждой группе обрабатывались в одной последовательности через производственные подразделения предприятия [4]. Сформированные таким образом группы деталей рассматриваются как обобщенные детали, а соответствующие производственные подразделения — как обобщенные станки.

Далее определяется время обработки всех групп деталей на тех производственных подразделениях, где они обрабатываются, то есть время обработки всех обобщенных деталей в соответствии с заданной технологией на всех используемых обобщенных станках. Для этого могут быть применены как традиционные методы планирования, так и оценочные модели [1–4].

После определения этих временных параметров возникает стандартная задача теории расписаний, связанная с построением расписания обработки обобщенных деталей на производственном участке, состоящем из обобщенных станков. Для ее решения также могут использоваться традиционные методы планирования обработки деталей (обобщенных) на станках (обобщенных) производственного участка, что позволяет получить оценку времени обработки комплектующих на предприятии.

При наличии нескольких конвейеров на предприятии возникают дополнительные сложности, так как комплектующие детали, узлы и агрегаты для изделий, собираемых на каждом конвейере, изготавливаются на одних и тех же участках и зачастую в течение одного временного интервала, что может привести к большому количеству таких комплектующих.

Кроме того, размеры партий собираемых изделий зависят от текущего спроса и могут постоянно изменяться. Это, в свою очередь, вызывает изменения во времени начала и окончания сборки каждой партии изделий, а также в сроках, к которым должны быть изготовлены комплектующие для различных изделий.

В связи с этим предлагается алгоритм распределения изделий и соответствующих агрегатов по конвейерам так, чтобы время работы каждого конвейера было максимально равномерным. Для решения данной задачи был разработан алгоритм, который находит две минимальные суммы из массива значений времен сборки всех типов изделий.

Для тестирования предложенных методов и алгоритмов был создан программный прототип системы планирования работ на уровне всего предприятия, с помощью которого решались тестовые задачи различной сложности, что подтвердило работоспособность предложенных алгоритмов для формирования планов работ.

Заключение. На основе предложенного подхода агрегирования информации и разработанных алгоритмов удалось создать эффективные методы построения расписаний для производственных предприятий. Эти методы позволяют учитывать особенности обработки комплектующих деталей, узлов и агрегатов, а также обеспечивать равномерное распределение нагрузки между конвейерами. Разработанный алгоритм и программный прототип подтвердили свою работоспособность в ходе тестирования на задачах различной

сложности, что демонстрирует их пригодность для оптимизации планирования работ на уровне всего предприятия.

Список источников

[1] Bruker P. Scheduling Algorithms. Leipzig, Springer, 2007, 371 p.

[2] Конвей Р.В., Максвелл В.А., Миллер Л.В. *Теория расписаний*. Москва, Наука, 1975, 360 с.

[3] Зак Ю.А. *Прикладные задачи теории расписаний и маршрутизации перевозо*к. Москва, Либроком, 2011.

[4] Хоботов Е.Н. О некоторых моделях и методах решения задач планирования в дискретных производственных системах. *Автоматика и телемеханика*, 2007, № 12, с. 85–100.

[5] Сидоренко А.М., Хоботов Е.Н. Агрегирование при планировании работ на машиностроительных предприятиях. *Теория и системы управления*, 2013, № 5, с. 132–144.

[6] Сидоренко А.М., Хоботов Е.Н. Планирование производств с параллельной сборкой изделий. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2009, № 3, с. 100–109.

[7] Ермолова М.А., Хоботов Е.Н. Построение расписаний работ на предприятиях с конвейерной сборкой готовой продукции. IX *Московская Междунар. конф. по исследованию операций* (ORM2018): *тр*. Москва, МАКС Пресс, 2018, т. 2, с. 170–174.

Methods of work planning in enterprises with assembly of products on conveyors

Ermolova Maria A. ermolovama@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Methods of planning and scheduling work for machine-building enterprises where the assembly of products is carried out on conveyors are considered. These methods are based on the principles of information aggregation, which consists in combining parts into groups based on the principle that they pass through the same production units of the enterprise. This allows us to reduce the solution of the tasks of building schedules of large-scale work to solving the tasks of building schedules of significantly smaller dimensions. The limitations are considered, as well as approaches to solving problems for assembling finished products on one or more conveyors.

Keywords: planning, scheduling, aggregation, assembly line, product demand