

УДК 658.513

## **Методы агрегирования для задач планирования работ на машиностроительных предприятиях**

*Ермолова М.А., аспирант  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Компьютерные системы автоматизации производства»*

*Научный руководитель: Хоботов Е.Н., д.т.н, профессор  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
[gss@bmstu.ru](mailto:gss@bmstu.ru)*

### **Введение**

Планирование деятельности предприятия способствует повышению эффективности его деятельности и более рациональному использованию всех ресурсов. Большинство разработанных методов и математических моделей планирования и построения расписаний работ позволяют строить планы и расписания обработки деталей либо для отдельных цехов и участков, либо для небольших предприятий с малой номенклатурой изделий [1,2]. На крупных промышленных предприятиях с большим ассортиментом производимых изделий существующие методы практически неприменимы из-за вычислительной сложности возникающих задач. Кроме того, на время выполнения планового задания большое влияние оказывают порядок сборок изделий и их комплектующих.

В работе [3] был предложен подход, основанный на использовании методов агрегирования информации, который позволяет построить планы и расписания работ на уровне предприятий. Развитие методы получили в работах [4,5], где они использовались для определения порядка обработки комплектующих деталей на уровне предприятий. На исследуемых предприятиях сборка изделий производилась на сборочных участках последовательно. Однако не были рассмотрены случаи конвейерной сборки на предприятии, которые являются очень важными, так как большинство машиностроительных предприятий (например, автомобильные заводы) работают по этому принципу.

В данной работе рассматривается проблема планирования и построения расписаний работ на уровне предприятий, в которых осуществляется обработка комплектующих деталей, промежуточная сборка узлов, а также сборка готовых изделий на конвейерах.

### **Постановка задачи планирования**

Рассмотрим принципы организации работ и задачи, возникающие при построении расписаний работ на предприятиях с конвейерной сборкой продукции.

Современное производственное предприятие представляет собой объединение цехов различной специализации, лабораторий, вспомогательных и обслуживающих систем. Пусть на предприятии с дискретным характером производства имеются механообрабатывающие и механосборочные цеха, где наряду с механической обработкой осуществляется сборка узлов и агрегатов.

Сборка узлов начинается после готовности всех комплектующих деталей. Агрегаты собираются из комплектующих деталей, узлов и менее сложных агрегатов, которые могут собираться как в цехах предприятия, так и закупаться у поставщиков. Предполагается, что сборка узлов и агрегатов в механосборочном цеху производится последовательно, то есть только после завершения сборки всей партии узлов или агрегатов одного типа может начинаться сборка узлов или агрегатов другого типа.

Пусть в течение планового периода всего требуется обработать  $B$  партий изделий размером  $N_i$  ( $i = 1, \dots, B$ ). Каждое изделие состоит из  $D_i$  типов комплектующих деталей. В состав одного изделия  $i$ -го типа входит  $n_{ij}$  комплектующих деталей  $j$ -го типа ( $j = 1, \dots, D_i$ ).

Для всех деталей известны маршруты обработки, в которые входит последовательность участков и оборудования, используемые для обработки детали, времена обработки  $p_j$  и переналадки всего оборудования, а также состав и количество оборудования на каждом участке предприятия. Кроме того, для любой детали известен маршрут сборки, то есть последовательность и продолжительность ее установки в изделие.

Для сборки готовых изделий на предприятии есть  $C$  конвейеров, для каждого из которых известно количество рабочих мест и время установки в изделие комплектующих деталей, узлов и агрегатов на этих местах.

Для заданной производственной программы, в которую входит изготовление определенного количества и типов комплектующих деталей, узлов и агрегатов, требуется построить план и расписание работ подразделений предприятия по обработке

комплектующих деталей и сборке узлов и агрегатов. Также требуется определить последовательность сборки изделий, последовательность обработки комплектующих деталей каждого изделия на всех участках предприятия и на всем используемом оборудовании каждого участка, и времена начала и окончания обработки каждой детали  $t_j$  ( $j = 1, \dots, D_i$ ) на всем используемом оборудовании и сборки каждого изделия.

Последовательности и времена обработки комплектующих деталей и сборки изделий требуется определить таким образом, чтобы минимизировать общее время выполнения планового задания.

### **Принципы построения планов и расписаний работ**

На предприятиях машиностроения в условиях крупносерийного и массового производства одной из наиболее эффективных форм организации производства является конвейерное производство. В этом случае ритм конвейера задает основу для планирования работ всех цехов предприятия. Для ритмичного выполнения процессов необходимо, чтобы на каждом конвейере предприятия перед началом сборки в наличии оказывалось некоторое целое количество комплектов деталей, узлов и агрегатов, из которых будут собираться выпускаемые изделия. Кроме того, это облегчает организацию снабжения конвейеров комплектующими изделиями.

Рассмотрим простейший случай – на предприятии есть один конвейер, на котором происходит сборка изделий одного типа. К моменту завершения сборки предыдущей группы изделий должна завершиться обработка комплектующих деталей для изготовления следующей группы изделий ит.д.

Поскольку на машиностроительных предприятиях может обрабатываться большое количество типов комплектующих деталей, а также количество обрабатывающего оборудования может быть значительным, построение расписания обработки комплектующих деталей с помощью традиционных методов может быть затруднительным.

Для разработки методов планирования в данной работе используем идею агрегирования информации применительно к проблемам, возникающим на предприятиях, использующих конвейерную сборку изделий. Идея агрегирования состоит в разделении деталей на группы таким образом, что все детали группы при обработке в одной последовательности проходят производственные подразделения предприятия [3]. В случае конвейерной сборки формирование групп происходит из комплектующих деталей, входящих в состав заданного количества комплектов, направляемых на сборку

выпускаемой продукции. Сформированные группы рассматриваются как обобщенные детали, а производственные подразделения предприятия как обобщенные станки.

Для определения времени обработки каждой из таких групп деталей могут использоваться как традиционные методы построения расписаний, так и оценочные модели.

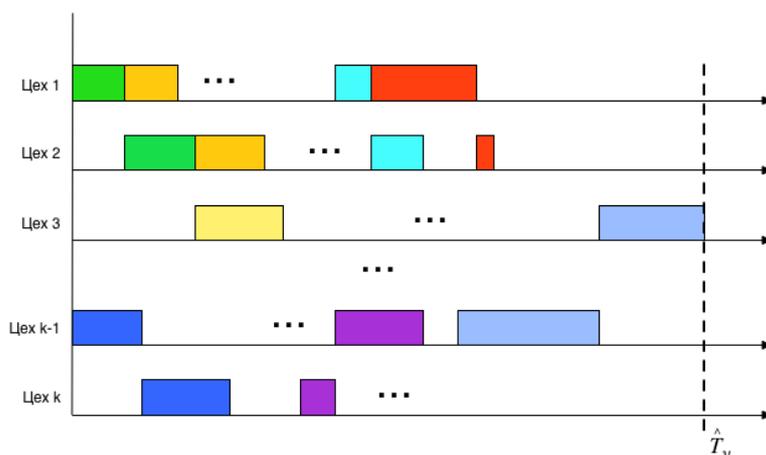


Рис. 1. «Каркасное» расписание обработки комплектующих на уровне предприятия

На рис. 1 показан внешний вид агрегированного «каркасного» расписания; прямоугольники на диаграмме Ганта обозначают обобщенные детали и их обработку на производственных участках предприятия. Полученное расписание будет в зависимости от примененных методов оптимальным или близким к оптимальному на уровне всего предприятия, так как будет учитывать все производственные системы предприятия.

В том случае, если на предприятии есть несколько конвейеров, сборка изделий, выпускаемых на них, начинается тогда, когда на каждом конвейере предприятия в наличии окажется целое количество комплектов деталей, узлов и агрегатов, из которых будут собираться изделия. Задача осложняется тем, что комплектующие детали, собираемые на разных конвейерах, могут изготавливаться на предприятии в течение одного интервала времени. Также важно отметить, что размеры партии изделий определяются спросом на выпускаемую продукцию, поэтому они могут быть разными для каждого из конвейеров. В связи с этим в данном случае для построения «каркасных» расписаний используется следующая схема.

Из комплектующих деталей, собираемых на соответствующем конвейере, также формируются группы, в каждую из которых включаются только детали, проходящие в процессе своей обработки производственные подразделения предприятия в одном и том

же порядке. После этого при помощи, как традиционных методов построения расписаний, так и оценочных моделей, определяются времена обработки каждой группы. На следующем этапе может быть построено расписание обработки сформированных групп деталей в производственных подразделениях предприятия, то есть «каркасное» расписание обработки комплектующих некоторой партии изделий на соответствующем конвейере. Полученное расписание «присоединяется» к формируемому на предприятии общему «каркасному» расписанию обработки комплектующих на сразу после завершения работ по изготовлению комплектующих для этого же конвейера.

### **Разработка алгоритмов построения расписаний работ**

Рассмотрим алгоритм построения расписаний работ по обработке комплектующих деталей и последующей сборке из них готовых изделий на конвейере. Представим алгоритм по шагам.

Шаг 1. В зависимости от спроса определить требуемое количество выпускаемых изделий. Следует переход к Шагу 2.

Шаг 2. Рассчитать количество комплектов деталей, узлов и агрегатов, из которых будут собираться изделия, и распределить комплекты по конвейерам. Следует переход к Шагу 3.

Шаг 3. Для каждого конвейера производится распределение деталей, которые должны обрабатываться на текущем этапе, по группам. В каждую группу входят детали, имеющие один и тот же порядок обработки на производственных участках предприятия. Следует переход к Шагу 4.

Шаг 4. Определяются времена обработки сформированных групп деталей на всех механообрабатывающих участках предприятия. Следует переход к Шагу 5.

Шаг 5. Построить «каркасное» расписание обработки комплектующих деталей на всех участках предприятия. Порядок прохождения производственных участков предприятия известен из распределения деталей по группам на Шаге 3.

Шаг 6. По максимальному времени завершения обработки последней комплектующей детали определяется время, к которому должны быть готов комплект деталей следующей партии для отправки на конвейер. Переход к Шагу 7.

Шаг 7. Производится проверка номера комплекта для сборки изделия. Если комплект является последним для данного конвейера, следует переход к Шагу 8. Иначе по спецификации собираемых изделий формируется информация о деталях, которые должны

быть обработаны для следующего набора комплектующих. Следует переход к Шагу 3 для построения расписания изготовления этих деталей.

Шаг 8. Произвести «присоединение» полученного «каркасного» расписания к общему «каркасному» расписанию обработки деталей и узлов на предприятии. Формируется отчет с планами и расписаниями работ по выполнению производственной программы. Вычисления прекращаются.

На рис. 2 в графическом виде показан алгоритм построения расписания работ для обработки комплектующих деталей и сборки из них готовых изделий на предприятиях с конвейерной сборкой изделий.

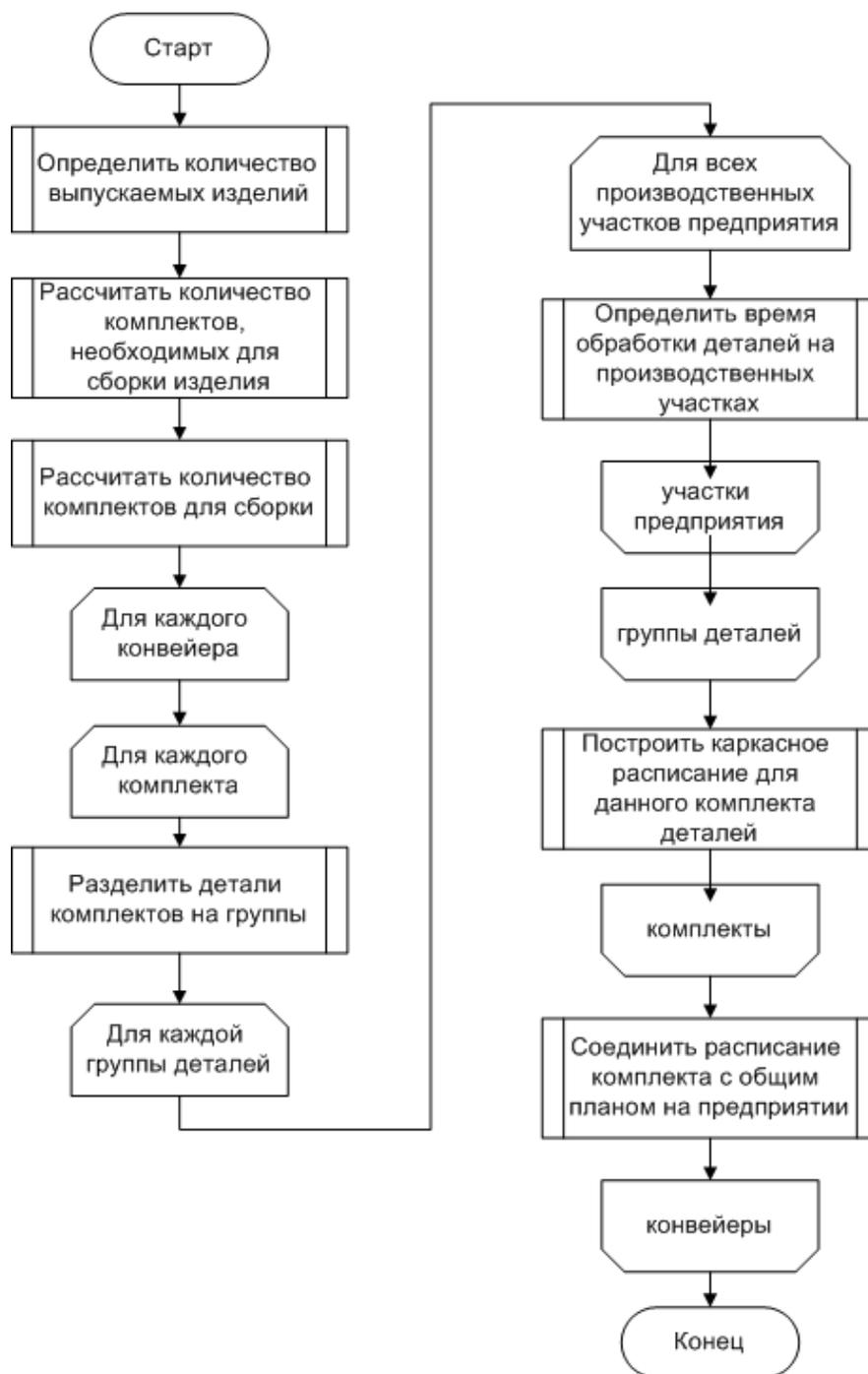


Рис. 2. Алгоритм построения расписания на предприятиях с конвейерной сборкой изделий на нескольких конвейерах

### Заключение

Для построения расписаний обработки комплектующих и сборки изделий на машиностроительных предприятиях с конвейерной сборкой была использована идея агрегирования информации [3]. На ее основе были созданы методы построения расписаний

на уровне предприятий. Для создания программного прототипа системы, реализующего эти методы, был разработан алгоритм построения расписаний.

#### Список литературы

1. Bruker P. Scheduling Algorithms. Leipzig: Springer, 2007. 371 p.
2. Конвей Р.В., Максвелл В.А., Миллер Л.В. Теория расписаний. М.: Наука, 1975. 360 с.
3. Хоботов Е.Н. О некоторых моделях и методах решения задач планирования в дискретных производственных системах // Автоматика и Телемеханика. 2007. №12. С. 85-100.
4. Ларина Е.А., Сидоренко А.М., Хоботов Е.Н. Выбор порядка сборки узлов и агрегатов при планировании работ на предприятиях с дискретным характером производства // Проблемы управления. 2013. № 3. С. 71-77.
5. Сидоренко А.М., Хоботов Е.Н. Агрегирование при планировании работ на машиностроительных предприятиях // Теория и системы управления. 2013. № 5. С. 132-144.