

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ РАСПИСАНИЙ И ПЛАНОВ РАБОТ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Е.Н. Хоботов

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: e_khobotov@mail.ru

Ключевые слова: задачи управления, предприятие, расписания работ, стапельная сборка, комплектующие, подразделения, обрабатывающее оборудование.

Аннотация: Рассматриваются задачи и методы построения расписаний работ для предприятий, в производственных подразделениях которых изготавливаются комплектующие, предназначенные для сборки из них на стапелях выпускаемой продукции. Методы построения расписаний, основаны на идее агрегирования информации и позволяют строить для всех производственных подразделений предприятия взаимосвязанные расписания работ.

1. Введение

Повышению эффективности машиностроительных производств в значительной степени способствуют методы теории расписаний [1-3]. Такие методы разрабатывались для построения расписаний в производственных системах, участках и подразделениях предприятий и позволили заметно сокращать время изготовления поступающих заданий.

Однако разработанные методы оказались непригодными для построения расписаний работ на предприятиях из-за очень большой размерности возникающих задач построения расписаний для предприятий.

Для построения планов и расписаний работ на предприятиях в [4] был предложен подход, использующий принципы агрегирования информации. На основе этого подхода в [5] были разработаны методы построения расписаний работ для предприятий с конвейерной сборкой выпускаемых изделий, которые показали весьма хорошую работоспособность. Однако для построения расписаний работ на предприятиях со стапельной сборкой такие методы оказались непригодными, а построение планов и расписаний работ для них оказалось значительно более сложной задачей, чем для предприятий с конвейерной сборкой.

В данной работе рассматриваются принципы агрегирования информации и описываются методы построения расписаний работ для предприятий, на которых выпускаемые изделия собираются на стапелях.

2. Постановка задачи

Рассмотрим более подробно постановку задачи, связанную с построением расписаний работ на предприятиях со стапельной сборкой изделий.

Пусть в составе предприятия имеется R подразделений, в которых изготавливаются комплектующие для сборки изделий L типов, и M стапелей различных типов для их

сборки. На стапелях каждого типа может производиться сборка только «своих» изделий.

Для любого изделия, производимого на предприятии, известны количество и типы входящих в его состав комплектующих. Часть комплектующих для сборки производимых изделий изготавливается на предприятии, а часть может закупаться на стороне.

Для каждой комплектующей, производимой на предприятии, известны времена и последовательность её обработки на всем используемом оборудовании предприятия, а также времена переналадок этого оборудования. Кроме того, известны последовательность и нормативы времени установки каждой комплектующей в собираемое изделие.

Изделия на стапелях собираются обычно в соответствии со следующей схемой. Сначала перед сборкой каждого изделия в производственных подразделениях предприятия изготавливается часть комплектующих, которая обычно устанавливается в собираемое изделие в соответствии с технологией сборки в первую очередь. Порядок установки каждой комплектующей в собираемое изделие, как уже отмечалось выше, задан. Пока изготовленные комплектующие устанавливаются в собираемое изделие, в производственных подразделениях предприятия изготавливаются те комплектующие, которые должны устанавливаться в собираемое изделие в следующую очередь и т.д. Такой процесс продолжается до тех пор, пока сборка изделия не будет завершена. При одновременной сборке различных изделий на стапелях комплектующие для них изготавливаются совместно в одних и тех же производственных подразделениях предприятия.

В задаче требуется построить планы и расписание работ для предприятия так, чтобы поступивший заказ, состоящий известного количества N_l ($l = 1, \dots, L$) производимых на предприятии изделий, был выполнен за меньшее время. Желательно также, чтобы сборка каждого изделия производилась по возможности без перерывов на ожидание доставки используемых при сборке комплектующих. Это требование обусловлено тем, что ритмичность работ и отсутствие перерывов в работе для ожидания доставки комплектующих заметно способствуют повышению качества сборки производимой продукции.

3. Построение расписаний работ на предприятиях

Рассмотрим идеи и принципы создания методов, предназначенных для построения расписаний работ на определённых выше предприятиях.

Как уже отмечалось, планы и расписания работ, способствующие повышению эффективности предприятий, следует строить, чтобы они были взаимосвязаны между собой для всех подразделений предприятия.

Под взаимосвязанными планами и расписаниями работ здесь понимаются такие планы и расписания работ, по которым выполнение любой операции по обработке каждой комплектующей может начаться только после завершения предыдущей операции в соответствии с технологией её изготовления. Причём предыдущая операция может выполняться и на оборудовании другого подразделения. Для этого расписания работ в различных подразделениях должны быть согласованы между собой.

Подобные планы и расписания работ в [4] были названы планами и расписаниями работ на уровне предприятий. Для их построения в [4] был предложен подход, основанный на использовании идей агрегирования информации.

Использование этих идей для построения подобных планов и расписаний работ было вызвано непригодностью существовавших методов [1-3] построения расписаний

работ. Действительно, эти методы были разработаны для построения расписаний работ в производственных подразделениях предприятия и позволяли заметно сокращать время выполнения заданий. Однако они оказались непригодными для построения расписаний на уровне предприятий из-за очень большой размерности возникающих задач построения расписаний.

Формирование расписаний работ на предприятиях из расписаний работ, построенных для отдельных подразделений этих предприятий, также вызывает очень большие затруднения. Для построения расписаний работ в каждом подразделении необходимо выбрать, задать или определить время, когда будет начато построение расписания в этом подразделении, и сформировать группу комплектующих, для которых это расписание будет строиться. Комплектующие такой группы должны пройти необходимую обработку по технологии их изготовления до обработки в этом подразделении.

Однако, как определять времена начала построения расписаний в подразделениях и выбирать такие комплектующие непонятно, а без возможности эффективного построения этих расписаний идея формирования расписания работ для предприятий из них оказывается несостоятельной.

Для построения планов и расписаний работ на предприятиях в [4] был предложен подход, использующий принципы агрегирования информации. При использовании такого подхода из комплектующих, подлежащих изготовлению формируются специальные группы. Каждая деталь такой группы доставляется в процессе своей обработки в одном порядке к производственным подразделениям предприятия, в которых эти детали обрабатываются. При этом любая деталь группы может обрабатываться в подразделениях предприятия, где она изготавливается, по «своему» технологическому маршруту.

После определения времени обработки каждой из сформированных групп комплектующих во всех подразделениях предприятия, в которых эти группы обрабатываются, фактически возникает традиционная задача теории расписаний, для решения которой могут использоваться традиционные методы построения расписаний [1-3], поскольку размерность задач при агрегировании значительно снижается. В [4] подобное расписание названо «каркасным».

В «каркасном» расписании в отличие от расписания обработки деталей в подразделении строится обработка групп деталей в подразделениях предприятий. В связи с этим часто оказывается, что в некоторые моменты времени для части деталей группы обработка оказывается завершённой. Такие детали могут быть переданы в следующее подразделение предприятия по маршруту обработки этой группы. Подобная возможность оказывается чрезвычайно полезной, особенно в те моменты, когда в следующем подразделении заканчивается обработка деталей и может возникнуть простой из-за задержки деталей, обработка которых ещё не завершена. При обработке деталей в подразделениях это невозможно, поскольку часть детали, даже полностью обработанную, передавать куда-либо нельзя.

После построения «каркасного» расписания производится «распаковка» этого расписания, когда расписание групп комплектующих в подразделениях заменяется расписанием их обработки на оборудовании этих подразделений. Такое расписание строится для определения времени обработки сформированных групп комплектующих.

После «распаковки» полученное расписание «склеивается». Под операцией «склеивания» понимается операция, когда освободившееся оборудование подразделения от обработки текущей группы комплектующих сразу начинает использоваться для обработки комплектующих следующей группы. Дело в том, что в «каркасном» расписании длительность обработки группы определяется по времени

завершения обработки последней комплектующей и освободившееся оборудование до начала обработки комплектующих следующей группы не используется.

Выполнение операций «распаковки» и «склеивания» позволяет не только сократить время завершения «каркасного» расписания, но и даёт возможность определения времени начала и завершения обработки каждой партии и отдельных комплектующих на всём оборудовании подразделений и предприятия.

4. Принципы построения расписаний работ с учётом сборки

Рассмотрим построение расписаний работ по изготовлению N_l ($l = 1, \dots, L$) изделий на предприятии, имеющем M ступеней для сборки выпускаемых изделий.

Комплектующие для одновременно собираемых на ступенях изделий предлагается объединять в наборы, которые совместно изготавливаются на предприятии. Для обработки каждого такого набора целесообразно строить единое расписание работ в производственных подразделениях предприятия. После завершения обработки комплектующих этого набора производится их установка в изделия, а на обработку поступают комплектующие следующего набора.

Если в какие-либо изделия должны устанавливаться последней комплектующие, то комплектующие для сборки новых изделий включаются для обработки в следующий набор. После завершения сборки изделий и проведения контрольных операций соответствующие рабочие места освобождаются от собранных изделий, и на них может начаться сборка следующих изделий. Поэтому часто могут возникать ситуации, когда на одних ступенях, продолжается сборка изделий, а на других ступенях сборка изделий будет только начинаться.

Принципы построения расписаний работ по изготовлению комплектующих в условиях ступенчатой сборки были рассмотрены в предыдущем пункте. Будем считать, что на предприятии для каждого ступеня определён порядок сборки изделий из этого задания.

Пусть изготовление поступившего заказа производится по описанной выше схеме. Тогда будем считать, что начало установки комплектующих из первого набора в собираемые изделия T_1 должно удовлетворять условию: $T_1 \geq \tilde{t}_1$, где \tilde{t}_1 – время завершения работ по изготовлению первого набора комплектующих с момента начала изготовления комплектующих.

Установка комплектующих из следующего набора в собираемые изделия начинается, когда завершится обработка всех комплектующих из этого набора и будет окончена установка всех комплектующих из предыдущего набора. Если установка комплектующих из предыдущего набора завершится позже завершения обработки комплектующих из следующего набора, то установка этих комплектующих в собираемые изделия может производиться без вынужденных простоев. В противном случае установка комплектующих может начаться только после простоя, вызванного ожиданием их доставки.

Время T_{jl} , когда можно начать сборку j -го изделия, чтобы из-за задержек при обработке комплектующих j -го набора не возникло вынужденных простоев во время сборки l -го изделия, можно определить из соотношения:

$$T_{jl} = T_{(j-1)l} + \max\{\tilde{t}_j - \tilde{t}_{j-1} - \hat{t}_{(j-1)l}, 0\}, j = 2, \dots, k_l, T_{1l} = \tilde{t}_1,$$

где \tilde{t}_j – время, прошедшее с начала обработки комплектующих до завершения обработки j -го набора комплектующих, $\hat{t}_{(j-1)l}$ – время установки комплектующих из $(j-1)$ -го набора в l -е изделие, T_{kl} – время, когда следует начать сборку l -го изделия, чтобы

из-за установки в него комплектующих и в том числе последнего для этого изделия k_l -го набора не возникло вынужденных простоев.

Таким образом, в результате построения расписания работ, связанных с изготовлением i -го изделия, вычисляется время T_{kl} с начала изготовления комплектующих, когда следует начать сборку l -го изделия, чтобы в её процессе не возникало вынужденных простоев из-за ожидания комплектующих. Определяются моменты \tilde{t}_{il} ($i = 1, \dots, k_l$) начала и завершения обработки комплектующих i -го набора ($i = 1, \dots, k_l$). После обработки комплектующих i -го набора при $i < k_l$ начинается обработка комплектующих $(i + 1)$ -го набора и установка комплектующих i -го набора в собираемое изделие. После изготовления комплектующих k_l -го набора производится их установка в l -е изделие, завершающая сборку этого изделия.

5. Заключение

Подход, использующий идеи агрегирования информации позволяет:

- строить расписания работ для предприятий, на которых имеется большое количество оборудования и обрабатывается большое количество комплектующих;
- распространить высокую эффективность и возможности методов теории расписаний на задачи построения расписаний большой размерности;
- разрабатывать методы построения расписаний работ для предприятий с конвейерной и стапельной сборкой выпускаемых изделий;
- строить расписания работ, по которым можно обосновано определять времена выполнения заказов, а также времена начала и завершения обработки каждой партии и отдельных комплектующих на всём оборудовании предприятия.

Список литературы

1. Pinedo M.L. Planning and Scheduling in Manufacturing and Services. Leipzig: Springer. 2014. Vol. 1.
2. Bruker P. Scheduling Algorithms. Leipzig: Springer. 2007. 371 p.
3. Лазарев А.А. Теория расписаний. Методы и алгоритмы. М.: ИПУ РАН, 2019. 407 с.
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. Хоботов Е.Н., Ермолова М.А. Агрегирование в задачах построения расписаний работ на предприятиях с конвейерной сборкой изделий // Автоматика и телемеханика. 2019. № 5. С. 118-130.