

МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И ПОСТРОЕНИЯ РАСПИСАНИЙ РАБОТ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СО СТАПЕЛЬНОЙ СБОРКОЙ ВЫПУСКАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ

Хоботов Е.Н.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65

e_khobotov@mail.ru

Аннотация: Рассматриваются задачи планирования и построения расписаний работ для предприятий со ступенчатой сборкой изделий. В состав таких предприятий может входить несколько производственных подразделений, в которых изготавливаются комплектующие, используемые для сборки на ступенях изготавливаемых изделий. Для их решения предлагаются методы построения расписаний работ.

Ключевые слова: методы агрегирования, ступенчатая сборка изделий, обработка деталей, комплектующие, расписание работ, обрабатываемое оборудование, производственное подразделение, моделирование, математические методы

Введение

В последние годы во многих промышленно развитых странах ведутся активные работы по повышению эффективности предприятий машиностроения. Важными методами, способствующими повышению эффективности в работе предприятий с дискретным характером производства, к которым относятся машиностроительные предприятия, являются методы теории расписаний [1-3]. Для производственных систем и участков использование таких методов позволяет заметно сокращать время обработки поступающих заданий.

Однако использование традиционных методов [1-3] для построения расписаний работ на предприятиях, в состав которых входит несколько производственных подразделений, имеющих в своём составе большое количество единиц производственного оборудования, и необходимость обработки большого количества комплектующих, не приводит к желаемым результатам из-за значительной размерности возникающих задач [4-6]. Из планов и расписаний работ отдельных подразделений, систем и участков, пусть и весьма удачных, не всегда удается сформировать даже удовлетворительные планы работы предприятий [4-6]. Кроме того, не всегда понятно, как в этом случае строить расписания работ отдельных подразделений, поскольку непонятно каким образом выбирать комплектующие для построения таких планов.

Для построения планов и расписаний работ на уровне предприятий в [4] был предложен подход, основанный на использовании методов агрегирования информации.

В [5] на основе этого подхода были разработаны алгоритмы построения расписаний работ на предприятиях с конвейерной сборкой выпускаемых изделий. Это позволило предложить другую организацию изготовления комплектующих, когда их обработка производится группами, которые в процессе обработки доставляют от одного производственного подразделения к другому. Такая организация изготовления комплектующих позволяет строить согласованные расписания работ для предприятий со многими производственными подразделениями, в которых имеется большое количество оборудования и обрабатывается значительное количество типов комплектующих. Под согласованными расписаниями работ или расписаниями на уровне предприятий здесь понимается расписание, в котором можно проследить обработку каждой комплектующей на всём используемом оборудовании различных подразделений предприятия от начала и до завершения её обработки.

Однако для предприятий, в которых сборка выпускаемых изделий производится на ступенях, такие методы построения расписаний работ не были разработаны, хотя подобных предприятий в промышленности достаточно много. К этим предприятиям относятся станкостроительные, судостроительные, многие авиастроительные и машиностроительные предприятия.

В данном докладе предлагаются новые принципы организации производства для предприятий, в которых выпускаемые изделия собираются на ступенях, а также методы планирования и построения расписаний работ для их изготовления на этих предприятиях. Показано, что в условиях предлагаемой организации производства с помощью разработанных методов удастся строить согласованные планы и расписания работ для производственных подразделений предприятия.

1 Постановка задачи построения расписаний

Рассмотрим более подробно постановку задачи построения расписаний работ на предприятии со ступенчатой сборкой выпускаемых изделий, для решения которой могут быть использованы предлагаемые методы.

Пусть предприятие с дискретным характером производства, имеет в своём составе R подразделений, в которых изготавливаются комплектующие для сборки изделий L типов. На предприятии имеется M ступеней различных типов. На ступенях каждого типа может производиться сборка только «своих» изделий.

Для любого производимого на предприятии изделия известны количество и типы входящих в его состав комплектующих. Часть комплектующих для производимых изделий изготавливается на предприятии, а часть может закупаться на стороне. Для каждой комплектующей любого изделия, производимого на предприятии, известны времена и последовательность обработки на всем используемом оборудовании предприятия, и времена переналадки этого оборудования для их обработки. Известны также последовательность и нормативы времени установки каждой комплектующей в собираемое изделие.

Изделия на ступенях 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. 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 ступенях комплектующие для них изготавливаются совместно в одних и тех же производственных подразделениях предприятия.

Для любого поступившего заказа, который может состоять только из производимых на предприятии изделий, известны типы и количество входящих в него изделий каждого типа N_l ($l = 1, \dots, L$).

В задаче требуется построить планы и расписание работ для предприятия так, чтобы поступивший заказ по возможности был выполнен за меньшее время. Желательно также, чтобы сборка каждого изделия производилась по возможности без перерывов на ожидание изготовления и доставки комплектующих.

Требование о проведении сборки изделий без перерывов на ожидание комплектующих обусловлено тем, что качество производимой продукции, как отмечалось на 2-й Международной конференции по гибким производственным системам, г. Магдебург, 1985 год, в значительной степени зависит от ритмичности производства.

2 Принципы построения расписаний работ в условиях ступенчатой сборки

Принципы построения расписаний работ в условиях ступенчатой сборки удобно сначала рассмотреть на примере сборки L изделий разных типов на одном ступене. Пусть в каждом собираемом изделии имеется \tilde{M}_l ($l = 1, \dots, L$) комплектующих, которые обрабатываются в R механообрабатывающих подразделениях предприятия. Известен состав оборудования в каждом из этих подразделений, а также последовательность и время обработки каждой комплектующей для собираемых изделий на всём используемом оборудовании в этих подразделениях. Известны также последовательность и время \hat{t}_{ii} установки каждой комплектующей детали i ($i = 1, \dots, \tilde{M}_l$) в собираемое изделие l .

Требуется так организовать обработку комплектующих, чтобы сборка каждого изделия производилась бы без перерывов на ожидание комплектующих, и время работ по изготовлению изделий было бы по возможности меньше.

Ясно, что в том случае, когда все комплектующие, входящие в состав изделия, будут изготовлены к началу его сборки, то сборка изделия может быть произведена без перерывов и ожидания комплектующих. Однако такая схема используется в основном для сборки узлов и агрегатов, когда в их состав входит относительно небольшое количество комплектующих. Кроме того, использование такой схемы может заметно увеличиваться время изготовления некоторых изделий. Если же изделие имеет в своём составе большое количество комплектующих, то их приходится изготавливать в процессе сборки изделия в соответствии со схемой, описанной в предыдущем пункте.

Тем не менее, во многих случаях приходится начинать сборку изделия с некоторой задержкой после начала обработки комплектующих. Правильно рассчитанная задержка позволяет обеспечивать сборку изделий без перерывов на ожидание комплектующих.

Для того чтобы ускорить обработку комплектующих, которые должны устанавливаться в собираемые изделия, целесообразно производить их обработку в соответствии с предварительно построенным для этого расписанием. Во многих случаях [1-4] использование удачно построенных расписаний работ позволяет заметно сокращать времена выполнения поступивших заказов.

Комплектующие, которые должны совместно обрабатываться в производственных подразделениях предприятия и затем устанавливаться в собираемые изделия, назовём набором комплектующих. Каждый из таких наборов должен включать только те комплектующие, которые в соответствии с порядком, определённым технологией сборки, могут быть установлены в изделие и позволят установить остальные комплектующие набора. В наборе не должны отсутствовать комплектующие, без которых невозможна установка каких-либо других комплектующих набора.

Комплектующие из каждого набора перед установкой в собираемое изделие хранятся в межоперационных складах, которые используются для этих целей при стапельной сборке. Вместимость таких складов обычно ограничена. Поэтому количество комплектующих, которое может быть включено в любой набор, должно быть тоже ограничено.

Минимальное количество наборов комплектующих K_l , которое может быть использовано для изготовления l -го изделия, определяется с помощью соотношения:

$$K_l = \left[\frac{\tilde{M}_l}{v} \right] + 1,$$

где $[a]$ – целая часть числа a , v – максимальное количество комплектующих, которые могут храниться на межоперационном складе при стапеле.

Пусть для сборки l -го изделия сформировано k_l ($k_l \geq K_l$) наборов комплектующих, каждый из которых включает n_{il} ($i = 1, \dots, k_l$) комплектующих в порядке их установки в изделие и может быть размещён на межоперационном складе при стапеле, т.е. все $n_{il} \leq v$.

Как уже отмечалось выше, для ускорения обработки комплектующих, устанавливаемых в собираемые изделия, целесообразно обрабатывать их в соответствии с предварительно построенным для этого расписанием.

Пусть время завершения обработки комплектующих, устанавливаемых в первую очередь в соответствии с построенным расписанием в l -е изделие равно \tilde{t}_{1l} . Тогда время начала сборки l -го изделия T_{1l} должно быть больше этого времени и удовлетворять условию: $T_{1l} \geq \tilde{t}_{1l}$.

Во время установки на стапеле в собираемое изделие подготовленных комплектующих в производственных подразделениях предприятия изготавливаются комплектующие для установки в изделие в следующую очередь.

Установка комплектующих из второго набора в собираемое изделие может начаться только тогда, когда завершится установка всех ранее обработанных комплектующих из первого набора в это изделие и будет завершена обработка комплектующих второго набора. Если установка комплектующих из первого набора завершится позже, чем будет завершена обработка комплектующих из второго набора, то установка комплектующих из второго набора в собираемое изделие может производиться без вынужденных простоев на ожидание доставки необходимых комплектующих.

Если установка комплектующих из первого набора будет завершена раньше, чем будет завершена обработка комплектующих второго, то установка комплектующих из второго набора в l -е изделие может начаться только после завершения их обработки и доставки на сборку, т.е. с вынужденным простоем для ожидания их доставки. Для того чтобы не было вынужденных простоев в процессе сборки изделия, сборку можно начинать позже.

Определим время T_{2l} , когда можно начать сборку изделия после начала обработки комплектующих, чтобы не ожидать поступления комплектующих из второго набора для установки их в собираемое изделие. Величину T_{2l} можно определить с помощью следующего соотношения:

$$T_{2l} = T_{1l} + \max \{ \tilde{t}_{2l} - \tilde{t}_{1l} - \hat{t}_{1l}, 0 \}, \quad T_{1l} = \tilde{t}_{1l},$$

где \tilde{t}_{2l} – время завершения обработки комплектующих из второго набора для l -го изделия, \hat{t}_{1l} – время установки комплектующих из первого набора в собираемое изделие l .

Время с начала обработки комплектующих l -го изделия T_{il} , которое определяет начало сборки этого изделия после установки в него комплектующих из i -го набора, чтобы не было вынужденных простоев, можно определить из соотношения:

$$T_{il} = T_{i-1l} + \max \{ \tilde{t}_{il} - \tilde{t}_{i-1l} - \hat{t}_{i-1l}, 0 \}, \quad i = 2, \dots, k_l,$$

где \tilde{t}_{il} – время, прошедшее с начала обработки комплектующих и до завершения обработки комплектующих из i -го набора, \hat{t}_{i-1l} – время установки комплектующих из $(i-1)$ -го набора в l -е изделие, \tilde{t}_{kl} – время, прошедшее с начала обработки комплектующих и до завершения обработки комплектующих последнего k_l -го набора, в который входит последняя M_l -я комплектующая l -го изделия.

Времена \tilde{t}_{il} ($i = 1, \dots, k_l$) определяются в результате построения расписания обработки комплектующих соответствующих наборов в производственных подразделениях предприятия. Методы построения расписаний обработки наборов комплектующих будут рассмотрены в следующем пункте.

Время последовательной установки комплектующих i -го набора в l -е изделие можно определить с использованием соотношения:

$$\hat{t}_{il} = \sum_{j \in J_{il}} \tau_{jil},$$

где τ_{jil} – время установки j -й комплектующей i -го набора в l -е изделие, J_{il} – множество комплектующих i -го набора l -го изделия, содержащее n_{il} элементов.

Таким образом, в результате построения расписания работ, связанных с изготовлением l -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 для ожидания комплектующих. Кроме того, 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 изделие, завершающая сборку l -го изделия. Кроме того, в результате построения расписания обработки комплектующих каждого набора может быть определено время начала и завершения обработки каждой комплектующей из этого набора на любом оборудовании предприятия.

Если возникновение вынужденных простоев допускается, то ни вычисления величин T_{kl} , ни задержек в сборке изделий не потребуется.

Если на стапеле изготавливаются последовательно L типов изделий и имеется возможность выбирать последовательность их изготовления, то можно выбрать такой порядок их сборки, при котором длительность их сборки будет меньшей.

Для этого удобно процесс изготовления изделий на стапеле, который выполняется в соответствии с описанной выше схемой, представить с использованием «каркасного» расписания [6] в виде, показанном на рис. 1.

В соответствии с этой схемой сначала изготавливается определённая часть комплектующих, которые в первую очередь устанавливаются в собираемое изделие. Затем одновременно с установкой изготовленных комплектующих в собираемое изделие производится обработка ещё не изготовленных, но необходимых для сборки комплектующих. После завершения обработки всех комплектующих производится их установка в собираемое изделие. Одновременно с их установкой может производиться обработка комплектующих для другого изделия.

Мех. обр.	$T_{1[1]}$	$T_{2[1]}$	$Z_{[2]}$	$T_{1[2]}$	$T_{2[2]}$	$T_{1[3]}$	$T_{2[3]}$	•••	•••
Сборка	$X_{[1]}$	$T_{2[1]}$	$\bar{T}_{[1]}$	$T_{2[2]}$	$\bar{T}_{[2]}$	$X_{[3]}$	$T_{2[3]}$	$\bar{T}_{[3]}$	•••

Рис.1. Диаграмма Ганта «каркасного» расписания изготовления на стапеле изделий.

Здесь через $T_{1[l]}$ обозначен «каркас» времени [6] обработки комплектующих перед сборкой изделия, которое будет собираться l -м по порядку, через $X_{[l]}$ – «каркас» времени, определяющий задержку сборки для изготовления первого набора комплектующих для изделия, собираемого l -м по порядку, через $T_{2[l]}$ – время, в течение которого изготавливаются комплектующие для собираемого l -м по порядку изделия и производится их установка в это изделие, через $\bar{T}_{[l]}$ – время, в течение которого в l -е по порядку сборки изделие устанавливаются последние уже изготовленные для его сборки комплектующие, через $Z_{[l]}$ – время задержки начала обработки комплектующих для собираемого l -м по порядку сборки изделия.

Для определения последовательности, в которой целесообразно производить сборку изделий на одном стапеле из имеющегося задания на изготовление L изделий, если порядок их сборки может быть выбран, можно определить с использованием теоремы, приведённой в [6].

Теорема. Пусть требуется изготовить L типов сложных узлов, агрегатов или изделий, сборка каждого из которых производится по описанной выше схеме, а времена $T_{1[l]}$, $\bar{T}_{[l]}$ и $T_{2[l]}$ для каждого изделия известны. Тогда при одновременной доступности всех работ и оборудования последовательность изготовления изделий, которая минимизирует максимальную длительность «каркасного» расписания изготовления всех узлов, агрегатов или изделий такова, что сумма

$$\sum_{l=1}^{L-1} \max \{T_{1[l+1]} - \bar{T}_{[l]}, 0\} + T_{1[1]}$$

достигает минимального значения.

Рассмотрим теперь случай, когда на предприятии, имеющем в своём составе R механообрабатывающих подразделений, сборка выпускаемой продукции производится на M стапелях различных типов. На первом стапеле собираются изделия L_1 типов, на втором стапеле – L_2 изделий других типов, на m -м стапеле – L_m типов изделий, а на M -м стапеле – L_M типов изделий. Известен состав оборудования во всех подразделениях предприятия, а также последовательность и время обработки каждой комплектующей для собираемых изделий на всём используемом оборудовании предприятия. Кроме того, известны времена переналадки этого оборудования для обработки соответствующих комплектующих. На каждом стапеле могут собираться только «свои» изделия и каждое изделие может собираться только на «своём» стапеле. Известны также последовательность и времена \hat{t}_{il}^m установки каждой комплектующей детали i в собираемое изделие l ($l = 1, \dots, L_m$) на m -м стапеле ($m = 1, \dots, M$).

Пусть на предприятие поступило производственное задание, в котором требуется изготовить определенное количество изделий различных типов, и для его выполнения требуется построить расписание работ по обработке комплектующих.

Будем считать, что на предприятии для каждого стапеля определён порядок сборки изделий из этого задания в соответствии с требованиями заказчиков и производственными возможностями предприятия, связанными с доставкой заготовок, из которых будут изготавливаться комплектующие.

Здесь так же, как и в случае одного стапеля, перед началом сборки каждого изделия изготавливается часть комплектующих, которая обычно устанавливается в изделие в соответствии с технологией его сборки в первую очередь. Для изделий, сборка которых продолжается, тоже должны изготавливаться комплектующие, которые будут устанавливаться в эти изделия в соответствии с технологией их сборки.

Комплектующие для изделий, одновременно собираемых на различных стапелях, как правило, приходится совместно изготавливать в одних и тех же производственных подразделениях предприятия перед установкой их в собираемые изделия. При этом установка комплектующих на одних собираемых изделиях может только начинаться, на других – продолжаться, а на третьих – завершаться.

Комплекующие одновременно собираемых изделий предлагается, как и в случае одного стапеля, объединять в наборы совместно обрабатываемых в производственных подразделениях предприятия комплекующих и строить для их обработки расписания работ.

Построение планов и расписаний работ для совместной обработки и обработка комплекующих сформированных наборов в производственных подразделениях предприятия в соответствии с построенными расписаниями будет способствовать заметному сокращению времени их изготовления.

При использовании методов построения расписаний работ, как и в случае одного стапеля, приходится считать, что комплекующие будут готовы к их установке в собираемые изделия только после завершения обработки всего изготавливаемого набора комплекующих согласно построенному расписанию.

Комплекующие, которые целесообразно включать в такие наборы, должны быть после обработки установлены в собираемые изделия в соответствии с порядком, заданным технологией сборки, до установки комплекующих из следующего набора. Хранение на складах стапелей комплекующих, обрабатываемых в составе одного набора, а устанавливаемых в собираемые изделия совместно с комплекующими других наборов считается нецелесообразным.

Если имеется возможность формировать группы одновременно собираемых на стапелях изделий, то целесообразно включать в каждую такую группу изделия, имеющие приблизительно одинаковое количество комплекующих и общее время установки их в изделия.

После завершения установки последней комплекующей в собираемое изделие и проведения контрольных операций соответствующий стапель освобождается от собранного изделия и на нём может начаться сборка следующего изделия. Поэтому часто могут возникать ситуации, когда для изделий, собираемых на одних стапелях, продолжается сборка изделий, а на других стапелях сборка изделий будет только начинаться.

Принципы построения расписаний работ по изготовлению комплекующих в условиях стапельной сборки будут рассмотрены в следующем пункте.

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

Установка комплекующих из следующего набора в собираемые изделия начинается, когда завершится обработка всех комплекующих из этого набора и будет окончена установка всех комплекующих из предыдущего набора.

Если установка комплекующих из предыдущего набора завершится позже, чем будет завершена обработка комплекующих из следующего набора, то установка комплекующих из следующего набора в собираемые изделия может производиться без вынужденных простоев на ожидание необходимых комплекующих.

Если установка комплекующих из предыдущего набора в какие-либо собираемые изделия будет завершена раньше, чем закончиться обработка комплекующих следующего набора, то сборка таких изделий должна прекратиться и сможет продолжиться только после завершения обработки требуемых комплекующих. В этом случае возникает вынужденный простой в сборке некоторых изделий из-за ожидания доставки необходимых комплекующих.

Для устранения возможности появления вынужденных простоев придётся задерживать начало сборки некоторых изделий без изменения времени начала обработки комплекующих для множества одновременно собираемых изделий.

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

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

где \tilde{t}_j – время, прошедшее с начала обработки комплекующих до завершения обработки j -го набора комплекующих $\hat{t}_{(j-1)l}$ – время установки комплекующих 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 комплекующих и в том числе последнего для этого изделия k -го набора не возникло вынужденных простоев.

Таким образом, в результате построения расписания работ, связанных с изготовлением l -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. Кроме того, в результате построения расписания обработки комплектующих каждого набора может быть определено время начала и завершения обработки каждой комплектующей из этого набора на любом используемом для её обработки оборудовании предприятия.

Если возникновение вынужденных простоев допускается, то в этом случае, как и в случае одного стапеля, ни вычисления величин T_{kl} , ни задержек в сборке изделий не потребуются.

3 Идеи и принципы агрегирования в создании методов построения расписаний работ

Рассмотрим идеи и принципы создания методов, предназначенных для построения расписаний работ на предприятиях с R производственными подразделениями и стапельной сборкой выпускаемых изделий.

Как уже отмечалось выше, планы и расписания работ для повышения эффективности предприятий следует строить для всех подразделений предприятия таким образом, чтобы они были согласованными между собой. Под согласованными планами и расписаниями работ здесь понимаются такие планы и расписания работ, когда по ним можно определить время обработки каждой детали на используемом оборудовании каждого типа, т.е. проследить обработку каждой партии деталей и отдельных деталей в этих партиях во всех подразделениях предприятия и на всём используемом для этого оборудовании предприятия от начала и до завершения обработки. Такие 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 методов агрегирования информации.

Необходимость использования этого подхода была вызвана непригодностью имеющихся методов построения расписаний работ для формирования таких планов и расписаний работ из-за очень большой размерности возникающих задач.

Идея агрегирования информации при построении расписаний на уровне предприятия состоит в формировании из комплектующих, подлежащих изготовлению, таких групп, в которых каждая деталь группы проходит при своей обработке производственные подразделения предприятия в одном порядке. При этом любая деталь группы может обрабатываться в каждом подразделении предприятия, где она изготавливается, по «своему» технологическому маршруту. Такие группы рассматриваются как обобщённые детали, производственные подразделения предприятия – как обобщённые станки, а задача построения расписания работ на предприятии – как задача построения расписания обработки обобщённых деталей на обобщённых станках.

Для каждой обобщённой детали известен маршрут поступления на обработку к соответствующим обобщённым станкам, т.е. известен маршрут поступления каждой сформированной группы на обработку в соответствующие подразделения предприятия. Это справедливо, поскольку в группу включались только те комплектующие, которые поступали на обработку в одной последовательности в подразделения предприятия и эта последовательность была известна.

При построении расписания обработки требуется минимизировать общее время изготовления таких групп комплектующих.

Для построения такого расписания должно быть определено время обработки каждой обобщённой детали на всех используемых обобщённых станках, т.е. время обработки каждой группы деталей на тех производственных подразделениях предприятия, где эта группа обрабатывается. Времена обработки могут определяться как с использованием традиционных методов построения расписаний [1-3], так и оценочных моделей [4].

В [4] подобное расписание изготовления групп деталей в подразделениях предприятия было названо «каркасным». Для построения «каркасных» расписаний могут использоваться традиционные

методы построения расписаний [1-3], поскольку размерность задач при агрегировании значительно снижается.

В [5], как уже отмечалось, на основе описанных выше идей и принципов были разработаны методы построения расписаний работ для предприятий, имеющих в своём составе несколько производственных подразделений и конвейеры, которые предназначались для сборки выпускаемых изделий.

С использованием этих методов удалось достаточно быстро строить расписания работ на предприятии, имеющем в своём составе более пяти производственных подразделений, в каждом из которых было более двух десятков единиц обрабатывающего оборудования. На предприятии обрабатывалось несколько сот тысяч типов деталей. Построенное «каркасное» расписание было «детализировано» [4-6] до обработки отдельных комплектующих на всём используемом для этого оборудовании.

Здесь, однако, следует отметить, что построение планов и расписаний работ для предприятий со стапельной сборкой выпускаемых изделий оказалось значительно более сложной задачей, чем построение расписаний работ для предприятий с конвейерной сборкой выпускаемых изделий.

Это связано с тем, что все группы деталей, сформированные для построения «каркасных» расписаний на предприятиях с конвейерной сборкой изделий, при изменении производственного задания по изготовлению освоенных изделий сохраняют типы включённых в них комплектующих. Меняются только размеры партий этих деталей в соответствующих группах, каждая из которых сохраняет типы включённых в неё комплектующих. Типы включённых в сформированные группы комплектующих могут меняться только в тех случаях, когда изменяется конструкция собираемых изделий, технология изготовления комплектующих изделия или производятся изменения в оборудовании производственных подразделений предприятия. В производственных подразделениях предприятия во время сборки партии каких-либо изделий на конвейере изготавливаются, как правило, только те комплектующие, из которых будут собираться изделия следующей партии. Поэтому типы комплектующих, включённых в сформированные группы, могут не меняться, если не производится модернизация собираемых изделий или предприятия, и для изделий каждого типа могут независимо формироваться свои группы.

Как уже отмечалось выше, изделия на предприятиях со стапельной сборкой изготавливаются 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. 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.

На подобных предприятиях, как правило, имеется несколько ступеней, на которых одновременно собираются различные изделия, время сборки которых часто бывает разным. Для сборки этих изделий в одних и тех же подразделениях предприятия либо непосредственно перед сборкой, либо во время их сборки изготавливаются комплектующие, количество которых может быть весьма значительным. Причём заранее определить количество и типы комплектующих, которые следует изготавливать в периодически формируемых наборах комплектующих для сборки одновременно собираемых на ступенях изделий очень сложно.

Для построения планов и расписаний работ по обработке каждого набора комплектующих для сборки изделий даже на предприятиях с относительно небольшим количеством производственных подразделений придётся использовать методы агрегирования, поскольку размерность возникающих задач может оказаться значительной.

Формирование групп комплектующих для построения «каркасных» расписаний по обработке комплектующих даже для одного этапа сборки изделий по описанным выше правилам и в [4-5] потребует не очень малого времени. Каждый раз формировать для этапов сборки изделий из таких, постоянно меняющихся комплектующих группы для построения «каркасных» расписаний сложно, а для одновременной сборки сложных изделий будет требоваться весьма значительное время. Поэтому предлагается комплектующие всех типов освоенных и выпускаемых изделий предварительно разделить на такие группы. В каждую такую группу могут входить комплектующие различных изделий, но все они по технологии изготовления должны в одном порядке поступать на обработку в производственные подразделения предприятия. Тогда при построении «каркасных» расписаний формирование таких групп из комплектующих разных изделий, которые требуется обработать в

течение одного интервала времени, не вызовет каких-либо затруднений и заметных затрат времени, поскольку номер группы после предварительного разделения на них изготавливаемых на предприятии комплектующих может быть внесён в их исходные данные.

Это заметно упростит построение расписаний обработки комплектующих разных изделий, которые требуется обрабатывать для сборки изделий из производственного задания.

Построенные «каркасные» расписания, как и в случае «каркасных» расписаний на предприятиях с конвейерной сборкой изделий могут быть «детализованы» до расписания обработки отдельных комплектующих на всем используемом для этого оборудовании.

В данной работе, как уже отмечалось выше, обработку комплектующих предлагается производить группами, в каждую из которых включаются детали, проходящие при своей обработке производственные подразделения предприятия в одном порядке. Такая организация обработки комплектующих позволяет, как и на предприятиях с конвейерной сборкой выпускаемых изделий [5], не только строить расписания работ на уровне предприятий, но и организовывать эффективную транспортировку комплектующих между производственными подразделениями в процессе их изготовления. В [5] приводится алгоритм построения расписаний транспортировки комплектующих между производственными подразделениями.

Заключение

Идеи агрегирования информации, предложенные для построения расписаний работ в [4], оказались весьма продуктивными.

С помощью этих идей удалось предложить другую организацию изготовления комплектующих не только для предприятий, на которых сборка выпускаемой продукции производится на конвейерах [5], но также и для предприятий со стапельной сборкой выпускаемых изделий.

Для предприятий со стапельной сборкой выпускаемых изделий использование идей агрегирования информации позволяет:

- разработать методы построения расписаний обработки комплектующих и сборки выпускаемых изделий на уровне предприятий;
- организовать эффективную доставку комплектующих между производственными подразделениями;
- детализировать «каркасные» расписания на уровне предприятий до расписаний обработки отдельных комплектующих на всем используемом оборудовании.

Литература

1. *Pinedo M.L.* Planning and Scheduling in Manufacturing and Services. Leipzig: Springer. Vol. 1 2014.
2. *Brucker P.* Scheduling Algorithms. Leipzig: Springer. 2007. 371 p.
3. *Зак Ю.А.* Прикладные задачи теории расписаний и маршрутизации перевозок. М.: Книжн. дом «Либроком», 2011.
4. *Хоботов Е.Н.* О некоторых моделях и методах решения задач планирования в дискретных производственных системах // *АиТ.* 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.
6. *Сидоренко А.М., Хоботов Е.Н.* Агрегирование при планировании работ на машиностроительных предприятиях // *Теория и системы управления.* 2013. № 5. С. 132-144.