



# ВЫБОР ПОРЯДКА СБОРКИ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РАБОТ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ С ДИСКРЕТНЫМ ХАРАКТЕРОМ ПРОИЗВОДСТВА

Е.А. Ларина, А.М. Сидоренко, Е.Н. Хоботов

Рассмотрены задачи планирования и построения расписаний работ на предприятиях с дискретным характером производства, на которых производится обработка деталей и сборка из них узлов, агрегатов и готовой продукции. Предложены методы их решения, использующие идею агрегирования информации, показана их высокая эффективность.

**Ключевые слова:** теория расписаний, управление, планирование, агрегирование информации, сборка узлов, изделия машиностроения, производственная программа.

## ВВЕДЕНИЕ

Для планирования работ на уровне отдельных участков и производственных систем разработано немало методов и программных продуктов [1–3], позволяющих достаточно быстро и с приемлемой точностью строить весьма эффективные планы работ.

Однако на основе таких методов не удается строить даже удовлетворительные планы работ на уровне предприятия [4–6]. Это объясняется большой размерностью и сложной структурой возникающих задач. Например, на машиностроительных предприятиях может быть значительное количество цехов, производственных участков и обрабатываться до нескольких миллионов деталей.

В работе [4] для построения планов и расписаний работ на уровне предприятия был предложен подход, основанный на применении методов агрегирования информации, который затем развивался в работах [5, 6]. Однако в этих работах не рассматривались проблемы построения расписаний, когда наряду с обработкой комплектующих осуществляется промежуточная сборка узлов и агрегатов. Наличие промежуточных сборок узлов и агрегатов, необходимость определения порядка их сборки и порядка сборки изделий значительно усложняют задачу построения расписания работ и требуют для ее решения разработки специальных методов.

В данной работе приводятся примеры, показывающие, что для построения планов и распи-

саний, позволяющих повысить эффективность работы предприятий, необходимо не только планировать и строить расписание обработки комплектующих деталей, но и правильно определять последовательность сборки комплектующих их узлов и агрегатов. Предлагаются также методы построения планов и расписаний работ, когда наряду с механообработкой деталей производится сборка из них узлов и агрегатов разных типов и последующая сборка готовой продукции.

## 1. ВОПРОСЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Пусть на предприятии с дискретным характером производства имеются механообрабатывающие цехи, в которых обрабатываются комплектующие детали, и механосборочные цеха, в которых наряду с механообработкой деталей производится сборка из них узлов и агрегатов разных типов. Узлы собираются на рабочих местах из комплектующих деталей, которые обрабатываются как в данном цехе, так и в других цехах предприятия или закупаются на стороне. Обычно сборка узлов каждого типа начинается, когда все комплектующие детали узлов соответствующего типа уже изготовлены.

Для деталей каждого типа из любого изделия известны размеры обрабатываемой партии, времена и последовательность обработки на всем используемом оборудовании цеха, а также времена переналадки этого оборудования для их обработки. Для узла и агрегата каждого типа известны раз-

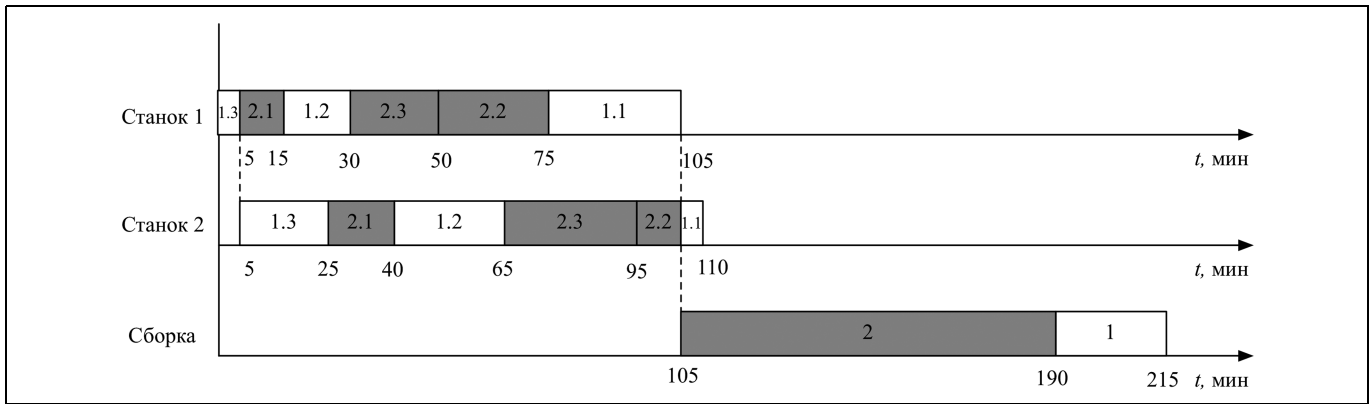


Рис. 1. Диаграмма Ганта при оптимальной последовательности обработки комплектующих деталей

меры собираемой партии, комплектующие его детали, узлы и агрегаты, время и порядок сборки, а также время переналадки оборудования участка для сборки.

Для заданной производственной программы, в которую входит изготовление определенных количества и типов комплектующих деталей, узлов и агрегатов, требуется построить план и расписание работ механосборочного цеха по обработке комплектующих деталей и сборке узлов и агрегатов. Для построения расписания работ требуется определить порядок и времена начала и окончания обработки каждой детали на всем обрабатывающем оборудовании, порядок и времена начала и окончания сборки каждого узла и агрегата. Порядок обработки комплектующих деталей и сборки узлов и агрегатов требуется выбрать таким образом, чтобы по возможности сократить общее время выполнения производственной программы.

Кроме того, как оказалось, от порядка промежуточных сборок узлов и агрегатов, а также от порядка сборки изделий существенно зависит длительность выполнения производственной программы предприятия. Действительно, рассмотрим пример, когда механосборочный цех состоит из двух участков.

Номер узла	Номер детали	Время обработки детали на станке 1, мин	Время обработки детали на станке 2, мин	Время сборки узла, мин
1	1.1	30	5	25
	1.2	15	25	
	1.3	5	20	
2	2.1	10	15	85
	2.2	25	10	
	2.3	20	30	

На одном участке обрабатываются комплектующие детали, а на втором собираются из них узлы двух типов. Сборка узла может начаться только после изготовления для него всех комплектующих деталей. Каждое изделие состоит из трех деталей, которые в одной последовательности обрабатываются на двух станках, входящих в состав обрабатывающего участка. Такая конфигурация участка и технология обработки деталей, обрабатываемых в одной последовательности на двух станках, позволяет строить оптимальные расписания обработки деталей, поскольку условия обработки в этом случае соответствуют условиям задачи Джонсона [2, 3, 7, 8]. Времена обработки всех деталей и сборки из них изделий приведены в таблице.

Рассмотрим различные порядки обработки деталей и сборки изделий в условиях данного примера.

Пусть порядок обработки деталей для всех узлов определен по теореме Джонсона и является оптимальным, а сборка узлов начинается сразу по мере завершения обработки всех комплектующих для одного из узлов. Из диаграммы Ганта, представленной на рис. 1, видно, что общее время обработки деталей составляет 110 мин и является минимальным, а общее время изготовления узлов в этом случае составляет 215 мин.

Рассмотрим другой порядок обработки, когда сначала обрабатываются комплектующие детали второго узла, а затем первого. Комплектующие детали для каждого узла обрабатываются по порядку, определяемому в соответствии с условиями оптимальности Джонсона. Сборка изделий начинается сразу же по мере завершения обработки всех комплектующих для собираемого изделия. Из диаграммы Ганта для этого случая (рис. 2) видно, что время обработки комплектующих деталей увеличилось и составляет 120 мин, но общее время изготовления изделий уменьшилось до 180 мин.

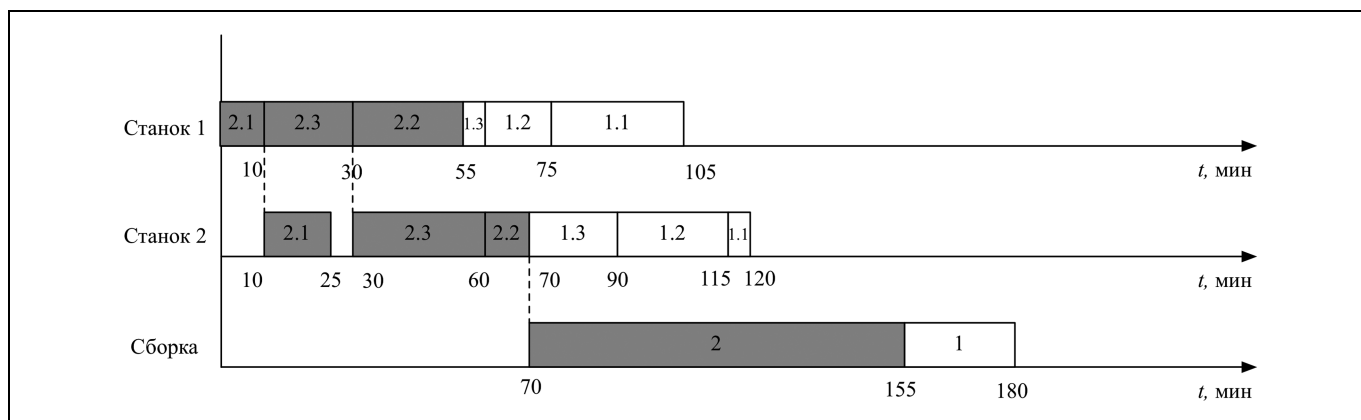


Рис. 2. Диаграмма Ганта при оптимальной последовательности сборки изделий

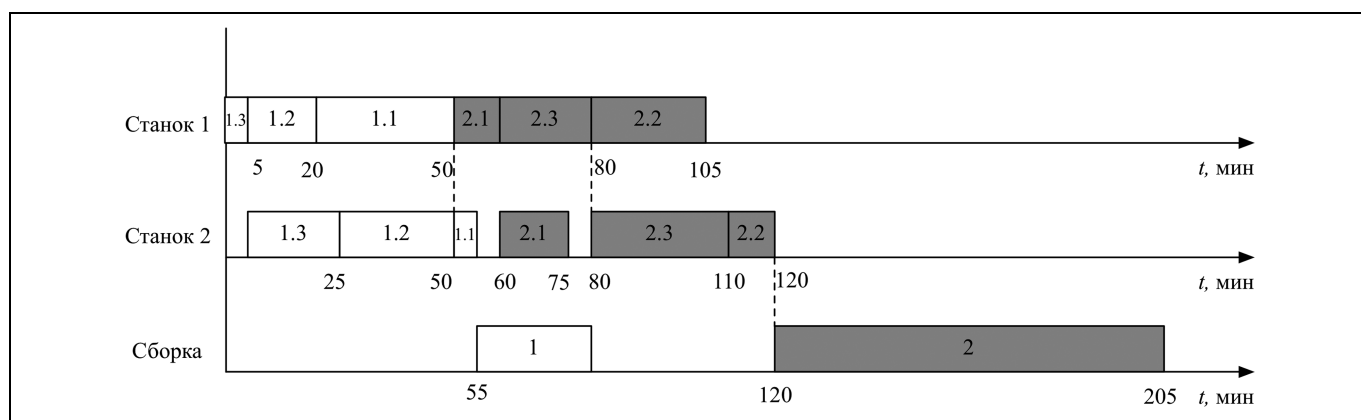


Рис. 3. Диаграмма Ганта при сборке первого и затем второго узлов с оптимальной последовательностью обработки комплектующих деталей

Еще один порядок обработки возникает, когда раньше начинают обрабатываться комплектующие детали первого узла, а затем второго. Комплектующие детали для каждого узла обрабатываются по порядку, определяемому в соответствии с условиями оптимальности Джонсона. Сборка узлов начинается сразу же по мере завершения обработки всех комплектующих для собираемого узла. Из диаграммы Ганта для этого случая (рис. 3) видно, что время обработки комплектующих деталей оказалось равным 120 мин, но общее время изготовления узлов увеличилось до 205 мин и стало больше, чем в предыдущем случае.

Как показывает данный пример, весьма существенное влияние на общее время изготовления узлов оказывает порядок их сборки. По аналогии с этим примером могут быть построены примеры, демонстрирующие значительное влияние порядка сборки на время изготовления агрегатов, готовых изделий и даже на время выполнения всей производственной программы. Разумный выбор поряд-

ка обработки комплектующих деталей и сборки узлов, агрегатов и готовых изделий позволяет на 10–30 % сократить общее время выполнения производственной программы предприятия.

## 2. ПРИНЦИПЫ АГРЕГИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ РАСПИСАНИЙ НА УРОВНЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

Для определения порядка сборки узлов, агрегатов и готовых изделий, включенных в производственную программу, могут быть построены алгоритмы, основанные на агрегированном представлении информации.

Идея агрегирования информации при построении расписаний на уровне предприятия состоит в формировании групп деталей, в которых каждая деталь группы проходит при своей обработке производственные подразделения предприятия в одном порядке [4–6]. Каждая деталь группы в

любом производственном подразделении, где эта группа обрабатывается, может иметь «свой» технологический маршрут обработки, т. е. в производственных подразделениях детали группы могут обрабатываться по разным маршрутам. Такие группы рассматриваются как обобщенные детали, а производственные подразделения предприятия — как обобщенные станки. Времена обработки каждой группы деталей во всех производственных подразделениях, где эта группа обрабатывается, могут быть определены как с помощью традиционных методов построения расписаний работ [2, 3], так и с помощью оценочных моделей [4].

Затем с помощью традиционных методов построения расписаний работ может быть построено расписание обработки обобщенных деталей на обобщенных станках, т. е. обработки сформированных групп деталей в производственных подразделениях предприятия. Такое расписание названо «каркасным» [4].

Построение «каркасных» расписаний не вызывает значительных затруднений, поскольку число групп деталей и производственных подразделений на предприятии, как правило, небольшое. Если же на некоторых предприятиях число подобных групп деталей или производственных подразделений окажется слишком большим, то в качестве обобщенных станков могут быть выбраны группы производственных подразделений. Такой прием позволяет существенно сократить размерность задачи построения «каркасных» расписаний работы [4]. Однако при этом увеличивается время «развертывания» «каркасного» расписания, когда требуется на его основе получить расписания обработки отдельных деталей.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СБОРКИ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ

Рассмотрим задачу определения последовательности сборки узлов и найдем условия, позволяющие формировать последовательность их сборки, обладающую в смысле агрегированного представления расписаний работ свойством оптимальности.

Пусть нужно собрать несколько типов узлов, состоящих из не очень большого числа комплектующих деталей, и сборку таких узлов начинают, когда все комплектующие для этого узла уже обработаны. Известны времена сборки каждого узла, а также времена обработки и переналадки используемого оборудования для каждой комплектующей детали любого узла в соответствии с последовательностью их обработки. Все используемое оборудование и заготовки комплектующих дета-

лей для всех узлов в начальный момент доступны для работы.

Требуется определить последовательность изготовления узлов, при которой время их изготовления будет минимальным.

Решение данной задачи вызывает значительные затруднения, поскольку при различных последовательностях сборки узлов времена обработки комплектующих деталей для одного и того же узла могут быть разными.

Кроме того, практически на всех промышленных предприятиях постоянно возникают ситуации, когда на одних единицах оборудования цехов и участков заканчивается обработка комплектующих для одних узлов и изделий, и на освободившихся единицах оборудования уже ведется обработка комплектующих для других узлов или изделий. Поэтому весьма сложно, а часто и невозможно выделить моменты, когда заканчивается обработка комплектующих для одного узла и начнется обработка комплектующих для других узлов.

Весьма хорошие результаты в этом случае можно получить путем агрегирования информации и «каркасного» представления расписаний. Так, «каркасное» расписание изготовления первого узла из приведенного примера с данными из таблицы может быть представлено в виде, показанном на рис. 4, а, а второго узла — на рис. 4, б.

Расписание, в котором в качестве «каркасов» рассматриваются процессы изготовления комплектующих и сборки из них узлов, агрегатов или выпускаемых изделий, назовем «каркасным» расписанием изготовления узлов, агрегатов или выпускаемых изделий соответственно. Время, которое требуется для изготовления комплектующих узла, агрегата или выпускаемого изделия, от начала работ в нулевой момент и до их завершения, будем называть «каркасным» временем изготовления комплектующих. Для первого узла «каркасное» время изготовления комплектующих, полученное для расписания, представленного на рис. 4, а, равно 55 мин, а для второго узла время изготовления комплектующих, полученное для расписания, представленного на рис. 4, б, будет равно 70 мин. Для других расписаний эти времена могут быть другими.

Тогда условия, определяющие порядок сборки узлов, гарантирующий минимальную длительность «каркасного» расписания их изготовления, могут быть сформулированы следующим образом.

**Теорема.** Пусть требуется изготовить несколько типов узлов, сборка каждого из которых начинается после обработки всех комплектующих деталей для данного узла. Перед сборкой каждого узла обрабатываются только комплектующие детали этого узла.

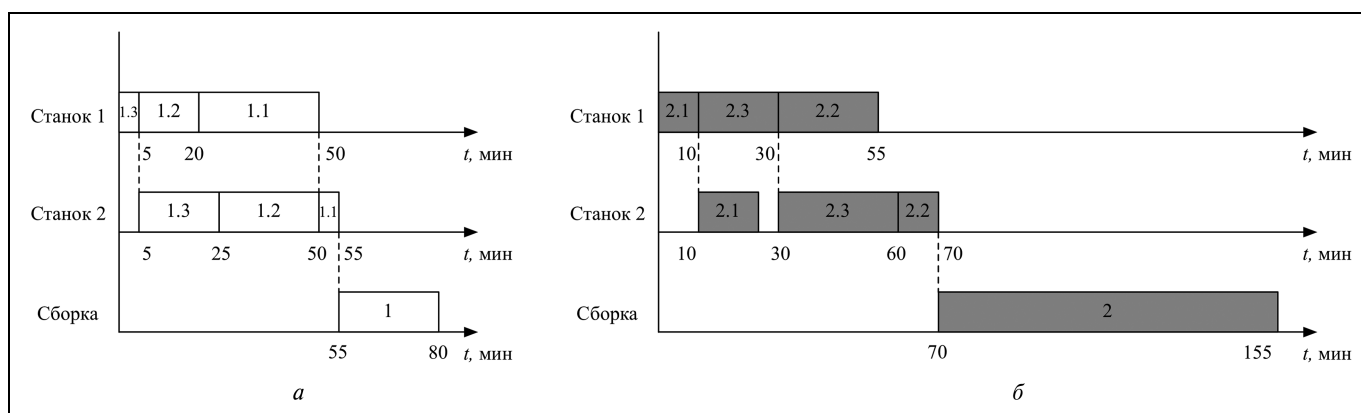


Рис. 4. Диаграмма Ганта оптимального расписания изготовления первого (а) и второго (б) узлов

Тогда при одновременной доступности всех работ «каркасное» расписание, которое минимизирует общее время изготовления всех узлов, таково, что сборка  $j$ -го по порядку изготовления узла предшествует сборке узла  $j + 1$ , если  $\min(A_{[j]}, B_{[j+1]}) \leq \min(A_{[j+1]}, B_{[j]})$  и  $A_{[j+1]} \neq B_{[j+1]}$ .

Если  $A_{j+1} = B_{j+1}$  и имеется  $k$ ,  $k = 1, \dots, n$ , следующих за ней работ по изготовлению узлов, для которых также выполняются равенства  $A_{j+k+1} = B_{j+k+1}$ , то для этих работ, кроме выполнения условий  $\min(A_{j+k}, B_{j+k+1}) \leq \min(A_{j+k+1}, B_{j+k})$  для всех  $k = 0, \dots, n$ , должно также выполняться условие  $\min(A_j, B_{j+n+1}) \leq \min(A_{j+n+1}, B_j)$ , где через  $j + n + 1$  обозначена первая работа, следующая за работой  $j + n$ , и для которой  $A_{j+n+1} \neq B_{j+n+1}$ .

Здесь  $A_j$  — время изготовления «каркаса» комплектующих деталей  $j$ -го узла,  $B_j$  — время сборки  $j$ -го узла,  $A_{[j]}$  — время изготовления «каркаса» комплектующих деталей  $j$ -го по порядку изготовления узла,  $B_{[j]}$  — время сборки  $j$ -го по порядку изготовления узла.

Доказательство данной теоремы аналогично доказательству теоремы Джонсона [7, 8] и здесь не приводится.

В соответствии с этой теоремой получаем оптимальное «каркасное» расписание изготовления узлов (рис. 5), для которых «каркасы» изготовления комплектующих деталей сформированы на основе расписания обработки их комплектующих, представленных на рис. 4.

В данном случае с помощью условий оптимальности, сформулированных в теореме, удалось определить оптимальное расписание изготовления узлов. Однако отметим, что с помощью таких условий оптимальности, хотя и удастся получать хорошие расписания изготовления узлов, но после «склеивания каркасных» расписаний обработки

комплектующих деталей могут возникать ситуации, когда время изготовления узлов оказывается меньшим при других порядках их сборки.

Под «склеиванием каркасных» расписаний здесь понимается построение такого расписания, в котором использование оборудования для обработки комплектующих деталей следующего собираемого узла начинается сразу после его освобождения от обработки деталей для ранее изготавливаемого узла. Порядок сборки узлов и обработки комплектующих деталей для ранее изготавливаемого узла при «склеивании каркасных» расписаний не меняется.

Так, после «склеивания каркасного» расписания, представленного на рис. 5, будет получено расписание, которое представлено на рис. 2 и в соответствии с которым обработка деталей первого узла на первом станке начинается в момент 55 мин (см. рис. 2), а не 70 мин, как в «каркасном» расписании (см. рис. 5).

Возникновение ситуаций, когда после «склеивания каркасных» расписаний время изготовления узлов оказывается меньшим при других порядках их сборки, объясняется использованием освобожденного оборудования.

Благодаря использованию освобожденного оборудования при «склеивании каркасных» распи-

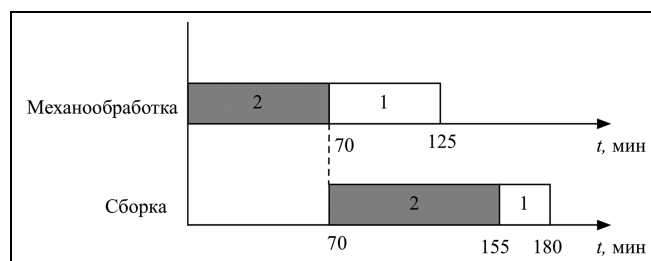


Рис. 5. Диаграмма Ганта каркасного расписания для оптимального порядка сборки узлов, полученного на основе теоремы



саний время, которое в «склеенном» расписании требуется для изготовления узлов, не может увеличиться, а может только сократиться. Поэтому «каркасные» расписания позволяют получать весьма хорошие оценки «сверху» оптимального времени изготовления узлов, агрегатов и выпускаемых изделий.

Оценка «снизу» времени изготовления производственной программы может быть получена почти по аналогии с тем, как это делалось в работе [7] для получения нижней оценки времени обработки деталей на производственном участке. Однако при получении такой оценки в данном случае необходимо учитывать сборку узлов и агрегатов, входящих в производимые изделия, а также сборку самих изделий.

Рассмотрим основные принципы и соотношения, позволяющие получить такую оценку. Сначала вычисляется сумма длительностей всех работ по обработке каждой детали на всем используемом для этого оборудовании предприятия. Это время вычисляется в соответствии с соотношением

$$\tilde{T}_{il} = \sum_{k \in K_i} \sum_{j \in J_{ik}} \tilde{n}_{ij} t_{il}^{jk}, \quad \tilde{n}_{ij} = n_{il}/m_{jk},$$

где  $\tilde{T}_{il}$  — сумма длительностей всех работ по обработке  $i$ -х деталей  $l$ -го изделия на всем используемом для этого оборудовании предприятия;  $K_i$  — множество цехов, в которых обрабатываются детали  $i$ -го типа для  $l$ -го изделия;  $J_{ik}$  — множество станков, используемых на  $k$ -м производственном участке для обработки  $i$ -х деталей  $l$ -го изделия;  $n_{il}$  — число деталей  $i$ -го типа, которые входят в состав  $l$ -го изделия, т. е. размер партии деталей  $i$ -го типа;  $m_{jk}$  — число станков  $j$ -го типа, которое имеется на  $k$ -м производственном участке и может быть использовано для изготовления деталей  $i$ -го типа;  $t_{il}^{jk}$  — время обработки  $i$ -х деталей  $j$ -го изделия на  $j$ -м станке  $k$ -го производственного участка.

Если  $i$ -я деталь  $l$ -го изделия входит в состав  $\nu$ -го узла,  $s$ -го агрегата и т. д., а также входит в состав собираемого изделия, то ко времени  $\tilde{T}_{il}$  необходимо прибавлять времена сборок, т. е.

$$T_{il} = \tilde{T}_{il} + \sum_{s \in G_{il}} \tau_s + \hat{\tau}_{il},$$

где  $G_{il}$  — множество узлов и агрегатов, в состав которых входят  $i$ -е детали  $l$ -го изделия;  $\tau_s$  — время, затрачиваемое на сборку  $s$ -го узла или агрегата, в состав которых входят  $i$ -е детали  $l$ -го изделия,  $\hat{\tau}_{il}$  — время, затрачиваемое на сборку  $l$ -го изделия от начала установки в него  $i$ -й детали или узла, или

агрегата, содержащего  $i$ -ю деталь, и до завершения сборки  $l$ -го изделия.

Из этих времен выбирается максимальная величина  $\bar{T} = \max_{i,l} \{T_{il}\}$ , к которой прибавляются времена сборок остальных изделий, если изделия собираются последовательно. В случае других правил сборки изделий, прибавляемое время рассчитывается с учетом этих правил. После этого определяется сумма длительностей работ  $T_{jk}$ , выполняемых на каждом обрабатывающем оборудовании предприятия в соответствии с соотношением

$$T_{jk} = \sum_{l=1}^L \sum_{i \in I_{ljk}} n_{ik} t_{il}^{jk},$$

и из этих времен выбирается максимальная величина

$$\hat{T} = \max_{j,k} \{T_{jk}\} = \max_{j,k} \left\{ \sum_{l=1}^L \sum_{i \in I_{ljk}} n_{ik} t_{il}^{jk} \right\},$$

где  $L$  — число изделий, включенных в производственную программу предприятия;  $I_{ljk}$  — множество деталей  $l$ -го изделия, которые обрабатываются на  $j$ -м оборудовании  $k$ -го производственного участка.

Из величин  $\bar{T}$  и  $\hat{T}$  выбирается максимальная, которая и служит оценкой «снизу» на время выполнения производственной программы.

Отметим, что сформулированная данная теорема позволяет определять порядок изготовления агрегатов различных уровней сборки, но обладающих тем свойством, что сборка каждого из них начинается после обработки всех комплектующих деталей, сборки узлов и агрегатов меньшего уровня сборки.

Под уровнем сборки агрегата здесь понимается следующее. Если агрегат собирается из комплектующих деталей и узлов, то это агрегат первого уровня сборки. Когда агрегат собирается из комплектующих деталей, узлов и агрегатов первого уровня сборки, то такой агрегат относится ко второму уровню сборки и т. д. Сборка агрегатов каждого типа начинается, когда все комплектующие детали, узлы и агрегаты, необходимые для сборки агрегата соответствующего типа, уже изготовлены. В этом случае время, которое требуется для изготовления комплектующих деталей, узлов и агрегатов меньшего уровня сборки, принимается за  $A_j$ , а время сборки агрегата — за  $B_j$ . После определения величин  $A_j$  для всех собираемых агрегатов, для которых требуется выбрать порядок сборки, в соответствии с теоремой строится наилучшее «каркасное» расписание, которое минимизирует общее



время изготовления агрегатов. Времена сборки  $V_j$  для всех агрегатов известны.

Для определения последовательности сборки сложных узлов, агрегатов и выпускаемых изделий, которые начинают собирать, когда еще не все их комплектующие изготовлены, требуется разработка специальных методов.

Для проверки работоспособности предложенных алгоритмов был разработан программный прототип системы планирования, вычислительные эксперименты на котором показали достаточно высокую эффективность этих алгоритмов. Так, для задачи построения расписания, когда изготавливается 20 изделий, состоящих из 788 агрегатов первого уровня, 254 агрегатов второго уровня, 84 агрегатов третьего уровня, с общим числом узлов 2 354 ед. и общим числом комплектующих деталей 105 058 ед., время расчета на компьютере с четырехядерным процессором составило 17 мин 59 с. Сборка изделий может производиться последовательно. При построении расписания работ было просчитано 815 906 операций обработки и сборки. Оценка «сверху» времени выполнения этой производственной программы, полученная в результате построения «каркасного» расписания, равна 509 ч, а оценка «снизу» — 331 ч.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Идея агрегирования информации [4] оказалась весьма плодотворной при создании на уровне предприятия методов построения расписаний изготовления комплектующих и определения порядка изготовления узлов и агрегатов. В результате ее учета определены условия, позволяющие на уровне «каркасных» расписаний выбирать оптимальный порядок изготовления узлов и агрегатов различных

уровней сборки. Вычислительные эксперименты подтвердили достаточно высокую эффективность предложенных методов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Jain A.S., Meeran S. Theory and Methodology. Deterministic job-shop scheduling: Past, present and future // European Journal of Operational Research. — 1999. — Vol. 113, N 2. — P. 390—434.
2. Зак Ю.А. Прикладные задачи теории расписаний и маршрутизации перевозок. — М.: Книжный дом «Либроком», 2011. — 393 с.
3. Bruker P. Scheduling Algorithms. — Leipzig: Springer, 2007. — 371 p.
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. Планирование производств с параллельной сборкой изделий // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. — 2009. — № 3. — С. 100—109.
6. Куняев М.С., Фирсов А.С., Хоботов Е.Н. Об одном подходе к построению системы планирования работ на машиностроительном предприятии // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. — 2009. — № 4. — С. 91—102.
7. Конвей Р.В., Максвелл В.А., Миллер Л.В. Теория расписаний. — М.: Наука, 1975. — 359 с.
8. Хоботов Е.Н. Некоторые замечания к теореме Джонсона // Автоматика и телемеханика. — 1995. — № 10. — С. 186—187.

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.Н. Бурковым.

Александр Михайлович Сидоренко — аспирант,  
✉ sidorlutiy@gmail.com,

Екатерина Александровна Ларина — магистр,  
✉ larinakatia@yandex.ru,

Евгений Николаевич Хоботов — д-р техн. наук, профессор,  
☎ (499) 263-61-70, ✉ e\_khobotov@mail.ru,

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва.

*Новая книга*

**Зак Ю.А. Распределение множества заданий и определение очередностей их выполнения на параллельных машинах методами динамического программирования.** — Saarbruecken: Lambert Academic Publishing, 2013. — 120 с. (ISBN 978-3-659-36082-4).

Рассмотрены математические модели, свойства допустимых и оптимальных планов и алгоритмы точных и приближенных методов решения задач построения расписаний выполнения заданий на параллельных машинах, имеющих много практических приложений в календарном планировании производства, в системах технического и сервисного обслуживания, а также в организации многопроцессорных методов параллельных вычислений. Существенная особенность рассматриваемых задач заключается в учете ограничений на времена начала и завершения выполнения заданий и использования машин, а также в рассмотрении сформулированных задач в условиях различных критериев оптимальности, стохастических и нечетких данных. Предложены математические модели, точные и приближенные методы построения расписаний для параллельно работающих систем машин.

Для специалистов в области календарного планирования производства и логистики и студентов соответствующих специальностей в качестве учебного пособия.

**Юрий Александрович Зак** — специалист по теории расписаний, исследованию операций, математическому моделированию и теории оптимальных решений. Автор более 200 публикаций, среди которых 10 книг; URL: www.optimum.de.