

УДК 658.513

А. М. Сидоренко, Е. Н. Хоботов

## ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СБОРКОЙ ИЗДЕЛИЙ

*Рассмотрены задачи планирования работы машиностроительных предприятий, состоящих из нескольких производственных систем и участков для обработки деталей, а также сборочного цеха с участками сборки. Предложены методы построения согласованных планов работ, связанных с обработкой комплектующих деталей и сборкой из них готовой продукции. При необходимости планы могут быть детализованы до расписания обработки отдельных деталей.*

**Ключевые слова:** планирование, теория расписаний, оптимизация, сборка изделий, линейное программирование.

В настоящее время большое внимание уделяется задачам планирования и построения расписаний работ, поскольку их решение позволяет значительно повысить эффективность производства. Для планирования работ на отдельных участках и в производственных системах разработано большое число методов и программных продуктов.

Однако даже оптимальные планы работ участка не гарантируют эффективной работы предприятия в целом. Для повышения эффективности предприятия необходимо строить согласованные планы работы всех его производственных подразделений, включая сборочные. Использование существующих методов и созданных на их основе программных продуктов весьма затруднено из-за большой размерности возникающих задач, а также из-за проблем согласования планов работ по обработке деталей и сборке из них готовой продукции.

В статье [1] рассмотрен один из возможных подходов к построению согласованных планов работ предприятия, позволяющий строить такие планы путем агрегирования информации. Вместе с тем существуют производства с характерными особенностями, позволяющими более эффективно использовать предложенный подход к планированию их работы. Одним из таких типов производств являются производства с параллельной сборкой изделий, на которых одновременно собирается несколько единиц готовой продукции, в том числе и разных видов, например, в станкостроительной, авиационной и судостроительной промышленности.

В настоящей работе предложены методы построения планов и расписаний работ для предприятий, на которых осуществляется параллельная сборка готовой продукции. При этом возникают проблемы выбора изделий, которые будут одновременно собираться на сборочных

участках, а также проблемы планирования обработки комплектующих деталей для обеспечения эффективной сборки готовой продукции.

**Проблемы планирования и построения расписания работ.** Рассмотрим основные принципы организации работ и проблемы, которые возникают при планировании на предприятиях с параллельной сборкой готовой продукции, на примере станкостроительного предприятия.

Пусть станкостроительное предприятие изготавливает  $K$  базовых типов станков и ряд их модификаций, общее число которых равно  $M$  ( $M \geq K$ ). На предприятии имеется несколько участков (цехов) механической обработки и сборочный цех, в котором сборка готовой продукции может производиться независимо на нескольких сборочных участках. Для каждого производимого на предприятии изделия известны типы и число комплектующих деталей. Известными также считаются последовательность и время установки деталей в собираемое изделие, а также времена и последовательность обработки каждой детали на всем используемом оборудовании предприятия.

Поступающие заказы после анализа и оценки возможностей предприятия включаются в так называемый портфель заказов, выполнение которого будет составлять производственную программу предприятия в течение определенного времени. Для оценки возможностей предприятия по изготовлению изделий, включенных в портфель заказов, в течение заданного интервала времени и для определения в случае необходимости реального времени, которое требуется для этого, строятся планы и расписания выполняемых на предприятии работ.

Обычно при планировании работ по изготовлению изделий, включенных в портфель заказов, требуется построить такие планы и расписания работ производственных подразделений предприятия, которые позволили бы сократить сроки и затраты на выполнение заказов. Для этого комплектующие детали для собираемых изделий часто обрабатываются и в процессе сборки самих изделий, но такая обработка должна быть закончена раньше, чем детали понадобятся при сборке.

Из-за возможности одновременной сборки нескольких изделий общее время выполнения производственной программы в значительной степени зависит от выбора собираемых изделий. Так, если собираемые одновременно изделия являются модификацией некоторой базовой модели, то типы многих комплектующих их деталей совпадают. При этом появляется возможность укрупнять партии таких деталей при их изготовлении, что позволяет сократить время и затраты на переналадку оборудования и тем самым сократить время и затраты на выполнение всей производственной программы.

Поэтому возникает проблема, связанная с формированием групп изделий из каждой производственной программы предприятия, которые целесообразно собирать одновременно или параллельно, чтобы общее время и затраты на выполнение производственной программы при таком выборе были бы сокращены.

Кроме этой проблемы на предприятиях с параллельной сборкой готовой продукции возникают проблемы, связанные с выбором последовательности сборки таких групп одновременно собираемых изделий

и обработки для них комплектующих деталей. Эту последовательность также следует выбирать так, чтобы сократить общее время и затраты на выполнение производственной программы.

В связи с этим возникает проблема создания таких методов планирования, при использовании которых из имеющегося портфеля заказов можно формировать наиболее выгодные группы изделий, которые целесообразно одновременно собирать на сборочных участках предприятия, а также определять наиболее выгодную последовательность их сборки, чтобы сократить общее время и затраты на выполнение производственной программы.

**Формирование групп параллельно собираемых изделий.** Рассмотрим принципы и способы формирования групп изделий, которые целесообразно собирать одновременно.

Для формирования более выгодных групп одновременно собираемых изделий существует несколько возможных подходов. Один из них — это метод полного перебора различных вариантов группирования изделий. Такой подход позволяет получать оптимальное решение, однако его можно использовать только при незначительном числе типов собираемых изделий, поскольку для получения решения в реальных задачах требуется просмотреть и оценить огромное число возможных вариантов. Причем для оценки эффективности каждого варианта группирования требуется строить расписание обработки комплектующих деталей для этой группы изделий, что также вызывает значительные затруднения и может потребовать большого времени для расчетов.

В связи с этим для включения изделий в группу, которая будет одновременно собираться на сборочных участках предприятия, предлагается использовать специально разработанные для этого решающие правила. Подобный подход нашел широкое применение в теории расписаний для определения порядка запуска деталей на обработку [2–5] и показал весьма высокую эффективность.

При разработке решающих правил для формирования более выгодных групп одновременно собираемых изделий целесообразно учитывать структуру поступающих заказов, различные свойства и параметры изделий, характерные особенности технологии, связанные с обработкой комплектующих деталей для изделий, информацию о загрузке обрабатывающих мощностей предприятия деталями различных изделий, а также особенности сборки изделий.

В структуре заказов учитывается число изделий одного типа и число модификаций какого-либо базового изделия. Если собираемые одновременно изделия являются изделиями одного типа или модификацией некоторой базовой модели, то типы многих комплектующих их деталей совпадают и, как уже отмечалось ранее, появляется возможность укрупнять партии комплектующих деталей, что позволяет сократить время и затраты на переналадку оборудования при их обработке.

К свойствам изделий можно отнести тип изделия, время сборки изделия, типы и число комплектующих деталей.

Когда изделия разных типов имеют в своем составе большое число одинаковых комплектующих деталей, их также можно включать в одну группу сборки. Однако при этом надо следить, чтобы нагрузка наиболее занятого оборудования не повышалась резко и не приводила бы к значительному отлнчию от загрузки остального оборудования. В одну группу сборки целесообразно включать изделия, имеющие приблизительно одинаковое время сборки.

Примерами правил, разработанных для формирования групп одновременно собираемых изделий с учетом приведенных ранее рекомендаций, являются следующие:

- если изделия одинаковые или являются модификациями одного базового изделия, то в группу одновременно собираемых изделий включается максимально возможное число таких изделий;

- если максимальное время загрузки оборудования по обработке комплектующих деталей добавляемого в группу сборки изделия не приводит к резкому увеличению времени использования наиболее занятого оборудования, то изделие может быть включено в эту группу сборки.

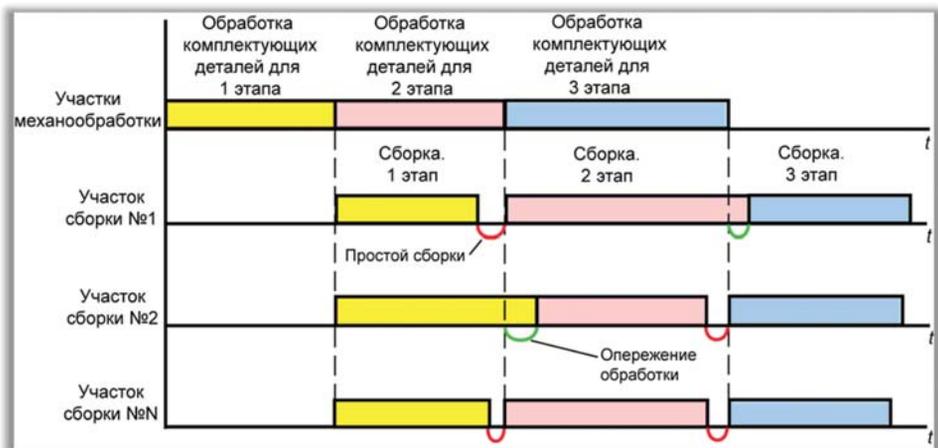
### **Построение расписания обработки комплектующих деталей.**

Как уже отмечалось, процесс сборки стараются организовать так, чтобы не было значительного ожидания комплектующих на участке сборки, а время ожидания сборки было бы по возможности меньше. Для этого часть комплектующих деталей собираемых изделий обрабатывается до процесса сборки этих изделий, а часть обрабатывается уже в процессе их сборки так, чтобы к началу установки в изделие требуемые детали были обработаны. Поэтому процесс сборки изделий целесообразно разделить по времени на этапы так, чтобы часть деталей и узлов, которые будут использоваться при сборке группы изделий на текущем этапе, изготавливались бы на предыдущем этапе. Детали и узлы, необходимые для сборки изделий на следующем этапе, должны быть изготовлены в течение текущего этапа и т.д. Такой процесс изготовления продукции можно представить графически (рисунок).

Для комплектующих деталей, обрабатываемых на каждом этапе сборки изделий, целесообразно строить расписание обработки, поскольку это позволит заметно сократить время их обработки.

Использование для этих целей существующих методов и созданных на их основе программных продуктов весьма затруднено, а в большинстве реальных ситуаций оказывается невозможным из-за большой размерности возникающих задач, так как обработка комплектующих деталей может производиться на всех обрабатывающих участках предприятия.

Поэтому для построения расписания обработки комплектующих деталей в таких случаях необходимо использовать специальные методы, позволяющие строить расписание обработки деталей на уровне предприятия.



### Поэтапный процесс изготовления готовой продукции с возможностью параллельной сборки изделий

В работе [1] для этого предлагается строить укрупненные или каркасные расписания обработки специально сформированных групп деталей и уже наиболее выгодное каркасное расписание в случае необходимости “раскрывать” до расписаний обработки отдельных деталей.

Каркасные расписания процессов обработки комплектующих деталей строятся на основе информации о времени обработки комплектующих деталей на каждом используемом оборудовании и порядке их обработки. Для построения каркасных расписаний обработки комплектующих деталей сначала формируются партии деталей, поскольку в настоящее время широко используется унификация деталей и поэтому большое число одинаковых деталей может входить в состав различных изделий.

При построении каркасных расписаний все партии комплектующих деталей каждого этапа сборки разделяются на группы так, чтобы все детали одной группы при своей обработке в одной последовательности проходили бы одни и те же производственные системы и участки предприятия.

После формирования таких групп определяется время обработки деталей каждой группы на соответствующих производственных участках предприятия.

Время обработки группы деталей на производственном участке предприятия определяется как путем построения расписания обработки с помощью традиционных методов построения расписаний [2–5], так и с использованием моделей [1, 6, 7], позволяющих получать достаточно хорошие оценки этого времени.

После определения времени обработки всех сформированных групп деталей на производственных участках, где группа обрабатывается, строится каркасное расписание обработки. При построении каркасного расписания каждая из сформированных групп деталей рассматривается как обобщенная деталь, а производственный участок,

на котором обрабатывается эта группа деталей, – как обобщенный станок. Временем обработки обобщенной детали на обобщенном станке считается время обработки соответствующей группы деталей на соответствующем производственном участке, которое определяется по времени завершения обработки последней детали из этой группы, а последовательность обработки таких обобщенных деталей на обобщенных станках определяется последовательностью обработки соответствующих групп деталей на производственных участках предприятия.

Поэтому для построения и представления каркасных расписаний обработки групп деталей можно использовать традиционные методы построения и представления расписаний обработки деталей.

Построенное каркасное расписание позволяет определить время обработки комплектующих деталей для данной группы изделий на соответствующем этапе сборки, и допускает детализацию до расписания обработки отдельных деталей.

В рамках настоящей статьи, к сожалению, нет возможности рассматривать вопросы, связанные с разбиением процессов сборки изделий на этапы. Поэтому будем считать, что число и длительность каждого из этапов для всех групп сборки уже определены.

**Определение оценок времени изготовления комплектующих деталей.** Рассмотрим одну из возможных моделей для получения оценок времени обработки комплектующих деталей для  $l$ -й группы изделий на  $k$ -м этапе сборки.

Пусть комплектующие детали, которые должны быть обработаны для  $l$ -й группы изделий на  $k$ -м этапе сборки, разделены на  $P_{lk}$  групп ( $l = 1, \dots, L; k = 1, \dots, K_l$ ), каждая из которых при своей обработке в одной последовательности проходит одни и те же производственные системы и участки предприятия. Обозначим через  $G_{lkp}$  множество типов деталей, которые должны быть обработаны для  $l$ -й группы сборки изделий на  $k$ -м этапе сборки в составе  $p$ -й группы ( $p = 1, \dots, P_{lk}$ ).

Для оценки времени обработки деталей  $p$ -й группы на  $v$ -м производственном участке ( $p = 1, \dots, P_{lk}; v = 1, \dots, M$ ) решается задача минимизации функционала

$$J_{lkvp} = \min \left\{ \alpha_1 \sum_{j \in G_{lkp}} \sum_{r \in I_{lkjv}} \sum_{i=1}^{m_{vr}} \tilde{\theta}_{lkjr}^{iv} c_{lkjr}^v + \alpha_2 T_{lkvp} \right\} \quad (1)$$

при наличии следующих ограничений:

$$\sum_{j \in H_{lkpv}} \{ \theta_{lkjr}^{iv} \tilde{N}_{lkj}^v t_{lkjr}^v + \tilde{\theta}_{lkjr}^{iv} \tau_{lkjr}^v \} \leq \mu_v T_{lkvp}, \quad (2)$$

$$r = 1, \dots, R_v, \dots, i = 1, \dots, m_{vr};$$

$$\sum_{i=1}^{m_{vr}} \theta_{lkjr}^{iv} = 1, \quad j \in G_{lkp}, \quad r \in I_{lkjv}; \quad (3)$$

$$\tilde{\theta}_{lkjr}^{iv} - \theta_{lkjr}^{iv} \geq 0, \quad j \in G_{lkp}, \quad r \in I_{lkjv}, \quad i = 1, \dots, m_{vr}. \quad (4)$$

Здесь обозначено:  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — весовые коэффициенты;  $c_{lkjr}^v$  — стоимость переналадки оборудования  $r$ -го типа, которое входит в состав  $v$ -го производственного участка, для обработки на нем деталей  $j$ -го типа для  $l$ -й группы изделий на  $k$ -м этапе сборки;  $I_{lkjv}$  — множество типов оборудования, которое используется на  $v$ -м производственном участке для обработки детали  $j$ -го типа, входящей в состав  $l$ -й группы изделий на  $k$ -м этапе сборки;  $T_{lkvp}$  — время обработки деталей для  $l$ -й группы изделий на  $k$ -м этапе сборки, которые обрабатываются в составе  $p$ -й группы на  $v$ -м производственном участке;  $H_{lkpvr}$  — множество деталей из  $p$ -й группы, входящей в состав комплектующих деталей  $l$ -й группы изделий на  $k$ -м этапе сборки, которые обрабатываются на оборудовании  $r$ -го типа на  $v$ -м производственном участке;  $\tilde{N}_{lkj}$  — число деталей (размер партии)  $j$ -го типа, которые входят в состав  $l$ -й группы изделий на  $k$ -м этапе сборки;  $t_{lkjr}^v$  — время обработки детали  $j$ -го типа, входящей в состав  $l$ -й группы изделий на  $k$ -м этапе сборки, на оборудовании  $r$ -го типа из  $v$ -го производственного участка;  $\tau_{lkjr}^v$  — время переналадки оборудования  $r$ -го типа из  $v$ -го производственного участка для обработки деталей  $j$ -го типа, входящих в состав  $l$ -й группы изделий на  $k$ -м этапе сборки;  $\mu_v$  — средний коэффициент загрузки оборудования на  $v$ -м производственном участке;  $\theta_{lkjr}^{iv}$  — переменная ( $0 \leq \theta_{lkjr}^{iv} \leq 1$ );  $\tilde{\theta}_{lkjr}^{iv}$  — переменная, принимающая значение из множества  $\{0, 1\}$ .

Величина  $\theta_{lkjr}^{iv}$  показывает, какая часть партии деталей  $j$ -го типа, входящей в состав  $l$ -й группы изделий на  $k$ -м этапе сборки, будет обрабатываться на  $i$ -м оборудовании  $r$ -го типа из  $v$ -го производственного участка.

Если хотя бы одна деталь  $j$ -го типа, входящая в состав  $l$ -й группы изделий на  $k$ -м этапе сборки, будет обрабатываться на  $i$ -м оборудовании  $r$ -го типа из  $v$ -го производственного участка, то  $\tilde{\theta}_{lkjr}^{iv} = 1$ , в противном случае —  $\tilde{\theta}_{lkjr}^{iv} = 0$ .

Если в цеху или на производственном участке имеются станки только различных типов, т.е.  $m_{vr} = 1$ , то все переменные  $\theta_{lkjr}^{iv}$  и  $\tilde{\theta}_{lkjr}^{iv}$  будут равны 1 и решение этой задачи сводится к вычислению сумм

$$\sum_{j \in H_{lkpvr}} \{ \tilde{N}_{lkj} t_{lkjr}^v + \tau_{lkjr}^v \} = \mu_v \tilde{T}_{lkvp}$$

и выбору максимального значения  $\tilde{T}_{lkvp}$ , т.е.  $T_{lkvp} = \max_r \{ \tilde{T}_{lkvp} \}$ . Это существенно упрощает проводимые расчеты.

В результате решения задачи (1)–(4) получается достаточно неплохая оценка времени обработки деталей  $p$ -й группы, входящей в состав  $l$ -й группы изделий на  $k$ -м этапе сборки, на  $v$ -м производственном участке  $T_{lkvp}$ .

В тех же случаях, когда число деталей, входящих в некоторое изделие, является достаточно большим, а на производственном участке

имеется одна или несколько групп оборудования одного типа, размерность задачи (1)–(4) может оказаться весьма значительной. Для сокращения размерности в таких случаях может быть использована другая оценка времени обработки деталей в производственной системе, которая получается из решения следующей задачи линейного программирования [6, 7]:

$$\tilde{J}_{lkvp} = \min\{T_{lkvp}\} \quad (5)$$

при наличии ограничений

$$\sum_{j \in H_{lkpr}} \{\tilde{N}_{lkj} t_{lkjr}^v + m_{vr} \tau_{lkjr}^v\} \leq \mu_v m_{vr} T_{lkvp}, \quad r = 1, \dots, R. \quad (6)$$

Здесь использованы те же обозначения, что и в соотношениях (1)–(4). Однако в этом случае из решения данной задачи не удастся получить распределение партии деталей по станкам одного типа, что весьма затрудняет построение расписания обработки деталей. Решение задачи (5)–(6) по существу также сводится к вычислению сумм

$$\sum_{j \in H_{lkpr}} \{\tilde{N}_{lkj} t_{lkjr}^v + m_{vr} \tau_{lkjr}^v\} = \mu_v m_{vr} \hat{T}_{lkvpr}, \quad r = 1, \dots, R,$$

и выбору  $T_{lkvp} = \max_r \{\hat{T}_{lkvpr}\}$ .

После получения оценок времени обработки  $T_{lkvp}$  всех групп деталей, используемых на  $k$ -м этапе сборки изделий  $l$ -й группы, на обрабатываемых участках предприятия, оценивается время  $\bar{T}_{lk}$ , необходимое для обработки всех деталей, которые используются при сборке изделий  $l$ -й группы на  $k$ -м этапе сборки. Получение этой оценки сводится к вычислению сумм

$$\sum_{p \in V_{lkv}} \{T_{lkvp}\} = \tilde{\mu}_{lkv} \tilde{T}_{lkv}, \quad v = 1, \dots, \tilde{M},$$

и выбору  $\bar{T}_{lk} = \max_v \{\tilde{T}_{lkv}\}$ . Здесь  $V_{lkv}$  — множество групп деталей, используемых на  $k$ -м этапе сборки изделий  $l$ -й группы, которые обрабатываются на  $v$ -м обрабатываемом участке;  $\tilde{\mu}_{lkv}$  — средний коэффициент загрузки оборудования на  $v$ -м обрабатываемом участке при обработке деталей  $i$ -го изделия ( $0 \leq \tilde{\mu}_{lkv} \leq 1$ ).

**Определение последовательности сборки групп изделий.** После формирования групп изделий для параллельной сборки и получения оценок времени обработки деталей  $\bar{T}_{lk}$  определяется последовательность сборки этих групп изделий. Очевидно, что число изделий в группе сборки не может превышать числа имеющихся участков сборки.

Последовательность сборки сформированных групп изделий определяется в соответствии со значениями времени обработки комплектов деталей для каждой группы изделий и временем сборки изделий, а также в соответствии с условиями оптимальности Джонсона [2–4].

Процессы сборки изделий, как предлагалось ранее, разделены на этапы, и каждый этап сборки группы изделий может начаться только после завершения обработки всех комплектующих деталей, используемых на этом этапе сборки.

Тогда задача определения последовательности сборки изделий может рассматриваться как некоторый аналог задачи Джонсона, если производственные системы и участки, на которых обрабатываются комплектующие детали, рассматривать как первый станок, а сборочные участки — как второй. При этом время обработки комплектующих деталей для последующей сборки  $l$ -й группы изделий на  $k$ -м этапе  $\bar{T}_{lk}$  можно рассматривать как аналог времени обработки детали на первом станке в задаче Джонсона, а время сборки  $l$ -й группы изделий на  $k$ -м этапе  $\hat{T}_{lk}$  — как аналог времени обработки этой детали на втором станке в задаче Джонсона.

Здесь следует отметить следующее: когда началась обработка комплектующих деталей для какой-либо группы сборки, процессы изготовления всех оставшихся комплектующих деталей и сборки из них изделий этой группы уже не прерываются. Поэтому при определении последовательности сборки групп изделий следует учитывать соотношения времени обработки комплектующих деталей и времени установки этих деталей в изделия для всех этапов сборки этой группы.

В соответствии с этим и условиями оптимальности Джонсона сначала целесообразно изготавливать те группы изделий, время обработки комплектующих деталей которых меньше времени сборки из них готовой продукции. Причем последовательность изготовления в таких группах изделий устанавливается в соответствии с возрастанием времени обработки комплектующих их деталей. Затем изготавливаются те группы изделий, у которых время сборки больше времени обработки комплектующих их деталей. Порядок изготовления продукции в таких группах изделий устанавливается в соответствии с убыванием времени сборки.

Предлагаемый в работе метод планирования работ и построения каркасных расписаний обработки комплектующих деталей позволяет при необходимости осуществлять детализацию построенных расписаний до обработки отдельных деталей, т.е. до моментов начала и окончания обработки каждой комплектующей детали для каждого изделия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Х о б о т о в Е. Н. О некоторых моделях и методах решения задач планирования в дискретных производственных системах // Автоматика и телемеханика. – 2007. – № 12. – С. 85–100.
2. К о н в е й Р. В., М а к с в е л л В. Л., М и л л е р Л. В. Теория расписаний. – М.: Наука, 1975. – 360 с.
3. P i n e d o М. L. Planning and scheduling in manufacturing and services // New York: Springer. – 2005. – 506 p.

4. Brucker P. Scheduling Algorithms // Leipzig: Springer. – 2007. – 371 p.
5. Panwalkar S. S., Wafik I. A Survey of scheduling rules. Operation research. – Vol. 25. No. 1, January–February, 1977. – P. 45–61.
6. Хоботов Е. Н. Использование оптимизационно-имитационного подхода для решения задач планирования и выбора маршрутов обработки. I // АиТ. – 1996. – № 1. – С. 121–128.
7. Хоботов Е. Н. Использование оптимизационно-имитационного подхода для решения задач планирования и выбора маршрутов обработки. II // АиТ. – 1996. – № 2. – С. 147–155.

Статья поступила в редакцию 25.03.09

Евгений Николаевич Хоботов родился в 1947 г., окончил МФТИ в 1972 г. Д-р техн. наук, профессор кафедры “Компьютерные системы автоматизации производства” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 96 научных работ в области теории расписаний, оптимизации, управления запасами.

Ye. N. Khobotov (b. 1947) graduated from the Moscow Physics and Technology Institute in 1972. D. Sc. (Eng.), professor of “Computer Systems of Production Automation” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 96 publications in the field of scheduling theory, optimization, inventory.

Александр Михайлович Сидоренко родился в 1986 г., студент МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор одной научной работы. Специализируется в области теории расписаний и управления в производственных системах.

A. M. Sidorenko (b. 1986) — student of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 1 publication in the field of scheduling theory and management in production systems.

---

**В издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана  
в 2008 г. вышла в свет книга**

**Проектирование полноприводных колесных машин:** Учебник для вузов: В 3 т. Т. 1 / Б.А. Афанасьев, Б.Н. Белоусов, Г.И. Гладков и др.; под ред. А.А. Полунгяна. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 496 с.

Учебник состоит из трех томов, в которых последовательно описаны общие вопросы проектирования колесных машин, а также методы расчета их агрегатов и систем, основанные на математическом и физическом моделировании, причем не только для детерминированных, но и для случайных условий нагружения. Особое внимание уделено полноприводным колесным машинам, получившим широкое распространение в связи с удовлетворительными показателями их устойчивости и проходимости.

В первом томе изложены основы и принципы проектирования полноприводных колесных машин, рассмотрены их надежность и обитаемость, а также требования к проектированию плавающих колесных машин и автопоездов.

Содержание учебника соответствует программам и курсам лекций, которые авторы читают в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов вузов и технических университетов машиностроительного профиля, обучающихся по специальностям “Автомобиле- и тракторостроение”, “Многоцелевые гусеничные и колесные машины”. Может быть полезен аспирантам, преподавателям и работникам промышленных предприятий.

По вопросам приобретения обращаться по тел. (499) 263-60-45;  
e-mail: [press@bmstu.ru](mailto:press@bmstu.ru)