

факт» анализа. Поиск решения задачи календарного планирования может осуществляться оператором на основе имеющегося у него опыта. Однако вместе с системой СDR может использоваться внешний оптимизационный решатель, позволяющий найти решение задачи КП для части производства, например, поставки сырья или смешения нефтепродуктов.

Список литературы

1. Дудников Е.Е., Цодиков Ю.М. Типовые задачи оперативного управления непрерывным производством М.: Энергия, 1979.
2. Баулин Е.С., Любимов Ю.Б. Взаимосвязь задач текущего планирования и составления расписаний НПЗ//Автоматизация в промышленности. 2010. № 6.
3. Левин В.И. Некоторые мысли о теории расписаний//Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2005. Т. 11. № 2 а (0,6 п. л.)
4. Ройтбург Ю.С. и др. Общие принципы автоматизированного формирования расписаний и управление запасами в машиностроительном производстве. Модели и методы логистики//Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2007. № 2.
5. Антамошкина Е.А., Шарыпова К.В. Эвристический алгоритм составления расписаний дискретных производств//Информатика и системы управления. 2010. № 1 (23).
6. Баулин Е.С., Боронин А.Б., Хохлов А.С. Скользящая детализация текущего плана деятельности НПЗ/НХК и актуализация оптимизационных моделей планирования//Автоматизация в промышленности. 2012. № 10.
7. Хохлов А.С., Коннов А.И., Зельдин А.Е. Системы оптимизационного планирования и опыт внедрения и эксплуатации их в ВИНК//Автоматизация в промышленности. № 9. 2009.

*Шайдуллин Ренат Анварович — аспирант ИПУ РАН, инженер, Хохлов Александр Сергеевич — д-р техн. наук, руководитель отдела систем планирования и оперативного управления производством ЗАО «Хоневелл», Проказина Мария Владимировна — студент МФТИ.
Контактный телефон (495) 796-98-00.
E-mail: Renat.Shaidullin@Honeywell.com*

ПЛАНИРОВАНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ РАСПИСАНИЙ РАБОТ С УЧЕТОМ СБОРКИ УЗЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

А.М. Сидоренко, Е.Н. Хоботов (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Рассматривается алгоритм построения планов и расписаний работ на уровне предприятий, в которых наряду с механообработкой комплектующих деталей производится также сборка различных узлов, используемых для изготовления готовой продукции, а также система, программно реализующая этот алгоритм.

Ключевые слова: планирование, теория расписаний, сборка узлов, алгоритм, производственная программа, агрегирование, решающие правила.

Введение

В последние годы проблемы планирования и построения расписаний работ, а также проблемы разработки систем планирования вызывают повышенный интерес благодаря заметному увеличению эффективности производств с использованием таких систем. Однако большинство существующих методов и систем планирования и построения расписаний работ позволяют решать задачи только на уровне производственных участков и цехов [1–4]. При этом на основе разобренных производственных расписаниях для участков и цехов не всегда удается построить удовлетворительные планы и расписания работ на уровне предприятия [5–7].

Попытка же использовать для построения расписания на уровне производства методов, предназначенных для планирования работ в цехах и на производственных участках, вызывает значительные затруднения из-за большой размерности и сложности возникающих задач. Кроме того, процесс сборки комплектующих узлов, а также готовой продукции значительно усложняет построение расписаний, поскольку возникают проблемы, связанные с выбором порядка выполнения операций как при сборке узлов различных типов, так целого производимого изделия.

Причем выбор порядка выполняемых операций при сборке оказывает существенное влияние как на порядок обработки комплектующих деталей для этих сборок, так и на общее время выполнения производственных программ.

В связи с этим возникает необходимость создания новых методов, позволяющих строить согласованные планы работ для всех производственных подразделений предприятия, включая сборочные цеха и участки.

В данной работе рассматриваются идеи и принципы создания методов, позволяющих строить планы и расписания работ на уровне предприятий, в которых наряду с механообработкой комплектующих деталей может производиться также сборка различных узлов, используемых при изготовлении готовой продукции. Кроме того, описывается структура программной системы, реализующей рассматриваемые в работе методы.

Постановка задачи

Рассмотрим задачу построения расписания работ на машиностроительном предприятии, имеющем ряд механообрабатывающих и механосборочных цехов, а также сборочный цех, в котором производится сборка выпускаемой продукции, состоящей из изде-

лий L типов. В механообрабатывающих цехах производится только механообработка комплектующих деталей, а в механосборочных цехах наряду с механообработкой деталей производится сборка узлов различных типов, которые поступают в сборочный цех для изготовления готовой продукции.

Для сборки одного изделия l -го типа требуется \tilde{N}_{lj} деталей j -го типа ($j=1, \dots, N_j$), которые могут в различной последовательности обрабатываться на производственных участках предприятия, и \tilde{R}_r узлов r -го типа ($r=1, \dots, R_r$), которые собираются в \tilde{M} механосборочных цехах предприятия.

Время и последовательность обработки каждой детали любого изделия на всем используемом оборудовании предприятия, а также значения времени всех переналадок этого оборудования считаются известными.

Узлы каждого типа собираются только в одном механосборочном цехе, то есть в каждом механосборочном цехе собираются только «свои» узлы. Для каждого узла любого изделия известны, кроме размера собираемой партии, комплектующие его детали, время и последовательность установки деталей в собираемый узел, а также время переналадки оборудования участка для сборки узлов следующего типа. Сборка узлов производится на рабочих местах сборочных участков в механосборочных цехах. Число мест b_{lm} для сборки в m -м механосборочном цехе узлов r -го типа, комплектующих l -е изделие, известно. Сборка каждого узла может начаться только после завершения обработки всех комплектующих деталей для этого узла.

Работа предприятия организуется в соответствии с поступающими заказами, на основе которых формируется производственная программа предприятия. Для сформированной производственной программы, в которую входит изготовление определенного числа изделий, требуется построить план и расписание работ по их выпуску и соответственно по обработке комплектующих их деталей и сборке узлов. Для построения расписания работ требуется определить порядок и время начала и окончания сборки каждого изделия в сборочном цехе, определить порядок и время начала и окончания обработки каждой детали на всем обрабатываемом оборудовании, порядок и время начала и окончания сборки каждого узла.

Порядок сборки изделий, обработки комплектующих деталей и сборки узлов требуется выбрать таким образом, чтобы по возможности сократить общее время выполнения производственной программы.

Алгоритм построения планов и расписаний работ

Для построения расписания работ на уровне предприятий в работе [5] предлагалось использовать идеи и принципы агрегирования информации. В работе [6] рассматривались методы построения согласованных расписаний для подразделений производств, на которых осуществляется параллельная сборка изделий.

Однако в этих работах не рассматривались случаи, когда на предприятиях имеются механосборочные

цеха, в которых производится промежуточная сборка узлов, что в значительной степени усложняет построение планов и расписаний работ. Дело в том, что сборка узлов каждого типа производится в «своем» механосборочном цехе и начинается, когда все комплектующие детали для этого узла уже обработаны, но ряд комплектующих деталей узла может обрабатываться в других цехах и время завершения их обработки приходится учитывать и корректировать.

Рассмотрим принципы построения расписаний работ на предприятии с учетом обработки комплектующих их деталей и сборки из них узлов в механосборочных цехах предприятия.

В основу этих принципов положена идея агрегирования информации и построения «каркасных» расписаний [5–7]. При построении «каркасных» расписаний [5] все партии комплектующих деталей, используемых для сборки изделий, разделяются на группы таким образом, чтобы все детали каждой группы в одной последовательности проходили бы при своей обработке те же производственные системы и участки предприятия. После формирования таких групп деталей определяются временные значения их обработки на тех производственных участках предприятия, где эти группы обрабатываются.

Для определения времени обработки группы деталей на производственном участке предприятия можно либо строить расписание обработки деталей этой группы на оборудовании участка, либо использовать модели [5, 8–9], позволяющие получать достаточно «хорошие» оценки этого времени. Расписание может строиться с помощью традиционных методов построения расписаний [1–4], а время обработки группы деталей на участке определяется по времени завершения обработки последней детали из этой группы на оборудовании участка.

После определения времени обработки всех групп деталей на производственных участках предприятия, где эти группы обрабатываются, строится расписание, в котором каждая из сформированных групп деталей рассматривается как обобщенная деталь, а производственный участок, на котором обрабатывается эта группа деталей, рассматривается как обобщенный станок. Временем обработки обобщенной детали на обобщенном станке считается время обработки соответствующей группы деталей на соответствующем производственном участке.

Для построения и представления таких расписаний можно использовать традиционные методы построения и представления расписаний обработки деталей [1–4], поскольку число обобщенных деталей и станков оказывается вполне приемлемым для таких методов даже в случае крупных предприятий со значительной номенклатурой деталей.

Таким образом, строится расписание обработки обобщенных деталей на обобщенных станках, которое определяет последовательность обработки сформированных групп деталей на производственных

Конкуренцию никак нельзя соединить с планированием, не ослабляя ее как фактор организации производства.

Фридрих Август фон Хайек

участках предприятия. Такое расписание называется [5] «каркасным» расписанием, и с его помощью удается быстро получать достаточно «хорошие» оценки «сверху» на время выполнения производственной программы [5].

В случае необходимости «каркасные» расписания могут быть детализированы до расписаний обработки отдельных деталей [5].

Однако при наличии промежуточных сборок узлов построение планов и расписаний работ значительно усложняется из-за необходимости учета и корректировки времени завершения обработки комплектующих узлов деталей, обработка которых завершается в других цехах. Поэтому для построения расписаний работ в таких случаях необходимо создание специальных алгоритмов.

Для сокращения сроков и затрат на выполнение производственной программы комплектующие детали и узлы изготавливаются для той части операций по сборке изделий, которая должна выполняться раньше согласно технологии сборки. Пока изготовленные детали и узлы устанавливаются в изделия, производится изготовление другой части комплектующих для следующих операций по сборке изделий и т. д.

Детали и узлы, которые изготавливаются для каждой части операций или этапа по сборке изделий, выбираются с учетом порядка и времени их установки в изделия, а также оценок на время их изготовления. Во многих случаях для получения эффективных планов приходится строить расписание работ по выполнению производственной программы с разным числом этапов сборки и из них выбирать лучшее.

Будем считать, что разделение сборочных операций на этапы уже произведено, тогда алгоритм, который позволяет строить расписание работ на предприятии с учетом обработки комплектующих деталей и сборки из них узлов в механосборочных цехах предприятия, по шагам будет иметь следующий вид.

Шаг 1. Производится распределение деталей, которые должны обрабатываться для последующего этапа сборки изделий, по группам. В каждую группу входят детали, имеющие один и тот же порядок обработки на производственных участках предприятия. Для деталей, комплектующих узлы, маршрут обработки считается законченным в механосборочном цехе, в котором из этих деталей собирается соответствующий узел.

Шаг 2. Определяются значения времени обработки сформированных групп деталей на тех производственных участках предприятия, где эти группы обрабатываются с продолжительностью сборки из них узлов во всех механосборочных цехах и участках предприятия.

Шаг 3. С использованием собранной на предыдущих шагах информации строится «каркасное» расписание [1–2] обработки комплектующих деталей и сборки из них узлов на всех участках предприятия. Порядок прохождения цехов и производственных участков предприятия каждой сформированной на шаге 1 группой деталей известен из правила распределения деталей по группам. Для построения таких расписаний могут быть использованы традиционные методы построения и представления расписаний обработки деталей.

Шаг 4. Для всех механосборочных цехов, в которых производится сборка узлов, определяется время начала сборки каждого собираемого в этом цеху узла. Это время определяется по времени окончания обработки последней комплектующей детали этого узла.

Шаг 5. По максимальному времени завершения либо обработки последней комплектующей детали, либо сборки последнего узла определяется время готовности группы комплектующих деталей и узлов для сборки изделий.

Шаг 6. Производится проверка этапа сборки изделий. Если следующий этап сборки является последним, то определяется время изготовления изделия и завершается работа алгоритма. В противном случае следует переход к шагу 7.

Шаг 7. По спецификации собираемых изделий формируется информация о деталях и узлах, которые должны быть обработаны и собраны для следующего этапа сборки изделий. Следует переход к шагу 1 для построения расписания изготовления комплектующих деталей и узлов на следующем этапе.

Если обработка каких-либо комплектующих деталей задерживает сборку узлов, целесообразно строить новое расписание в последнем для их механообработки «каркасе», устанавливая для этих комплектующих высший приоритет, и сразу после завершения обработки направлять их на сборку соответствующих узлов.

Когда же в рамках некоторого «каркаса» на сборку одновременно может претендовать несколько узлов, то для сокращения времени изготовления узлов последовательность их сборки и обработки для этого комплектующих деталей можно определять с использованием условий оптимальности Джонсона [1–5]. При использовании этих условий время обработки комплектующих деталей полагается равным времени обработки на первом станке, а время сборки узлов — времени обработки на втором станке.

Условие оптимальности Джонсона для выбора последовательности изготовления узлов в случае последовательного изготовления комплектующих деталей и сборки из них узлов различных типов, а также когда сборка узла может начаться только после завершения обработки всех комплектующих деталей для этого узла и имеется возможность начать работы с обработки любых комплектующих деталей любого узла принимает следующий вид:

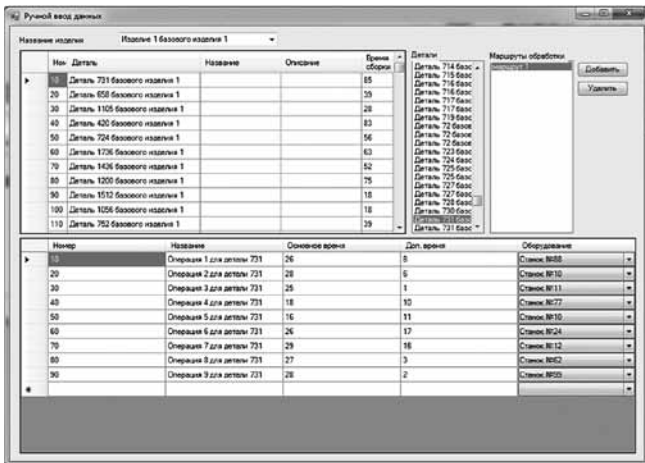


Рис. 1. Окно ввода и редактирования информации о составе изделий



Рис. 2. Окно ввода и редактирования информации о поступивших заказах

обработка комплектующих деталей и сборка узла j предшествует обработке комплектующих деталей и сборке узла $j+1$, если выполняется условие

$$\min(A_j, B_{j+1}) \leq \min(A_{j+1}, B_j),$$

где A_j – время изготовления комплектующих деталей для узла j -го типа, B_j – время сборки узла j -го типа.

Приведенные выше приемы могут оказаться полезными, поскольку позволяют сокращать время вы-

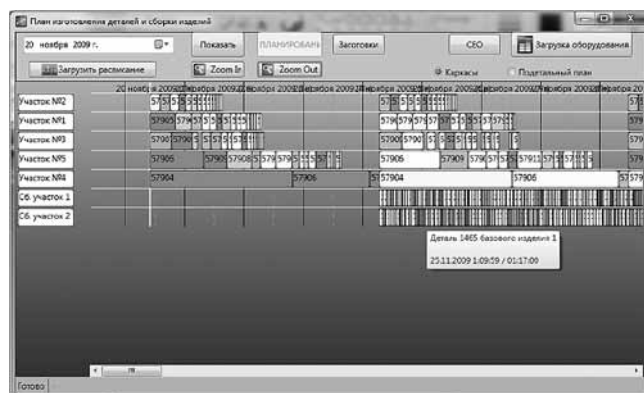


Рис. 3. Окно графического отображения «каркасных» расписаний

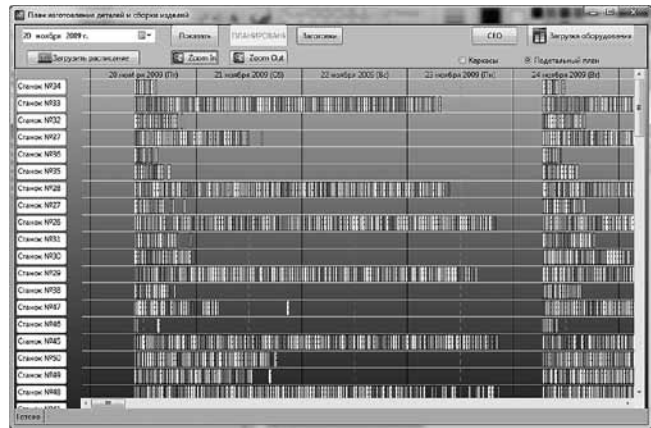


Рис. 4. Окно графического вывода диаграмм Гантта, отображающих расписания обработки комплектующих изделия деталей

полнения работ на каждом этапе по изготовлению комплектующих деталей и узлов для сборки изделий.

Программная реализация системы

Система планирования расписаний на машиностроительных предприятиях имеет модульную структуру и написана на языке программирования C# и платформе Microsoft.Net. В состав системы входят следующие основные модули: просмотра и редактирования технологической информации, работы с заказами, отображения расписаний, планирования, расчета и построения расписаний, диспетчеризации, сбора и обработки статистики, формирования «каркасных» расписаний, формирования отчетов. В качестве хранилища данных используется документно-ориентированная СУБД MongoDB, отлично подходящая для работы с большими массивами данных. Также к преимуществам MongoDB можно отнести ее кроссплатформенность и поддержку асинхронных репликаций, позволяющих строить масштабируемую отказоустойчивую систему хранения данных.

В модуле расчета и построения расписаний программно реализован описанный в предыдущем пункте алгоритм. Проведенные вычислительные эксперименты доказали высокую эффективность предложенного алгоритма для построения расписаний работ на уровне предприятия.

Модуль просмотра и редактирования технологической информации позволяет создавать, изменять и удалять изделия, комплектующие детали, входящие в их состав, маршруты обработки этих деталей. На рис. 1 приведено окно ввода и редактирования информации о составе базового изделия 1, об операциях, выполняемых по обработке выбранных деталей изделия на назначенных по технологическому маршруту станках. В верхней левой части окна приведен список деталей, входящих в состав базового изделия 1 и время его установки в изделие. В верхней правой части окна для выбранной детали показан список маршрутов, по которым эта деталь может быть изготовлена. В нижней части окна для выбранной детали и маршрута ее обработки показана последовательность опе-

раций обработки детали по выбранному маршруту со станками, на которых должна выполняться каждая операция со временем ее выполнения и переналадки станка. Эта информация может как вводиться заново, так и редактироваться по мере необходимости.

Модуль работы с заказами позволяет создавать, просматривать и изменять информацию о поступившем заказе и запускать расчет плана для их производства. На рис. 2 приведено окно со списком производимых предприятием изделий, для каждого из которых в системе имеется перечень комплектующих их деталей с технологией их обработки. Интерфейс для задания состава заказа прост и интуитивно понятен. Для ввода информации о заказе необходимо указать название заказа, число изделий каждого типа, которое требуется изготовить в заказе, из приведенного списка производимых предприятием изделий, а также время начала выполнения заказа.

Модуль отображения расписаний служит для графического отображения построенных планов работ и интерактивного взаимодействия с ними. Может отображать как укрупненные «каркасные» расписания, так и детальные планы работ по выполнению конкретных операций по обработке деталей. На рис. 3 приведено окно для графического вывода диаграмм Гантта, отображающих «каркасные» расписания изготовления заказов. На рис. 4 приведено окно для графического вывода диаграмм Гантта, отображающих расписания обработки деталей, комплектующих изделия, включенные в заказ, на оборудовании предприятия.

Модуль формирования отчетов предназначен для формирования и представления информации, полученной в результате построения расписания работ на пред-

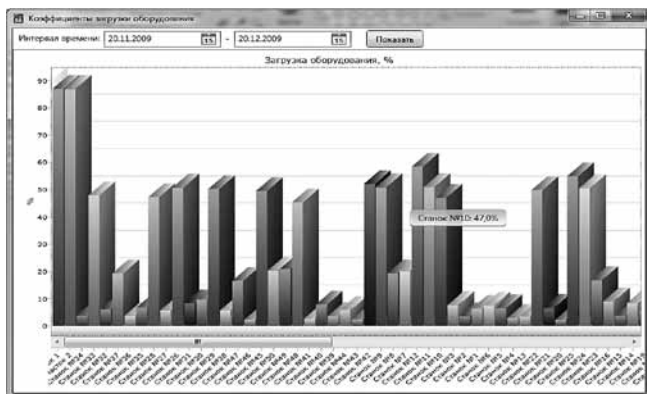


Рис. 6. Окно графического вывода информации о загрузке оборудования

Операция	Начало	Конец
Операция 1	2011.11.20.09:00	2011.11.20.10:00
Операция 2	2011.11.20.10:00	2011.11.20.11:00
Операция 3	2011.11.20.11:00	2011.11.20.12:00
Операция 4	2011.11.20.12:00	2011.11.20.13:00
Операция 5	2011.11.20.13:00	2011.11.20.14:00
Операция 6	2011.11.20.14:00	2011.11.20.15:00
Операция 7	2011.11.20.15:00	2011.11.20.16:00
Операция 8	2011.11.20.16:00	2011.11.20.17:00
Операция 9	2011.11.20.17:00	2011.11.20.18:00
Операция 10	2011.11.20.18:00	2011.11.20.19:00
Операция 11	2011.11.20.19:00	2011.11.20.20:00
Операция 12	2011.11.20.20:00	2011.11.20.21:00
Операция 13	2011.11.20.21:00	2011.11.20.22:00
Операция 14	2011.11.20.22:00	2011.11.20.23:00
Операция 15	2011.11.20.23:00	2011.11.21.00:00
Операция 16	2011.11.21.00:00	2011.11.21.01:00
Операция 17	2011.11.21.01:00	2011.11.21.02:00
Операция 18	2011.11.21.02:00	2011.11.21.03:00
Операция 19	2011.11.21.03:00	2011.11.21.04:00
Операция 20	2011.11.21.04:00	2011.11.21.05:00
Операция 21	2011.11.21.05:00	2011.11.21.06:00
Операция 22	2011.11.21.06:00	2011.11.21.07:00
Операция 23	2011.11.21.07:00	2011.11.21.08:00
Операция 24	2011.11.21.08:00	2011.11.21.09:00
Операция 25	2011.11.21.09:00	2011.11.21.10:00
Операция 26	2011.11.21.10:00	2011.11.21.11:00
Операция 27	2011.11.21.11:00	2011.11.21.12:00
Операция 28	2011.11.21.12:00	2011.11.21.13:00
Операция 29	2011.11.21.13:00	2011.11.21.14:00
Операция 30	2011.11.21.14:00	2011.11.21.15:00
Операция 31	2011.11.21.15:00	2011.11.21.16:00
Операция 32	2011.11.21.16:00	2011.11.21.17:00
Операция 33	2011.11.21.17:00	2011.11.21.18:00
Операция 34	2011.11.21.18:00	2011.11.21.19:00
Операция 35	2011.11.21.19:00	2011.11.21.20:00
Операция 36	2011.11.21.20:00	2011.11.21.21:00
Операция 37	2011.11.21.21:00	2011.11.21.22:00
Операция 38	2011.11.21.22:00	2011.11.21.23:00
Операция 39	2011.11.21.23:00	2011.11.22.00:00
Операция 40	2011.11.22.00:00	2011.11.22.01:00
Операция 41	2011.11.22.01:00	2011.11.22.02:00
Операция 42	2011.11.22.02:00	2011.11.22.03:00
Операция 43	2011.11.22.03:00	2011.11.22.04:00
Операция 44	2011.11.22.04:00	2011.11.22.05:00
Операция 45	2011.11.22.05:00	2011.11.22.06:00
Операция 46	2011.11.22.06:00	2011.11.22.07:00
Операция 47	2011.11.22.07:00	2011.11.22.08:00
Операция 48	2011.11.22.08:00	2011.11.22.09:00
Операция 49	2011.11.22.09:00	2011.11.22.10:00
Операция 50	2011.11.22.10:00	2011.11.22.11:00
Операция 51	2011.11.22.11:00	2011.11.22.12:00
Операция 52	2011.11.22.12:00	2011.11.22.13:00
Операция 53	2011.11.22.13:00	2011.11.22.14:00
Операция 54	2011.11.22.14:00	2011.11.22.15:00
Операция 55	2011.11.22.15:00	2011.11.22.16:00
Операция 56	2011.11.22.16:00	2011.11.22.17:00
Операция 57	2011.11.22.17:00	2011.11.22.18:00
Операция 58	2011.11.22.18:00	2011.11.22.19:00
Операция 59	2011.11.22.19:00	2011.11.22.20:00
Операция 60	2011.11.22.20:00	2011.11.22.21:00
Операция 61	2011.11.22.21:00	2011.11.22.22:00
Операция 62	2011.11.22.22:00	2011.11.22.23:00
Операция 63	2011.11.22.23:00	2011.11.23.00:00
Операция 64	2011.11.23.00:00	2011.11.23.01:00
Операция 65	2011.11.23.01:00	2011.11.23.02:00
Операция 66	2011.11.23.02:00	2011.11.23.03:00
Операция 67	2011.11.23.03:00	2011.11.23.04:00
Операция 68	2011.11.23.04:00	2011.11.23.05:00
Операция 69	2011.11.23.05:00	2011.11.23.06:00
Операция 70	2011.11.23.06:00	2011.11.23.07:00
Операция 71	2011.11.23.07:00	2011.11.23.08:00
Операция 72	2011.11.23.08:00	2011.11.23.09:00
Операция 73	2011.11.23.09:00	2011.11.23.10:00
Операция 74	2011.11.23.10:00	2011.11.23.11:00
Операция 75	2011.11.23.11:00	2011.11.23.12:00
Операция 76	2011.11.23.12:00	2011.11.23.13:00
Операция 77	2011.11.23.13:00	2011.11.23.14:00
Операция 78	2011.11.23.14:00	2011.11.23.15:00
Операция 79	2011.11.23.15:00	2011.11.23.16:00
Операция 80	2011.11.23.16:00	2011.11.23.17:00
Операция 81	2011.11.23.17:00	2011.11.23.18:00
Операция 82	2011.11.23.18:00	2011.11.23.19:00
Операция 83	2011.11.23.19:00	2011.11.23.20:00
Операция 84	2011.11.23.20:00	2011.11.23.21:00
Операция 85	2011.11.23.21:00	2011.11.23.22:00
Операция 86	2011.11.23.22:00	2011.11.23.23:00
Операция 87	2011.11.23.23:00	2011.11.24.00:00
Операция 88	2011.11.24.00:00	2011.11.24.01:00
Операция 89	2011.11.24.01:00	2011.11.24.02:00
Операция 90	2011.11.24.02:00	2011.11.24.03:00
Операция 91	2011.11.24.03:00	2011.11.24.04:00
Операция 92	2011.11.24.04:00	2011.11.24.05:00
Операция 93	2011.11.24.05:00	2011.11.24.06:00
Операция 94	2011.11.24.06:00	2011.11.24.07:00
Операция 95	2011.11.24.07:00	2011.11.24.08:00
Операция 96	2011.11.24.08:00	2011.11.24.09:00
Операция 97	2011.11.24.09:00	2011.11.24.10:00
Операция 98	2011.11.24.10:00	2011.11.24.11:00
Операция 99	2011.11.24.11:00	2011.11.24.12:00
Операция 100	2011.11.24.12:00	2011.11.24.13:00

Рис. 5. Окна, представляющие информацию о сроках изготовления изделий и выполнении операций по обработке комплектующих деталей

приятию о сроках изготовления изделий, времени начала и окончания операций по обработке комплектующих деталей на всем используемом оборудовании. На рис. 5 слева представлено окно, в котором приводится информации о полученных в результате построения расписания работ на предприятии сроках изготовления изделий из введенного заказа, а справа — окно с информацией о времени начала и окончания операций по обработке комплектующих деталей на всем используемом оборудовании. На рис. 6 показано окно, представляющее в графическом виде информацию о необходимой загрузке оборудования для выполнения заказа.

Для проверки работоспособности предложенных алгоритмов и программного прототипа системы был проведен ряд вычислительных экспериментов, показавших их достаточно

высокую эффективность. Например, для решения задачи со 100 станками в 5 цехах и с 6 сборочными участками, 26 изделиями с общим числом деталей 127936, ТП обработки которых состоял из 4...10 операций, потребовалось около 30 мин на двухъядерном процессоре. Задача построения расписания обработки с общим числом деталей 259187 для 64 изделий (4...10 технологических операций каждая) была решена на 4-ядерном процессоре за 55 мин.

Список литературы

1. Jain A.S., Meeran S. Theory and Methodology. Deterministic job-shop scheduling: Past, present and future//European Journal of Operational Research 113, (1999).
2. Зак Ю.А. Прикладные задачи теории расписаний и маршрутизации перевозок. М.: Кн. дом «Либроком». 2011.
3. Bruker P. Scheduling Algorithms. Leipzig: Springer. 2007.
4. Potts C.N., Kovalyov M.Y. Scheduling with batching: A review European Journal of Operational Research 120 (2000).
5. Хоботов Е.Н. О некоторых моделях и методах решения задач планирования в дискретных производственных системах//Автоматика и телемеханика. 2007. № 12.
6. Сидоренко А.М., Хоботов Е.Н. Планирование производств с параллельной сборкой изделий. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». 2009. № 3.
7. 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. Серия «Машиностроение». 2009. № 4.
8. Хоботов Е.Н. Использование оптимизационно-имитационного подхода для решения задач планирования и выбора маршрутов обработки. I//АиТ. 1996. № 1. С. 121–128.
9. Хоботов Е.Н. Использование оптимизационно-имитационного подхода для решения задач планирования и выбора маршрутов обработки. II//АиТ. 1996. № 2. С. 147–155.

Хоботов Евгений Николаевич — д-р техн. наук, проф., ведущий научный сотрудник,
Сидоренко Александр Михайлович — инженер кафедры РК9 "Компьютерные системы автоматизации производства" МГТУ им. Н.Э. Баумана.
 Контактный телефон (495) 334-76-40. E-mail: e_khobotov@mail.ru sidorluty@gmail.com