

11, октябрь 2015

УДК 658.513

Система планирования работ машиностроительного предприятия с конвейерной сборкой готовой продукции

Ермолова М.А., аспирант

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Компьютерные системы автоматизации производства»*

Научный руководитель: Хоботов Е.Н., д.т.н, профессор

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Компьютерные системы автоматизации производства»
bauman@bmstu.ru*

Введение

Эффективность деятельности машиностроительных производств во многом зависит от уровня организации всех происходящих на предприятии процессов, который обуславливается применением систем планирования. Эти системы, относящиеся к классу MES- (Manufacturing Execution Systems – системы управления производственными процессами) или APS-систем (Advanced Planning & Scheduling Systems – системы усовершенствованного планирования), решают задачи планирования и диспетчеризации производства, анализа производительности, учета простоев, управления запасами материалов и готовой продукции и т.д.

На крупных машиностроительных предприятиях задачи построения расписаний имеют большую вычислительную сложность. Анализ представленных на российском рынке систем показал, что большинство из них преодолевает эту проблему, используя эвристические алгоритмы (эволюционные стратегии, жадные стратегии, производственные правила). Однако практически все системы предназначены для решения задач планирования на уровне отдельных цехов и участков, что не гарантирует оптимального результата на уровне всего предприятия [1,2].

Для построения расписаний на уровне всего предприятия в работе [1] был предложен подход, основанный на идее агрегирования информации. Но он был применен для планирования работ на предприятиях, сборка готовых изделий на которых производилась на сборочных участках последовательно, а случаи конвейерной сборки рассмотрены не были. Поскольку они являются очень важными, так как большинство

машиностроительных предприятий (особенно в автомобильной отрасли) работает по этому принципу, задача совершенствования методов построения расписания, а также создания программного прототипа системы планирования работ на основе этих методов является очень важной и актуальной.

Постановка задачи планирования

Рассмотрим задачу планирования, возникающую при построении расписаний работ на предприятии с конвейерной сборкой продукции.

Пусть на предприятии с дискретным характером производства имеются механообрабатывающие и механосборочные цеха, где наряду с механической обработкой осуществляется сборка узлов и агрегатов для собираемых изделий. Сборка готовых изделий осуществляется на одном или нескольких конвейерах.

Пусть в течение планового периода необходимо изготовить L типов партий изделий с размерами партии каждого типа изделия n_l ($l = 1, \dots, L$). Для сборки l -го изделия ($l = 1, \dots, L$) требуется R_{lr} узлов r -го типа ($r = 1, \dots, \tilde{R}_l$). Сборка узлов каждого типа может начаться после изготовления всех комплектующих деталей для этой группы узлов.

Для всех деталей известны маршруты обработки, в которые входит последовательность участков и оборудования, используемые для обработки детали, времена обработки и переналадки всего оборудования, а также состав и количество оборудования на каждом участке предприятия. Кроме того, для любой детали известен маршрут сборки, то есть последовательность и продолжительность ее установки в изделие. Известны основные характеристики конвейера: время и затраты на его переналадку, количество рабочих мест и время установки в каждое изделие комплектующих деталей, узлов и агрегатов на этих местах.

Для заданной производственной программы по выпуску L типов партий изделий, требуется определить последовательность сборки изделий, последовательность обработки комплектующих деталей каждого изделия на всех участках предприятия и на всем используемом оборудовании каждого участка, и времена начала и окончания обработки каждой детали на всем используемом оборудовании и сборки каждого изделия. Последовательности и времена обработки комплектующих деталей и сборки изделий требуется определить таким образом, чтобы минимизировать общее время выполнения планового задания.

Принципы построения планов и расписаний работ для производств с конвейерной сборкой

Особенностью производств с конвейерной сборкой изделий является то, что сборку готовых изделий, как правило, начинают, когда на каждое рабочее место конвейера будет доставлено одно и то же количество комплектов деталей, узлов и агрегатов, из которых будут собираться выпускаемые изделия [3]. Это с одной стороны, облегчает организацию снабжения конвейера комплектующими изделиями, а с другой стороны, обеспечивает ритмичную работу конвейера без простоев.

Важным требованием в организации производств с конвейерной сборкой является требование об отсутствии или минимизации величины дефицита выпускаемых изделий. Для этого целесообразно во время производства изделий каждого типа создавать их запасы, которые следует расходовать в течение интервала времени, когда выпуск таких изделий прекращен и производятся изделия других типов. В таком случае при планировании работ следует учитывать рыночный спрос на изделия, стоимость хранения запасов этих изделий и стоимость переналадок конвейеров.

Обработка комплектующих деталей, узлов и агрегатов производится на производственных подразделениях предприятия. Количество комплектующих, а также количество оборудования может быть весьма большим, что приводит к возникновению сложных вычислительных задач при попытке построения расписаний работ с помощью традиционных методов. В данной работе для планирования предлагается использовать идею агрегирования информации, состоящую в разделении деталей на группы таким образом, чтобы все детали каждой группы при обработке в одной последовательности проходили бы производственные подразделения предприятия. Сформированные таким образом группы деталей рассматриваются как обобщенные детали, а производственные подразделения предприятия, которые при своей обработке проходят эти группы, рассматриваются как обобщенные станки. Для определения времени обработки всех обобщенных деталей в соответствии с заданным маршрутом могут использоваться как традиционные методы построения расписаний, так и оценочные модели [4].

Сразу же после завершения подготовки комплектующих и отправки их на конвейер начинается обработка комплектующих для сборки следующей группы изделий, которая может оказаться как изделиями того же типа, так и изделиями другого типа. Если на предприятии работает несколько конвейеров: на каждом конвейере собирается «своя» группа изделий и изделие каждого типа может собираться только на «своем» конвейере.

Рассмотрим алгоритм построения расписаний работ по обработке комплектующих деталей и последующей сборке из них готовых изделий на конвейере.

Шаг 1. Определить требуемое количество изделий в зависимости от спроса на продукцию. Следует переход к Шагу 2.

Шаг 2. Для l -го изделия на основании его состава определяется множество деталей D_l и узлов R_l , из которых изделие собирается. Переход к Шагу 3.

Шаг 3. Для каждого конвейера производится разделение деталей и узлов изделий на комплекты. Комплекты формируются таким образом, чтобы из них было собрано целое количество изделий. Переход к Шагу 4.

Шаг 4. Для каждого комплекта производится распределение деталей по группам. В каждую группу входят детали, имеющие один и тот же порядок обработки в производственных подразделениях предприятия. Переход к Шагу 5.

Шаг 5. Определяются времени обработки сформированных групп деталей на всех механообрабатывающих участках предприятия с использованием оценочных моделей (производственных правил). Переход к Шагу 6.

Шаг 6. Строится «каркасное» расписание обработки комплектующих на всех участках предприятия. Порядок прохождения цехов для каждой группы известен из правила распределения деталей по группам. Переход к Шагу 7.

Шаг 7. «Каркасное» расписание обработки деталей «приклеивается» к общему расписанию обработки деталей, узлов и агрегатов на предприятии. Переход к Шагу 8.

Шаг 8. Производится проверка комплекта. Если комплект был последним в производственной программе, следует переход к Шагу 9. В противном случае следует переход к Шагу 4 для построения расписания изготовления следующего комплекта.

Шаг 9. Формируется отчет, включающий в себя планы и расписания работ по выполнению производственной программы.

Система планирования работ на машиностроительном предприятии

Приведенные выше методы и алгоритмы построения расписаний работ были реализованы в виде программного прототипа системы построения расписаний на уровне всего предприятия. Программа написана на языке C# для платформы Microsoft .Net Framework 4 и Parallel Extensions для Microsoft .Net Framework. Для хранения большого количества данных об изделиях и оборудовании на предприятии была выбрана документо-ориентированная база данных MongoDB, главными достоинствами которой являются высокая производительность и поддержка больших массивов данных.

Для построения расписания работ на уровне всего предприятия требуется большое количество данных. Поскольку ввод их вручную является очень трудоемким, в программном прототипе используется генерация исходных данных при помощи датчика случайных чисел с равномерным распределением.

Возможность добавлять данные об изделиях вручную, а также редактировать имеющуюся информацию, предоставляет модуль просмотра и редактирования технологической информации (рис. 1). Для редактирования доступны названия деталей, входящих в изделие, их описания и маршруты обработки.

ManualDataEntryWindow

Название изделия: Базовое изделие 5

Маршруты обработки

Название	Описание
Деталь 1 базового изделия 5	
Деталь 2 базового изделия 5	
Деталь 3 базового изделия 5	
Деталь 4 базового изделия 5	
Деталь 5 базового изделия 5	
Деталь 6 базового изделия 5	
Деталь 7 базового изделия 5	
Деталь 8 базового изделия 5	
Деталь 9 базового изделия 5	

Название	Основное время	Дополнительное время	Оборудование
Операция 1 для детали 6	19	0	Станок №16
Операция 2 для детали 6	29	13	Станок №16
Операция 3 для детали 6	28	7	Станок №1
Операция 4 для детали 6	20	2	Станок №22
Операция 5 для детали 6	28	18	Станок №18
Операция 6 для детали 6	26	0	Станок №17
Операция 7 для детали 6	22	16	Станок №8
Операция 8 для детали 6	26	15	Станок №12
Операция 9 для детали 6	27	15	Станок №14

маршрут 1

Рис. 1. Окно модуля просмотра и редактирования технологической информации

Создать новый заказ из производимых на предприятии изделий и запустить расчет плана можно в модуле работы с заказами. Сформированные данные из него поступают в модуль расчета и построения расписаний, где затем обрабатываются согласно приведенному выше алгоритму.

Результаты расчетов выводятся в виде диаграмм Ганта. Модуль отображения расписаний позволяет выводить как «каркасные» расписания изготовления заказов, так и расписания обработки деталей и комплектующих изделия, включенных в заказ (рис. 2).

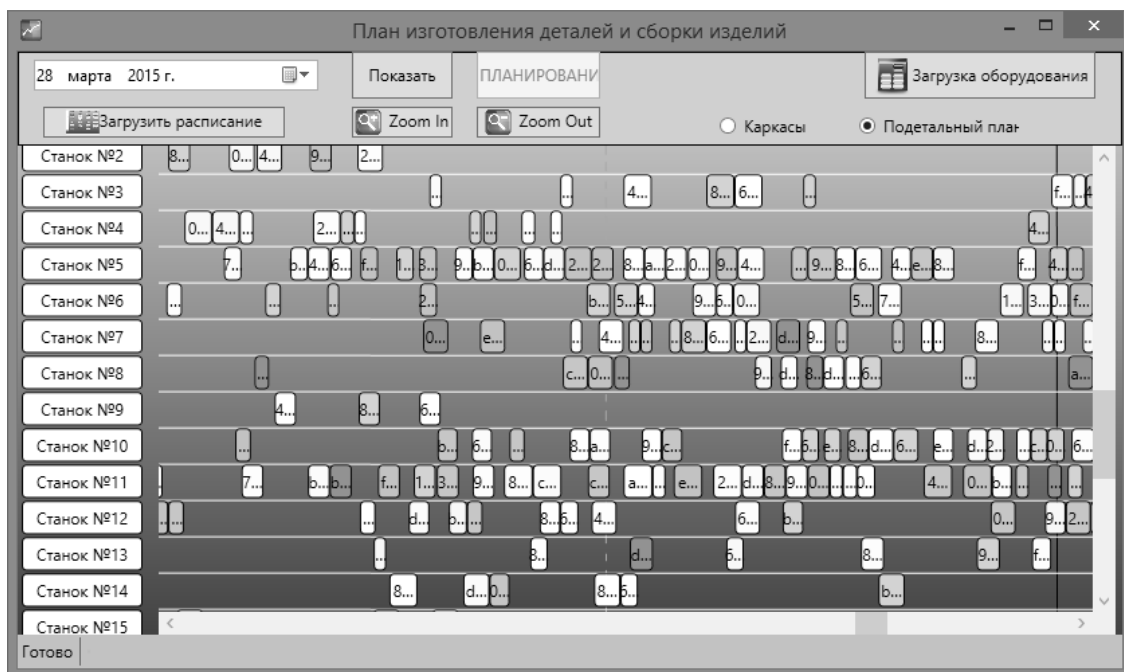


Рис. 2. Окно модуля отображения расписаний

В модуле формирования отчетов (рис. 3) для предоставления пользователю собираются статистические данные о работе программы (количество операций, время на построение расписания), а также об изготовлении заказа (время изготовления заказа). Пользователю доступна информация и о заказе в целом, и о каждой из деталей изделия.

Информация					
Расписание обработки детали					
№	Операция	Цех	Станок	Время начала	Время окончания
10	Операция 1 для детали 280	Участок №4	Станок №29	20.04.2015 10:58	20.04.2015 11:35
20	Операция 2 для детали 280	Участок №4	Станок №80	20.04.2015 11:35	20.04.2015 12:04
30	Операция 3 для детали 280	Участок №4	Станок №70	20.04.2015 12:18	20.04.2015 12:39
40	Операция 4 для детали 280	Участок №4	Станок №33	20.04.2015 12:39	20.04.2015 13:13
50	Операция 5 для детали 280	Участок №4	Станок №33	20.04.2015 13:13	20.04.2015 13:51
60	Операция 6 для детали 280	Участок №4	Станок №24	20.04.2015 14:38	20.04.2015 15:20
70	Операция 7 для детали 280	Участок №4	Станок №29	20.04.2015 16:54	20.04.2015 17:30
80	Операция 8 для детали 280	Участок №4	Станок №12	20.04.2015 19:36	20.04.2015 20:07
90	Операция 9 для детали 280	Участок №4	Станок №42	20.04.2015 20:43	20.04.2015 21:12

Рис. 3. Отчетная информация

При помощи описанной выше системы решались тестовые задачи различной размерности, которые подтвердили эффективность предложенных алгоритмов для построения планов работ. Все эксперименты производились на компьютере с 6 Гб оперативной памяти, работающем на 2-ядерном процессоре Intel(R) Core(TM) i5-4200, имеющим тактовую частоту 1,6 ГГц.

Например, для решения задачи со 78 станками в 8 механообрабатывающих цехах и с 2 сборочными конвейерами, 40 изделиями со спросом 5-10 изд/сут, с общим количеством деталей 258795, техпроцесс обработки которых состоял из 5-15 операций, потребовалось около 1 ч 47 минут.

Список литературы

1. Хоботов Е.Н. О некоторых моделях и методах решения задач планирования в дискретных производственных системах // Автоматика и Телемеханика. 2007. № 12. С. 85-100.
2. Сидоренко А.М., Хоботов Е.Н. Планирование производств с параллельной сборкой изделий // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». 2009. № 3. С. 100-109.
3. Ермолова М.А., Хоботов Е.Н. Система планирования и построения расписаний работ для предприятий с конвейерной сборкой изделий // Автоматизация в промышленности. 2014. № 8. С. 3-8.
4. Bruker P. Scheduling Algorithms. Leipzig: Springer, 2007. 371 p.